

Le bois mort dans les cours d'eau forestiers

**Une comparaison entre cours d'eau en réserve forestière
intégrale et cours d'eau en forêt gérée**



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Anke Hellbach

16^e promotion

2003-2008

Cursus Double-Diplôme Fribourg/Nancy

Septembre 2008

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE(S) FIF

F.I.F. - E.N.G.R.E.F.	TRAVAUX D'ÉLÈVES
Titre : Le bois mort dans les cours d'eau forestiers Une comparaison entre cours d'eau en réserve forestière intégrale et cours d'eau en forêt gérée	Mots clés : Bois mort Cours d'eau Réserve forestière intégrale Déficit Espèces inféodées au bois mort Mesure de gestion
AUTEUR(S) : Anke Hellbach	Promotion FIF 2005-2008
Caractéristiques : 1 volume, 91 pages, 24 figures, 11 annexes	

CADRE DU TRAVAIL	
ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : FVA Freiburg (Le Centre de Recherche Forestière de Fribourg)	
Nom du responsable : M. Gerhard Schaber-Schoor Fonction : département forêt et société, coordinateur du groupe de travail « l'eau et forêt »	
Nom du correspondant ENGREF : M. Gerard Falconnet	
Tronc Commun <input type="checkbox"/> Option <input type="checkbox"/> Spécialité <input type="checkbox"/>	Stage entreprise <input type="checkbox"/> Stage étranger <input type="checkbox"/> Stage fin d'études <input checked="" type="checkbox"/>
Autres <input type="checkbox"/>	
Date de remise : 1.9.2008	
Contrat Junior Entreprise	OUI NON X

SUITE A DONNER (réservé au Service des Etudes)	
Non consultable <input type="checkbox"/> si oui permanent <input type="checkbox"/> jusqu'à/..../....	Consultable et Diffusable <input type="checkbox"/>

Résumé

Le bois mort est un élément écologique important des cours d'eau. Lors de ce projet, la présence de bois mort en quantité et qualité dans des cours d'eau en réserve forestière intégrale et en forêt gérée en Forêt-Noire a été étudiée. La quantité de bois mort dans le cours d'eau en forêt gérée est 1 à 3 fois plus petite que celle des réserves forestières intégrales. De plus, les deux types d'éléments de bois mort dominants du site géré, souches et rémanents, ne sont pas d'un grand intérêt pour le cours d'eau. Ces faits, combinés avec un manque d'arbres tombés dans le cours d'eau en forêt gérée, influencent probablement de façon négative la diversité d'espèces inféodées au bois mort. En conséquence, différentes mesures ayant pour but l'amélioration de la présence de bois mort dans les cours d'eau en forêt sont proposées.

Summary

Woody debris is an important element of natural streams. This project analysed the quantitative and qualitative availability of woody debris in streams of managed forest and of natural reserves in the Black Forest. The quantity of woody debris in streams surrounded by managed forests is 1 to 3 times smaller than those in natural reserves. Furthermore the dominant elements, branches and stools, of streams of managed forests have no ecological importance. These aspects combined with the observed absence of fallen trees in streams of managed forests influence probably negative the diversity of xylophagy species. Therefore, actions for the management of riparian forests are suggested, with the objective to enhance the availability of woody debris in streams.

Zusammenfassung

Totholz ist ein essentieller Bestandteil natürlicher Fließgewässer. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die quantitative sowie qualitative Totholzausstattung von einem Fließgewässer im Wirtschaftswald und von Fließgewässern in Bannwäldern im Schwarzwald untersucht.

Die Totholzmenge im Fließgewässer des Wirtschaftswaldes ist 1- bis 3-mal kleiner als die der Bannwälder. Ferner sind die im Fließgewässer des Wirtschaftswaldes dominanten Strukturen, Kronenholz und Wurzelstock, ohne ökologische Bedeutung. Diese Aspekte in Verbindung mit dem festgestellten Mangel an Sturzbäumen in Fließgewässern des Wirtschaftswaldes wirken sich voraussichtlich negativ auf die Diversität der Gewässerzoozonose aus. Aus diesem Grund werden Maßnahmen zur Bewirtschaftung von Ufergehölzen, die zur Verbesserung der Totholzausstattung beitragen sollen, vorgeschlagen.

Remerciements

Je tiens ici à remercier tout ceux qui m'ont aidée à réaliser mon stage.

Avant tout, je remercie toute l'équipe du département Forêt et Société du Centre de Recherche Forestière de Fribourg, qui m'a accueillie pendant ces huit mois, et plus particulièrement Gerhard Schaber-Schoor, mon maître de stage, qui m'a accompagnée dans ma démarche et qui m'a accordé confiance et autonomie dans mon travail.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance à Regina Ostermann, qui a trouvé du temps pour m'accompagner sur le terrain dans la première phase de mon stage et a été de plus un soutien moral pendant les premiers mois de mon stage.

J'adresse des remerciements à M. Falconnet pour son encadrement à la part de l'Engref. Je souhaite exprimer ma reconnaissance à M. Nebel, qui a bien voulu accepter de répondre toutes mes questions au sujet des mousses. Je remercie également M. Stratz qui a mis à disposition sa parcelle forestière privée pour les relevés. Merci aussi à Thomas Waldenspuhl d'avoir accepté de faire partie de mon jury.

Un grand merci aux amis, surtout à Marion Jay, pour le temps qu'ils ont passés à corriger mes fautes de français et pour leurs critiques constructives.

Je remercie pour finir tous ceux qui auront participé de près ou de loin à la rédaction de ce rapport.

Avertissement

Le vocabulaire scientifique présentant quelques difficultés de traduction et beaucoup de mots scientifiques étant en allemand, j'ai donc, dans le cas où une traduction ne me paraissait pas tout à fait exacte, traduit ce mot au plus près de son sens en le faisant suivre des mots allemands, entre parenthèses et entre guillemets.

Les textes font référence à des situations ou des données en Allemagne s'il n'est pas explicitement spécifié qu'ils sont valables en général ou pour un pays précis.

Table des matières

Remerciements.....	1
Avertissement	2
Table des illustrations.....	6
Index alphabétique des sigles	7
1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE.....	9
1.1 Fonction et importance du bois mort pour les cours d'eau.....	9
1.1.1 Fonctions physiques associées au bois mort	9
1.1.2 Fonctions biologiques	10
1.2 Le bois mort dans „les forêts vierges européennes“ – Le bois mort, une lacune des forêts gérées	13
1.3 Les objectifs de l'étude	15
2 MÉTHODE ET OUTILS.....	16
2.1 Sites d'études	16
2.1.1 Choix des sites d'étude	16
2.1.2 Description des sites d'études	18
2.1.3 Description du peuplement forestier	18
2.2 Relevé des bois morts.....	19
2.2.1 Détermination des tronçons d'étude	19
2.2.2 Les différents types d'élément de bois mort	20
2.2.2.1 Éléments de premier niveau.....	20
2.2.2.2 Éléments de second niveau	21
2.2.3 Relevé du volume de bois mort.....	24
2.2.3.1 L'élément unique	24
2.2.3.2 Les accumulations.....	24
2.2.3.3 Les piègeurs avec accumulation	24
2.2.3.4 Les résidus	25
2.2.4 Relevé de la répartition spatiale de bois mort.....	25
2.2.5 Stade de décomposition.....	26
2.3 Évaluation des données de terrain	26
2.3.1 Volume de bois mort	26
2.3.2 Nombre d'éléments de bois mort	27
2.3.3 Répartition spatiale du bois mort.....	27
2.3.4 Stades de décomposition.....	28
2.4 L'importance du bois mort pour les mousses dans et à proximité du cours d'eau.....	28
3 SITE D'ÉTUDE.....	29
3.1 La réserve forestière intégrale « Flüh ».....	29
3.2 La réserve forestière intégrale « Zweribach »	32
3.3 La forêt gérée de Seebach.....	34

4	RÉSULTATS	37
4.1	Les peuplements forestiers le long des cours d'eau.....	37
4.2	Résultats des relevés de bois mort	39
4.2.1	Volume total et nombre d'éléments de bois mort.....	39
4.2.2	Volume et nombre de types d'éléments de bois mort par rapport au volume et au nombre total	41
4.2.3	Volume maximal de type d'élément d'arbres tombés	42
4.2.4	Répartition des éléments de bois mort par classes de volume.....	44
4.2.5	Répartition spatiale de bois mort.....	46
4.3	Les mousses et le bois mort dans l'écosystème d'un cours d'eau	47
4.3.1	Informations trouvées en littérature concernant la thématique : mousses, bois mort, cours d'eau	47
4.3.2	Entretien avec Martin Nebel, dr, expert sur le thème des mousses	48
4.3.3	Résultats des observations sur le terrain	50
4.3.4	L'importance du bois mort pour les mousses dans l'écosystème du cours d'eau	51
5	DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS	52
5.1	Discussion de la méthode.....	52
5.1.1	Choix des sites d'études	52
5.1.2	Description des peuplements forestiers en bordure des cours d'eau	52
5.1.3	Détermination des tronçons d'étude	52
5.1.4	Relevé du bois mort	53
5.1.5	L'importance du bois mort pour les mousses dans et à proximité du cours d'eau	54
5.2	Discussion des résultats.....	54
5.3	Recommandations.....	59
5.3.1	Quelle quantité est envisageable?	59
5.3.2	Mesures pour l'amélioration de la présence de bois mort dans un cours d'eau.....	61
5.4	Réalisation pratique des mesures proposées	62
5.4.1	Cadre réglementaire.....	62
5.4.2	Les risques liés au bois mort.....	62
5.4.3	Le bois mort: entre intérêt écologique et besoin énergétique	63
5.4.4	Aspects financiers	63
5.4.5	Perception du bois mort dans l'écosystème « cours d'eau »	64
6	CONCLUSION.....	65
	Bibliographie.....	67
	Liste des contacts.....	75
	Table des Annexes	77
	Annexe I : Tableaux des espèces rigoureusement xylophages et des espèces probablement xylophages	78
	Annexe II : Tableau résumant les aspects positifs et négatifs des sites d'études potentiels	80
	Annexe III : Fiche du terrain pour la description du peuplement forestier.....	82
	Annexe IV : Définition du terme bois mort	83

Annexe V : Fiche de relevé de bois mort	84
Annexe VI : Clé de cartographie d'éléments de bois mort	86
Annexe VII : Les différents stades de décomposition de bois mort.....	87
Annexe VIII : Liste complète des questions posées lors d'entretien avec M. Nebel.....	88
Annexe IX : Catalogues des questions pour les observations sur le terrain concernant les mousses	89
Annexe X : Proportion de bois mort dans les zones 1 et 2 par rapport à la zone trois.....	90
Annexe XI : La zone de chablis dans le site d'étude « Zweribach »	91

Table des illustrations

Figures

Fig. 1 : Cours d'eau avec des habitats divers pour le poisson, créé par le bois mort.....	11
Fig. 2 : Piégeur avec une petite accumulation.....	22
Fig. 3 : Accumulation des éléments intermédiaires.....	22
Fig. 4 : Organigramme des différents types d'éléments de bois mort structurés en trois niveaux.....	23
Fig. 5 : Zonation du cours d'eau et de son environnement.....	25
Fig. 6 : Les différents stades de décomposition de bois mort.....	26
Fig. 7 : Localisation géographique de la réserve forestière intégrale « Flüh »	31
Fig. 8 : Les cascades de Zweribach	33
Fig. 9 : Localisation géographique du site d'étude « Zweribach » et la forêt gérée de Seebach.....	35
Fig. 10 : Localisation et pente du lit des site d'études.....	36
Fig. 11 : Volume total de bois mort sur 100 m de linéaire pour les quatre cours d'eau étudiés.....	39
Fig. 12 : Volume total de bois mort par hectare pour les quatre cours d'eau étudiés.....	40
Fig. 13 : Nombre total d'éléments de bois mort sur 100 m de linéaire pour les quatre cours d'eau étudiés.....	40
Fig. 14 : Volume maximal de l'arbre tombé dans les quatre sites d'études.....	42
Fig. 15 : Pourcentage des différents éléments de bois mort par rapport au volume total.....	43
Fig. 16 : Pourcentage du nombre des différents types de bois mort par rapport au nombre total d'éléments.....	43
Fig. 17 : Pourcentage du nombre d'élément par classe de volume par rapport au nombre d'élément de bois mort total	45
Fig. 18 : Pourcentage de chaque classe (en volume) par rapport au volume total.....	45
Fig. 19 : Répartition de volume de bois mort sur les trois zones de l'écosystème du cours d'eau	46
Fig. 20 : Gros bois mort dans le cours d'eau.....	50
Fig. 21 : Phase de développement d'une forêt vierge	55
Fig. 22 : Le Seebach couvert par des rémanents.....	56
Fig. 23 : L'accumulation de bois mort grossier dans le Zweribach.....	57
Fig. 24 : Rapport entre le volume de bois mort et le nombre de coléoptères habitant le bois mort.....	60

Tableau

Tableau 1 : Quantité de bois mort en forêt vierge ou naturelle européenne.....	14
Tableau 2 : Valeur limite pour la distribution du volume d'éléments de bois mort dans des classes.....	27
Tableau 3 : Résultats de l'étude de HENNE : Volume total de bois mort et nombre total d'éléments de bois mort.....	41

Index alphabétique des sigles utilisés dans le rapport et les annexes

BMELV	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (<i>Ministère fédéral de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Protection du consommateur</i>)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (<i>Ministère fédéral de l'Environnement, de la Protection de la nature et de la Sécurité nucléaire</i>)
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt (<i>Fondation allemande pour l'environnement</i>)
DCE	Directive Cadre sur l'eau de l'Union européenne
FGA	Forstliche Grundaufnahme (<i>Inventaire forestière principale, effectué en réserve forestière intégrale</i>)
Fig.	Figure
Freiburg i.B.	Freiburg im Breisgau
FVA	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden Württemberg (<i>Centre de Recherche Forestière de Fribourg</i>)
IGN 25	Carte topographique à l'échelle de 1:25000 publié par l'IGN d'Allemagne
IGN	Institut géographique national
LAWA	Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (<i>groupes de travail sur l'eau</i>)
LFU	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (aujourd'hui LUBW)
LUBW	Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden Württemberg (<i>Service départemental de l'environnement, de mesurage et de la protection de la nature</i>)
LWALDG BW	Landeswaldgesetz Baden-Württemberg (<i>loi forestière du Bade Wurtemberg</i>)
NATSchG BW	Naturschutzgesetz Baden-Württemberg (<i>législation sur la conservation de la nature en Bade Wurtemberg</i>)
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
VDP & VHI	Verband Deutscher Papierfabrik e.V. & Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. (<i>Fédération des papeteries & Fédération allemande de l'industrie de matériaux dérivés du bois</i>)
WG BW	Wassergesetz für Baden-Württemberg (<i>législation sur l'eau en Bade Wurtemberg</i>)
WSL	Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage

Contexte de l'étude

Les cours d'eau appartiennent aux éléments structurels les plus importants de notre paysage. Ils constituent un habitat pour de nombreux animaux et plantes et peuvent réunir différents biotopes de façon variée. Les activités humaines provoquent cependant souvent des changements qui influencent de façon négative l'écosystème des cours d'eau.

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) de l'Union Européenne met en place depuis décembre 2000 une base communautaire pour la protection de l'eau. L'enjeu principal de la DCE est d'éviter une dégradation continue des habitats aquatiques ainsi que de protéger et améliorer ceux-ci et d'atteindre un bon état écologique des masses d'eaux (BMU 2004) en 2015.

Le réseau hydraulique des ruisseaux en Bade-Wurtemberg s'étend sur une longueur totale d'environ 50.000 km. Environ 15.000 km, représentant 30 % du linéaire total de cours d'eau, se trouvent en forêt (SCHABER-SCHOOR 2007). Compte tenu de ce fait, le centre de recherche forestière de Fribourg (en allemand : Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg : FVA) a réalisé de nombreuses enquêtes concernant la thématique « Forêt et Eau ». La DCE a été finalement le point de départ de la réalisation de plusieurs projets concernant le « rôle de la gestion de la forêt dans la protection des cours d'eau ».

Le bois mort est le témoin des relations existant entre le cours d'eau, la ripisylve et le bassin versant. Son importance n'a été reconnue que récemment par les hydrobiologistes, les hydrauliciens et les géomorphologues. La thématique du bois mort dans les cours d'eau a déjà été abordée dans un mémoire dans le cadre du projet « Protection et évaluation des cours d'eau forestiers proches de l'état naturel en fonction de la gestion forestière », réalisé au FVA. Cette étude de HENNE (2007) montre l'impact de l'exploitation forestière des forêts en bordure de ruisseau sur la présence de bois mort dans des cours d'eau. Un état de référence, par exemple la présence potentielle naturelle de bois mort dans des cours d'eau naturels, n'est cependant pas connu. Le présent projet a pour objectif de contribuer à combler cette lacune en comparant la présence de bois mort dans des cours d'eau en réserve forestière intégrale avec celle dans des cours d'eau en forêt gérée.

D'après le paragraphe 32 de la législation du Bade Wurtemberg sur la forêt (LWALDG BW 1995), une réserve forestière intégrale est une forêt livrée à elle-même. Les interventions humaines sont réduites au strict minimum pour laisser la nature y évoluer dans des conditions supposées proches de ce qu'elles seraient en l'absence d'impacts anthropiques. Toutes les opérations sylvicoles sont interdites, sauf cas particulier d'élimination d'essences exotiques invasives ou de sécurisation de cheminements ou voies longeant ou traversant la réserve. La présence de bois mort est donc elle aussi soumise à la dynamique naturelle.

L'entrée en matière suivante explique l'importance et la fonction du bois mort pour un cours d'eau et résume les connaissances sur la présence de bois mort dans des forêts non influencées par l'homme. De plus, les objectifs du projet sont présentés de manière plus détaillée.

1.1 Fonction et importance du bois mort pour les cours d'eau

De nombreuses publications scientifiques ont permis depuis la fin des années 1970 de mieux comprendre quel est le rôle du bois mort dans les cours d'eau (Piégay et al. 2005). Ce chapitre résume les connaissances actuelles sur la fonction du bois mort pour les cours d'eau.

1.1.1 Fonctions physiques associées au bois mort

Le bois mort a un effet important sur la morphologie du lit des cours d'eau et participe à la diversification des formes des ruisseaux. En tant que « moteur de la dynamique du cours d'eau », le bois mort peut augmenter localement la largeur du lit majeur en déviant le sens des écoulements par obstruction partielle ou complète. Généralement, la présence des obstacles se traduit par un ralentissement des écoulements, une élévation de la ligne d'eau à l'amont et une augmentation générale de la rugosité du lit (DUFOUR ET AL. 2005 ; BOSCHI ET AL. 2003). Le bois mort est capable d'induire la formation de milieux annexes comme des zones mortes, reculées ou chenaux

secondaires. Des bancs de gravier et d'autres sites de dépôt se stabilisent grâce aux éléments ligneux, qui contribuent de plus à la pérennité du tracé du lit et de ses berges (ABBE & MONTGOMERY 1996). Les éléments du bois mort provoquent une mosaïque de structures différentes : la création de zones lenthiques, notamment de mouilles, en combinaison avec des chutes d'eau et des parties plates. Cette diversité résulte en une vitesse d'écoulement hétérogène le long du cours d'eau. Des accumulations ou des troncs situés dans le lit peuvent de plus réduire la pente (HERING & REICH 1997). Plus de 80 % des mouilles dans les petits cours d'eau sont associées à la présence de bois mort, leur volume étant proportionnel à la taille des accumulations (ROBINSON & BESCHTA 1990) et à leur localisation dans le lit (BILBY & BISSON 1998). Les éléments les plus gros sont également les plus stables et forment les mouilles les plus profondes et les plus étendues (KAIL 2004). Le bois mort constitue aussi d'une façon indirecte une protection décentralisée contre les crues : grâce aux obstacles, l'eau est obligée d'entourer le bois mort ou de le dépasser. Ceci induit un effet de rétention et un écoulement plus lent.

Les éléments ligneux agissent aussi comme structures de rétention des sédiments, des matériaux organiques tel que les feuilles ou les brindilles, ou de tout autre corps flottant (LE LAY & PIEGAY 2007). Dans les cours d'eau pentus des têtes de bassin, les troncs obstruent toute la largeur du lit et créent un profil en long en escalier qui contrôle le stockage et la libération des sédiments. Dans les petits cours d'eau, la taille de ces sites de dépôts associés au bois mort est faible mais leur fréquence est élevée, essentiellement à cause de la forte pente et d'une largeur du lit majeur réduite. Près de 40 % des pièces de bois sont associées à des accumulations sédimentaires (BILBY & WARD 1989). La présence de bois mort dans le lit favorise d'autre part la rétention de la matière organique particulaire, soit directement en constituant des barrages de bois, soit indirectement par la modification de la morphologie du lit et la création de zones de dépôt. Le piégeage de la matière organique peut atteindre des proportions impressionnantes : 75 % est ainsi stockée dans un cours d'eau d'ordre 1 (BILBY & LIKENS 1980, cité par THEVENET 1998). Ce piégeage a une incidence forte sur le fonctionnement biologique du cours d'eau, modifiant sa productivité et sa composition faunistique (WALLACE ET AL. 1995, cité par THEVENET 1998).

1.1.2 Fonctions biologiques

Intérêt du bois mort pour les macroinvertébrés benthiques

Le bois mort est directement utilisé par les macroinvertébrés benthiques comme source de nourriture. Par contre, le nombre et le genre des organismes aquatiques s'alimentant de bois mort n'est pas encore étudié d'une manière suffisante. HÜTTE (2000) cite des informations issues de « Fauna Aquatica Austriaca » mentionnant seulement deux larves de chironomidés, six espèces de trichoptères ainsi que deux espèces de coléoptère. Il insiste sur le fait que la façon dont les organismes s'alimentent du bois n'est pas totalement connue : il s'agirait soit d'une alimentation directe à base de substrat ligneux, soit d'une alimentation à base d'organismes décomposant le bois mort, par exemple des organismes cryptogamiques. Cependant, les 15 espèces présentées dans le tableau en annexe I sont d'après HOFFMANN & HERING (2000) rigoureusement xylophages. Un autre tableau en annexe représente des espèces aquatiques qui sont probablement xylophages. Comme HARMON ET AL. (1986) et HERING & REICH (1997) ont déjà constaté, il s'agit surtout des espèces de diptères, coléoptères et trichoptères.

Indirectement, la rétention de matériaux organiques particuliers par des éléments ligneux (voir chapitre 1.1.1) provoque une augmentation de l'offre en nourriture pour quelques macroinvertébrés comme *Gammarus fossarum*, un amphipode de la famille gammaridés et *Habroleptoides confusa*, une éphéméroptère (HERING & REICH 1997).

Les éléments de bois mort servent également aux macroinvertébrés benthiques comme substrat d'adhésion, dont ils utilisent la surface comme micro-habitat (VON SIEMENS ET AL. 2005). Cette fonction de substrat est tout particulièrement importante dans des cours d'eau sableux, où le bois mort constitue souvent le seul substrat stable, colonisable et donc indispensable (HERING & REICH 1997, FELD & PUSCH 1998, NAIMAN ET AL. 2002).

Le bois mort est aussi un endroit de pondaison et nymphose pour des nombreux macroinvertébrés benthiques. Beaucoup d'espèces de trichoptères utilisent le bois pour la construction des coquilles de larve et des cocons. Quelques espèces, tel que *Hydatophylax infumatus* et des espèces du genre *Limnephilus*, *Brachycentrus* et de la famille de *Phryganeidae*, sont obligatoirement dépendantes du bois en tant que substrat de construction. Les zones à écoulement modéré, créées grâce au bois mort, offrent des habitats au nombreux macroinvertébrés

spécialisés. Des représentants d'éphéméroptères (*Siphonurus lacustris*, *S. aestivalis* et *Ephemera spec.*), de *Hydrophilidae* (de famille de *Haliplidae*, *Dytiscidae* et *Gyrinidae*) aussi bien que plusieurs espèces de trichoptères du genre *Limnephilus* comptent parmi ces invertébrés aquatiques (HERING & REICH 1997).

La composition faunistique est également influencée par la présence de bois mort, essentiellement composée de collecteurs, broyeurs, déchiqueteurs et prédateurs (THEVENET 1998).

Il est important de considérer que la fonction du bois mort en tant qu'habitat ou source de nourriture directe est généralement dépendante du stade de décomposition, du taux de colonisation microbiologique, de la saturation en eau, de la structure de surface, de l'essence, de la surface ligneuse submergée et de la répartition spatiale du bois mort (KAIL 2004).

En tous cas, une relation positive liant la production, l'abondance, la biomasse ainsi que la diversité des espèces d'invertébrés et la présence de bois mort a été décrite dans de nombreuses études (NAIMAN ET AL. 2002, BILBY & BISSON 1998, HOFFMAN & HERING 2000, HERING & REICH 1997).

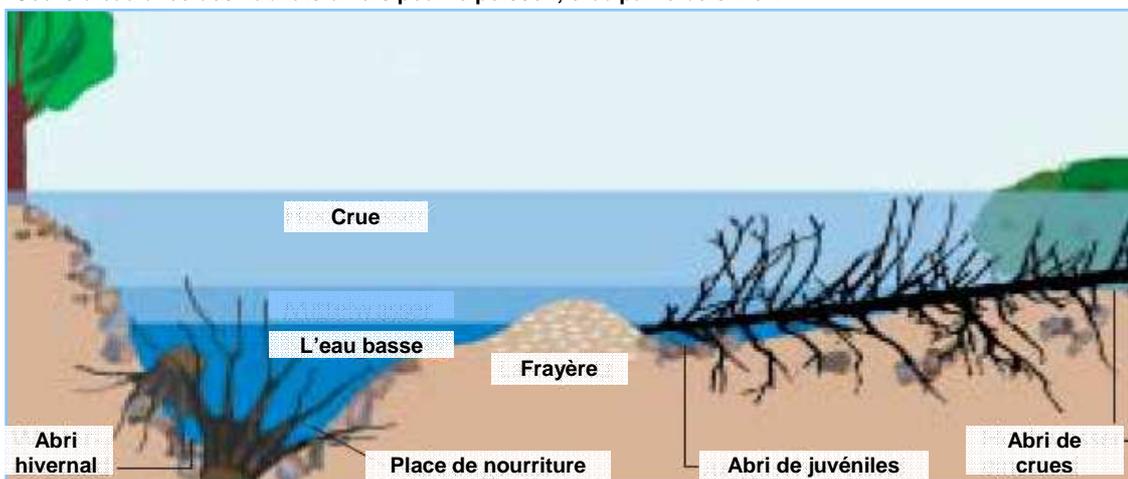
On peut donc constater que le bois mort représente pour quelques macroinvertébrés benthiques un substrat indispensable. HOFFMAN & HERING (2000) mentionnent 103 espèces à l'échelle européenne dont la présence est liée d'une manière directe au bois mort.

Intérêt du bois mort pour la faune piscicole

Le rôle fonctionnel du bois mort pour les poissons est multiple. Il a tout d'abord une fonction d'habitat directe, constituant un abri pour la faune piscicole. La sélection d'un abri par le poisson relève d'une décision à caractère multi-varié, dépendant aussi bien des conditions hydrauliques induites par l'abri, que de la structure de l'abri en elle-même (MONZYK ET AL. 1997). La présence de poisson proche de bois mort grandit avec l'augmentation de la diversité des accumulations de bois et leur composition, parce qu'une structure complexe offre une plus grande variété de ressources et de niches. (Harmon et al. 1986). ZIKA & PETER (2002) montrent que le bois en lui-même est le substrat préféré de la truite fario (*Salmo trutta fario*) et de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). La question du bois mort constituant une aide pour l'orientation des poissons n'est pas encore entièrement clarifiée, et est abordée uniquement dans les travaux de CROOK & ROBERTSON (1999), cité par KAIL (2005).

Généralement, le bois mort est un créateur de diversité d'habitat pour les poissons (voir figure 1). La disponibilité et la diversité des structures d'habitat aquatiques de la faune piscicole aux différents stades du cycle de vie sont augmentées (LE LAY & PIEGAY 2007). Une des plus importantes fonctions du bois flottant est la protection contre les prédateurs : les éléments ligneux protègent contre des prédateurs terrestres (par exemple le cormoran), en agissant comme barrière visuelle vertical. De plus ils fournissent une couverture protectrice horizontale, qui provoque une séparation physique des habitats, permettant de protéger les poissons contre des prédateurs aquatiques, de limiter les interactions entre congénères ainsi que de réduire la compétition interspécifique (DOLLOFF & WARREN 2003, PETER 2003). FRASER & CERRI (1982), cité par KAIL (2005), ont par exemple observé une densité des poissons plus élevée dans les parties riche en structures que dans des zones pauvres en structure en présence de prédateurs.

Fig. 1 : Cours d'eau avec des habitats divers pour le poisson, créé par le bois mort



Source : VON SIEMENS ET AL. (2005), traduit par Anke Hellbach

Le bois mort influence de façon indirecte la colonisation par les poissons en modifiant la morphologie du cours d'eau, l'hauteur d'eau et la vitesse de courant. Les mouilles formées par des structures ligneuses fournissent dans les cours d'eau un habitat-clé pour de nombreuses espèces de poissons. URABE & NAKANO (1998) cité dans LE LAY & PIEGAY (2007) ont montré que la biomasse de truites arc-en-ciel est corrélée au volume des mouilles, lui-même étant positivement corrélé au volume des éléments ligneux. En général les éléments ligneux leur servent d'abri en période d'étiage et comme refuge avec un courant à vitesse faible en période de hautes eaux (BILBY & WARD 1989, HARMON ET AL. 1986). Ils leur fournissent des sites de repos ainsi que des refuges thermiques en conservant une eau plus fraîche en été (ROBINSON & BESCHTA 1990). L'utilisation des différents types de mouille est associée aux différents stades de développement de poissons, de sorte qu'une variation de la répartition des mouilles peut influencer la composition en espèces de la faune piscicole (BILBY & WARD 1989, cité dans KAIL 2005). Les juvéniles préfèrent des mouilles d'eau basse afin d'éviter la concurrence avec les adultes, qui eux par contre sont dépendants de la présence de mouilles profondes (BESCHTA & PLATTS 1986). De plus, les éléments ligneux créent des abris hydrauliques utilisés lors de la recherche de nourriture pour optimiser le gain énergétique en limitant les dépenses liées à la nage contre le courant (THEVENET 1998). Surtout en période froide, quand la concurrence pour la nourriture est augmentée à cause de la présence d'hôtes hivernaux, de nombreux poissons, notamment des juvéniles de salmonidés, profitent des refuges hivernaux créés par le bois mort. Un autre habitat fonctionnel, la frayère, se forme également assez souvent grâce aux éléments ligneux (VON SIEMENS ET AL. 2005). La continuité des cours d'eau n'est pas significativement perturbée par le bois mort, parce qu'il s'agit d'obstacles temporaires et la plupart des grandes accumulations sont franchissables en période de haute eau (BILBY & BISSON 1998).

La présence de bois mort influence aussi d'une manière indirecte l'offre en nourriture, car les poissons s'alimentent entre autre des macroinvertébrés dont la présence est fortement liée à l'existence des éléments ligneux (voir plus haut).

Toutes les fonctions mentionnées ci-dessus ont un effet positif sur la production, l'abondance, la croissance et la diversité de la faune piscicole. Différentes études ont montré que le bois mort dans les cours d'eau augmente la production des poissons (URBANEK ET AL. 1999). L'abondance de la truite arc-en-ciel ainsi que la présence et la biomasse de la truite fario sont significativement augmentées par la présence du bois mort (BECKER 2002, ZIKA & PETER 2002, VON SIEMENS ET AL. 2005). Ceci est conforme à une étude qui montre que les cours d'eau des États-Unis du Nord-Ouest, ayant la production de truites la plus forte, traversent des forêts non gérées (SEDELL & FROGGATT. 1984). Considérant de grands cours d'eau, THEVENET (1998) observe une diversité spécifique ainsi qu'une biodiversité élevée de la faune piscicole liée à la présence de bois mort grossier.

À l'échelle européenne, il n'existe pas de liste des espèces associées au bois mort. Par contre DOLLOFF & WARREN (2003) mentionnent 86 espèces de poisson qui sont liés à la présence de bois mort grossier au sud-est des États-Unis.

Intérêt du bois mort pour d'autres organismes

Non seulement la faune piscicole et les macroinvertébrés, mais aussi d'autres organismes aquatiques et terrestres, tels que des oiseaux, des reptiles, des amphibiens et des mammifères, profitent du bois mort en tant qu'habitat, abri et nourriture (par exemple litière de feuilles, insectes, poissons) (KAIL 2004). De nombreux oiseaux comme le Cincle plongeur, le Martin-pêcheur et la Bergeronnette des ruisseaux par exemple utilisent le bois mort en tant que perchoir, nichoir et lieu d'incubation des œufs (HERING & REICH 1997). Des petits mammifères et insectes sont capables de traverser le cours d'eau à l'aide des éléments ligneux morts, qui d'après KAIL (2004) servent aux amphibiens comme lieu de pondaison. Les bancs de gravier ou de sable, formés souvent grâce aux accumulations, ont un effet positif sur les coléoptères épigés et certaines araignées (BOSCHI ET AL. 2003). De plus, des accumulations de branches fines et de feuilles peuvent constituer des refuges pour des arthropodes lors des crues. Elles sont aussi très importantes pour des familles de coléoptère en tant qu'habitat et refuge. La déviation de l'écoulement par les éléments de bois mort peut favoriser la formation et l'érosion de berges. Les structures résultantes sont importantes pour des abeilles sauvages (*Apidae*) et des *Sphecidae* en tant que substrat pour la nidification (HERING & REICH 1997).

Le bois mort peut même favoriser des organismes végétaux: Les éléments ligneux morts et les sédiments piégés dans les zones riveraines peuvent constituer des zones pépinières de régénération de la ripisylve, car ils

forment des sites privilégiés de germination pour les espèces végétales pionnières ou pour les conifères, notamment l'épicéa (*Picea abies*) (HARMON ET AL. 1986).

En résumant la fonction du bois mort pour les cours d'eau, on peut dire que le bois mort favorise la diversité des espèces et contribue à la conservation de la biodiversité dans les cours d'eau.

1.2 Le bois mort dans « les forêts vierges européennes » – Le bois mort, une lacune des forêts gérées

Le bois mort, composante essentielle des forêts naturelles, a toujours existé et ce, partout dans les forêts vierges. La quantité de bois mort en forêt vierge est donc une bonne base de comparaison quant à la quantité de bois mort que l'on peut trouver dans des conditions non influencées par l'homme qui existent par exemple dans des réserves intégrales. La grande diversité des résultats trouvés dans la littérature (voir tableau 1, page suivante) montre qu'il n'est pas facile de déterminer le volume de bois mort d'une forêt vierge européenne. Ceci est entre autre lié au fait que la quantité de bois mort est dépendante de la phase de développement de la forêt, de l'âge du peuplement forestier, de l'essence, de la productivité de la station et/ou des événements singuliers comme les tempêtes. De plus, les méthodes appliquées pour relever le bois mort dans les différentes études ne sont pas toujours identiques. De toute façon il n'est pas possible d'en déduire des valeurs standard. Le volume varie par exemple entre 9 et 79 m³ par hectare, mesuré dans des forêts au nord-ouest de l'Allemagne n'étant plus gérées depuis au moins 50 ans (MEYER 1999). D'autres résultats montrent que le volume de bois mort dans des forêts vierges peut atteindre des valeurs beaucoup plus importantes comme par exemple 422 m³/ha (LEIBUNDGUT 1993). La part du bois mort par rapport au volume de bois sur pied en forêt naturelle peut être très élevé. D'après SITONEN, cité dans BÜTLER & SCHLAEPFER (2004) le bois mort représente jusqu'à 40 % du volume de bois sur pied dans une forêt proche de l'état naturel en Scandinavie.

Bien que la marge des volumes de bois mort trouvée en forêt vierge soit très importante, la différence par rapport au volume de bois mort que l'on trouve de nos jours dans des forêts gérées est énorme. Les quantités de bois mort en forêt gérée sont très faibles. Ils s'élèvent généralement de 1 à 12 m³/ha et la part du volume de bois sur pied est inférieur à 5 % (BÜTLER & SCHLAEPFER 2004). Lors du deuxième inventaire forestier national en Allemagne (BWI² en allemand), un volume moyen de bois mort de 11,5 m³/ha a été relevé pour les forêts gérées, ce qui correspond à un pourcentage de 3,6 % par rapport au volume de bois sur pied (BMELV 2004). On peut constater des ordres de grandeur similaires dans d'autres pays européens. SCHIEGG PASINELLI & SUTER (2000) mettent en évidence, par exemple, qu'il existe dans la forêt de production suisse, avec un volume moyen de 11,9 m³/ha de bois mort, en moyenne dix fois moins de bois mort que dans la forêt naturelle. Dans une étude de LORENZ (2005), par contre, la quantité de bois mort n'est que trois fois plus grande dans la réserve comparée au site de référence géré. En France, le volume moyen de bois mort s'élève seulement à 2,2 m³/ha (VALLAURI & PONCET 2002). Le bois mort est donc peu abondant dans des forêts gérées. Cette lacune concerne aussi la ripisylve et les forêts riveraines des cours d'eau car elles sont également exploitées.

Puisque la présence de bois mort dans un cours d'eau est dépendante de la ripisylve et des forêts riveraines (pour les endroits où la ripisylve est absente), on peut supposer que le bois mort est également peu abondant dans les cours d'eau européens. Cette idée est confirmée par plusieurs scientifiques qui déclarent qu'il existe généralement un manque de bois mort dans l'écosystème des cours d'eau en Europe (GULDER 2000, GERHARD & REICH 2001, ECKERT ET AL. 1996). La plupart des chercheurs raisonnent de la manière suivante :

La totalité des cours d'eau européens est naturellement accompagnée d'une ripisylve ou d'une forêt riveraine. Seuls des ruisseaux des hautes Alpes, ainsi que des cours d'eau dans des zones marécageuses constituent une exception. L'influence d'une ripisylve ou d'une forêt riveraine sur un cours d'eau concerne les houppiers d'arbre au dessus du ruisseau, les racines d'arbre au bord de berge ainsi que le bois mort situé dans les cours d'eau même (HÜTTE 2000). Cependant, l'impact humain de plusieurs siècles sur les cours d'eau a causé fréquemment la perte entière de la ripisylve, surtout en aval. Le peu de corridors végétaux étroits n'apportent qu'une

petite contribution de bois mort au cours d'eau à cause des soins qui leurs sont régulièrement apportés (GULDER 2000). De plus, le prélèvement effectué pour différentes raisons (raison esthétique, pour éviter la formation de barrages naturels) entraîne une réduction de bois mort dans les ruisseaux (VON SIEMENS ET AL. 2005). HERING & REICH (1997), par exemple constatent, que la présence de bois mort n'est plus que ponctuelle aujourd'hui, et ils supposent, en outre, que sous des conditions naturelles on trouverait beaucoup plus de bois mort dans les cours d'eau.

Tableau 1 : Quantité de bois mort en forêt vierge ou naturelle européenne

Auteur	Quantité bois mort [m³/ha]	Type de forêt	Région	Productivité de la station/ Phase de développement
Korpel (1997)	55	épicéa	Slovaquie	station moyenne
Tomialojc & Weselowski (1994)	60	-	Bialowieza	-
Kaspar (1992)	100	hêtraie sapinière montagnarde	Stuzica	-
Korpel (1997)	113	hêtre	Slovaquie	station moyenne
Abs et al. (1999)	140	chêne, charme	nord-est de la Pologne	-
Korpel (1997)	155	épicéa	Slovaquie	station productive
Korpel (1997)	200	hêtre	Slovaquie	station productive
Nilsson et al. (2002)	200	forêt mélangée de feuillus	Europe centrale	station productive
Korpel (1997)	210	sapin, hêtre	Slovaquie	-
Korpel(1997)	310	hêtre	Slovaquie	phase de déclin
Rauh (1993)	9-45	réserve en Bavière	Allemagne	-
Meyer (1999)	9-79	hêtre	Allemagne	-
Korpel (1997)	> 50	hêtre	Slovaquie	phase d'optimum
Leibundgut (1993)	0-422	hêtre, sapin	Slovenie	-
Detsch et al. (1994)	10-110	réserve forestière intégrale	-	-
Rauh & Schmidt (1991)	10-180	pessière réserve forestière intégrale	Allemagne	-
Nilsson et al. (2002)	130-150	forêt mélangée de feuillus	Europe centrale	station moyenne
Albrecht (1991)	50-300	forêt vierge	Europe centrale et Europe du sud-est	phase de déclin
Siitonen et al. (2000)	70-184	forêt résineuse boréale	Finlande	-
Waldenspuhl (1991)	max. 400	forêt vierge	Europe centrale et Europe orientale	-

1.3 Les objectifs de l'étude

Compte tenu de l'importance essentielle du bois mort pour les cours d'eau (voir chapitre 1.1.1 et 1.1.2), il est intéressant de connaître la présence potentielle naturelle de bois mort dans les cours d'eau. De plus, l'obligation du Lande de Bade-Wurtemberg d'atteindre un bon état écologique des cours d'eau selon les objectifs de la Directive Cadre sur l'eau (DCE) de l'Union européenne, nécessite de connaître la présence naturelle de bois mort dans les cours d'eau, afin d'être en mesure de déterminer un état de référence en la matière. Cet état de référence pourrait donc servir d'orientation en ce qui concerne la quantité et la composition souhaitable en bois mort dans les ruisseaux, en fonction de la gestion actuelle de la ripisylve ou du peuplement forestier bordant le cours d'eau.

La plupart des études antérieures réalisées sur la présence du bois mort dans des cours d'eau naturels ont été réalisées en Amérique du nord (ECKERT ET AL. 1996, HERING ET AL. 2000). Les valeurs résultant de ces recherches ne peuvent être transposées que de manière restreinte sur des cours d'eau en Allemagne, car les associations forestières ne sont pas du tout similaires et le bois mort a souvent été relevé uniquement dans le lit du cours d'eau (voir une synthèse dans HARMON ET AL. 1986). L'évaluation de la littérature concernant la présence de bois mort dans les cours d'eau naturels montre qu'en Europe centrale, cet état naturel n'est pratiquement pas connu (ECKERT ET AL. 1996). La plupart des études ont relevé le bois mort dans des cours d'eau dont la ripisylve ou la forêt riveraine est absente ou influencée par l'homme. D'autres projets n'ont pas considéré la totalité du bois mort (fin et gros) mais seulement le bois mort ayant une certaine taille minimale, par exemple 1 m de longueur et 20 cm de diamètre (GERHARD & REICH 2001).

Le présent projet a pour objectif d'apporter des premiers résultats en ce qui concerne la présence potentielle naturelle de bois mort dans des petits cours d'eau entourés d'un massif forestier. Une première étape est donc d'inventorier le bois mort gros et fin dans trois petits cours d'eau naturels, afin de savoir de quelle façon il sera présent dans des conditions naturelles : sa quantité, sa composition structurelle et sa distribution spatiale. Le bois mort sera relevé dans le cours d'eau lui-même, ainsi que dans un rayon de 25 m. Comme HERING ET AL. (2000) l'ont déjà fait constaté, il n'existe en Allemagne plus aucun cour d'eaux vierge de toute modification anthropique. Les réserves forestières intégrales représentent donc plutôt l'état actuel après la cessation de l'influence humaine sur le site concerné.

L'étude va donc analyser l'impact de l'abandon de la gestion sur la présence de bois mort ou autrement dit: les résultats vont indiquer la présence potentielle de bois mort dans le cours d'eau à condition que l'homme n'intervienne plus.

Afin de pouvoir juger de l'importance pour l'écosystème du cours d'eau, de pouvoir mieux apprécier les déficits éventuels en forêt gérée, ainsi que de formuler les possibles mesures préventives à prendre dans des forêts gérées, une deuxième question se pose : quelle différence existe-t-il effectivement entre une forêt gérée ou non quant à la présence de bois mort dans les cours d'eau ? Pour répondre à cette question, l'inventaire du bois mort dans des conditions naturelles sera comparé avec celui relevé dans un cours d'eau traversant une forêt gérée. En outre, l'importance du bois mort pour l'écosystème d'un petit cours d'eau sera analysée à l'exemple de celui des mousses. Lors de ce projet, il sera aussi souhaitable de se poser la question de la quantité de bois mort nécessaire à un petit cours d'eau en forêt. En se servant des résultats acquis, quelques premières recommandations aux gestionnaires seront avancées afin de leur indiquer de quelle manière un cours d'eau devrait être muni de bois mort.

2 Méthode et outils

2.1 Sites d'études

2.1.1 Choix des sites d'étude

La première étape du projet a été la sélection des sites d'études. L'objectif a été de trouver des cours d'eau en réserve forestière intégrale ainsi qu'au moins un cours d'eau en forêt gérée.

Les cours d'eau en réserve forestière intégrale

L'objectif a été de trouver des cours d'eau dans deux réserves forestières intégrales appropriées pour l'étude. L'auteur est conscient que la pertinence d'une étude augmente avec la quantité des données exploitées, mais le nombre a été limité à cause du temps restreint disponible. Pourtant il a été décidé d'étudier plus d'un site pour éviter des résultats inutilisables, causés par des événements stochastiques.

La sélection des sites d'études parmi les 111 réserves forestières intégrales actuellement déclarées en Bade Wurtemberg a été réalisée en plusieurs étapes.

Étape 1

Tout d'abord, les réserves forestières intégrales qui ne sont pas traversées par un cours d'eau ont été exclues. Également les réserves qui possèdent des cours d'eau dont la longueur additionnée est inférieure à 300 m ont été exclues. La longueur additionnée est la somme d'affluents ou la somme de plusieurs cours d'eau qui se trouvent dans les limites de la réserve. Le calcul a été réalisé à l'aide du logiciel ArcGIS 9.x avec la base de données du réseau hydraulique de la LUBW. Après cette première étape il restait 43 sites d'études potentiels.

Étape 2

En deuxième lieu, les caractéristiques du cours d'eau et du massif forestier qui l'entoure, concernant la conformité avec son état naturel et sa localisation géographique dans la réserve, ont été analysées. Ceci a été fait à l'aide de la carte topographique IGN 25 et des orthophotos affichées avec le logiciel ArcGIS 9.x.

Un site a été déclaré non approprié si :

- la longueur additionnée des tronçons est supérieure à 300 m mais le tronçon individuel est trop court
- un cours d'eau a été rectifié.
- le cours d'eau se situe très proche de la source : dans ce cas la largeur du cours d'eau est trop faible pour analyser les questions posées.
- le cours d'eau constitue la frontière de la réserve forestière intégrale. Dans ce cas, le cours d'eau n'est probablement pas entouré d'un massif forestier proche de l'état naturel des deux cotés du ruisseau.
- le long du cours d'eau se trouve une grande route forestière.

En outre la base de données des réserves forestières intégrales du FVA a été exploitée en ce qui concerne l'état naturel de la réserve intégrale. Une réserve a été exclue, si :

- la gestion passée était une autre que la futaie : une gestion passée en futaie est envisagée parce qu'à l'heure actuelle le taillis ou le taillis sous futaie ne sont pratiquement plus pratiqués en Bade Wurtemberg. De plus, les sites qui sont issus d'une succession après pâturage n'ont pas été choisis, parce que seul un terrain boisé depuis longtemps est intéressant pour l'étude.
- le peuplement forestier actuel est loin d'être conforme avec le peuplement forestier potentiel naturel ; par exemple s'il s'agit d'une pessière.
- la durée de l'abandon du site est très courte : des changements significatifs concernant la quantité et la composition de bois mort ne se fait remarquer qu'après au minimum 25 ans (HERING ET AL. 2000).
- la surface de la réserve forestière intégrale est trop petite : une dynamique naturelle d'un massif forestier est peu probable sur des petites surfaces.

Il restait 6 sites potentiels après cette deuxième sélection.

Étape 3

Puis, les informations disponibles dans la littérature et les données collectées et archivées par le FVA ont été exploitées pour trouver des indices concernant la présence de bois mort et la conformité du cours d'eau avec son état naturel. Avant la dernière étape, une de six réserves a été exclue : le fond de vallée traversé par le cours d'eau ne fait pas partie de la surface déclarée en réserve forestière intégrale. En conséquence un centre de distribution d'eau enlève régulièrement du bois mort du cours d'eau parce qu'une centrale se trouve en aval du ruisseau.

Il n'a pu être mis en évidence aucune contrainte importante pour les cinq autres sites avec les analyses faites jusqu'à ce point. Pour pouvoir, parmi les sites potentiels restants, choisir les sites d'étude adéquats, il a fallu aller les analyser sur place. Le tableau qui résume les aspects positifs et négatifs avant et après l'inspection du terrain se trouve en annexe II.

Étape 4

L'objectif de l'analyse sur place a été de vérifier l'état du cours d'eau et du peuplement forestier en ce qui concerne leurs conformités avec leurs états naturels. L'information d'état naturel du peuplement forestier provient de la cartographie de la forêt selon les caractéristiques de la station. Cette cartographie déduit le peuplement forestier potentiel naturel basé sur les caractéristiques de la station (« Standortskartierung » en allemand). Ceci peut impliquer des essences qui n'auront pas naturellement leur station à cet endroit mais dont le potentiel de concurrence est assez prononcé. Il existe aussi une carte figurant le peuplement forestier naturel potentiel (« pnV » = « potentielle natürliche Vegetation » en allemand), mais malheureusement cette carte est à l'échelle 1 : 350.000 et pour cette raison il n'était pas possible d'en tirer des informations précises. Par la suite, des qu'on parle « d'état naturel du peuplement forestier » il s'agit d'une comparaison entre le peuplement forestier actuel et le peuplement indiqué sur la cartographie de la forêt selon les caractéristiques de la station.

De plus il a fallu déterminer si un développement dynamique naturel pour la forêt et le cours d'eau a été possible. Trois des cinq réserves forestières intégrales ont été exclues à cause des raisons suivantes :

- le linéaire de cours d'eau est bordé à moins de 25 m par un ouvrage linéaire (route, routes forestières, piste), ce qui provoque une morphologie du lit altéré : le champ d'expansion latéral est limité, le peuplement forestier est discontinu.
- il s'agit d'un cours d'eau qui est périodiquement sec.
- le cours d'eau est rectifié et/ou muni de seuils artificiels.
- il s'agit d'un peuplement forestier issu d'une succession après pâturage ou prairie.
- le peuplement forestier est encore jeune ou/et ressemble beaucoup à une forêt gérée.
- la présence de bois mort issu d'une éclaircie passée.

Les deux dernières contraintes sont liées au fait que la durée de l'abandon est courte en combinaison avec une gestion intensive auparavant.

Les sites d'études choisis sont : la réserve forestière intégrale « Flüh » avec le ruisseau « Grenzbach » et la réserve forestière intégrale « Zweribach » avec les cours d'eau « Zweribach » et « Hirschbach ».

Généralement il a été intéressant de constater que la plupart des cours d'eau observés ne se trouvent plus dans leur état naturel, étant fréquemment bordés des chemins ou routes.

Le cours d'eau en forêt gérée

L'idée initiale était de poursuivre en aval ou en amont un ou deux des trois cours d'eau qui se trouvent en réserve pour en arriver aux parties où le massif forestier est géré. Il n'était pas possible de procéder de cette manière parce que les ruisseaux choisis Hirschbach et Zweribach de la réserve forestière intégrale « Zweribach » ne traversent plus de forêt ni en aval, ni en amont (voir figure 9, page 35). Le cours d'eau Grenzbach qui se trouve dans la deuxième réserve choisie, se jette après une distance très courte depuis la limite de la réserve en aval dans la Wiese, qui ne représente pas un petit cours d'eau (voir figure 7, page 31). Par conséquent ce ruisseau ne possède pas non plus de parties de cours d'eau appropriées pour l'étude en forêt gérée.

Il a été donc nécessaire de trouver d'autre cours d'eau avec les critères suivants (ordonnés par importance) :

Le cours d'eau en forêt gérée devrait :

- se situer dans la même région naturelle que les autres ruisseaux : en Haute Forêt-Noire.
- avoir une géologie similaire à celle des cours d'eau en réserve.
- représenter le même type de cours d'eau selon la typologie réalisée lors de la directive cadre sur l'Eau (DCE) de l'Union Européenne et selon sa morphologie.
- avoir une pente similaire.
- être entouré d'un massif forestier similaire en ce qui concerne la composition en essences et l'âge du peuplement forestier.
- se trouver en exposition similaire.
- se jeter dans le même cours d'eau d'ordre supérieur.
- Se situer dans la forêt domaniale, pour permettre d'accéder à des informations précises concernant la gestion actuelle et passée, qui ne sont pas nécessairement disponibles pour la forêt communale ou la forêt privée.

Après l'analyse de la carte IGN on a pu remarquer que le paysage proche du site d'étude « Flüh » est très fragmenté. La région ne compte donc pas beaucoup de surfaces boisées. En outre il ne s'y trouve que peu de cours d'eau. Ainsi la recherche du cours d'eau a été focalisée sur la région proche de la réserve « Zweribach ».

Tous les ruisseaux dans cette région ont été contrôlés sur place selon les critères mentionnés ci-dessus. Il a été difficile de trouver un cours d'eau remplissant toutes les conditions souhaitées, surtout parce que des sites en pente similaire aux trois autres sites ont souvent été des forêts hors-cadre et par conséquent non gérées. D'autres restrictions étaient par exemple un cours d'eau trop petit ou un peuplement forestier qui ne correspondait pas au peuplement forestier des réserves « Zweribach » ou « Flüh » selon sa composition ou son âge. Finalement, seul un cours d'eau a pu être sélectionné en parcelle privée remplissant la plupart des exigences. Il aurait été souhaitable d'étudier plus d'un ruisseau en forêt gérée pour faciliter la comparaison entre réserve et forêt gérée et afin d'exclure des résultats inutilisables, causés par des événements stochastiques. Malheureusement il n'était pas possible d'élargir la recherche à d'autres endroits dans le délai du temps donné.

2.1.2 Description des sites d'études

Les données utilisées pour la description des sites d'études et les cours d'eau proviennent, pour autant que la littérature ne soit pas indiquée explicitement, des différentes bases de données de la FVA, comme par exemple la base de données « Regionale-Standort-Typen » (types de station régionaux), la « Waldbiotopkartierung » (la cartographie des biotopes forestiers), la base de données des réserves forestières intégrales et la cartographie des fonctions forestières. La description de la forêt gérée a été complétée à l'aide des informations issues d'un entretien avec le propriétaire.

2.1.3 Description du peuplement forestier

La description du peuplement forestier a été réalisée avec la méthode allemande de la « description verbale du peuplement » (en allemand : « verbale Bestandesbeschreibung ») (THIES 2006). Cette méthode permet de décrire le peuplement forestier visuellement à l'aide d'une terminologie conventionnelle. La description du peuplement forestier se porte sur la forêt riveraine d'une bande de 25 m de large selon la définition de la zone considérée comme zone potentielle concernant la provenance de bois mort dans le cours d'eau (FVA 2006). Elle a été réalisée pour chaque tronçon d'étude (voir chapitre 2.2.1), mais aussi hors de tronçon lorsqu'un changement de peuplement a pu être identifié, afin de garantir une description continue du peuplement. La fiche du terrain avec laquelle le relevé de la description verbale du peuplement a été effectué se trouve en annexe III. Les paramètres relevés sur le terrain sont : le degré de fermeture, la formule des essences, la classe de diamètre, le type de mélange, la structure ainsi que les essences de la régénération. Afin de compléter la description du peuplement forestier, des informations supplémentaires trouvées en littérature (dans le cas des réserves forestières intégrales) ou issues d'un entretien avec le propriétaire (dans le cas de la forêt gérée) ont été ajoutées. Les résultats sont présentés dans le chapitre 4.1.

2.2 Relevé des bois morts

La méthode appliquée afin de relever le bois mort est principalement basée sur celle de HENNE (2007). Les autres méthodes trouvées dans la littérature internationale sont premièrement souvent limitées à l'inventaire de bois mort grossier (ECKERT ET AL. 1996; MARTIN & BENDA 2001; MAY & GRESSWELL 2003; REEVES ET AL. 2003; GERHARD & REICH 2000; DAHLSTRÖM & NILSSON 2006) et deuxièmement dans la plupart des cas, seul le bois mort qui se trouve dans le lit majeur a été étudié (MARTIN & BENDA 2001; MAY & GRESSWELL 2003 ; GERHARD & REICH 2000).

Seules les travaux de HENNE (2007), inspirées de ECKERT ET AL. (1996), MARTIN & BENDA (2001) et MAY & GRESSWELL (2003), prennent en compte le bois mort fin et la litière, ainsi que le bois mort qui se situe dans une bande de 25 m de largeur des deux côtés du ruisseau. Cette méthode a été modifiée et partiellement améliorée afin de l'adapter aux objectifs de la présente étude.

Comme effectué lors des chapitres précédents, tout comme dans les suivants, l'expression « bois mort » sera utilisée comme terme générique pour le matériel relevé lors de ce projet. Cependant le terme « débris ligneux grossier » (« Grobdetritus » en allemand) serait le terme technique le plus correct car il comprend tous les matériaux organiques morts d'un diamètre supérieur à 1 mm (KAIL & GERHARD 2003, voir aussi annexe IV) et correspond donc exactement à l'objet de l'étude. Nous nous contenterons tout de même du terme « bois mort » à la place de débris ligneux grossier car il est plus utilisé dans la littérature spécialisée internationale.

2.2.1 Détermination des tronçons d'étude

À cause du temps limité, il n'était pas possible de réaliser un inventaire en plein du bois mort le long du cours d'eau dans les limites de la réserve forestière intégrale et de la forêt gérée. C'est pourquoi des tronçons représentatifs pour la présence de bois mort ont été déterminés.

Avant tout, la partie de cours d'eau en réserve a été répartie en plusieurs compartiments. Principalement, il existe deux grandes catégories de section : des compartiments potentiellement utilisables pour un relevé de bois mort et des compartiments non appropriés pour cette étude. Ces derniers ont été déterminés grâce aux critères suivants : la ripisylve, respectivement le peuplement forestier le long du cours d'eau, est très jeune, ou la structure morphologique du cours d'eau est influencée par des bâtiments anciens. En ce qui concerne la délimitation des sections appropriées, l'homogénéité selon la composition des essences et l'âge du peuplement forestier, des limites naturelles comme des cascades ou des limites artificielles comme des routes forestières, et la quantité de bois mort (beaucoup, peu) ont été décisifs. En conséquences, les compartiments ne possèdent pas forcément une longueur identique.

Une fois les compartiments définis, les tronçons représentatifs pour chaque section ont été déterminés. Le nombre et la position des tronçons dépendent de l'homogénéité du compartiment au vu de la présence de bois mort (estimé à l'œil). Afin de garantir la représentativité, plus un compartiment est hétérogène, plus le nombre de tronçons définis est grand. Si par exemple un compartiment se présente avec des parties d'une quantité grande, moyenne et petite, trois tronçons seront choisis pour représenter cette hétérogénéité.

Un tronçon possède une taille de 500 m² (10 x 50 m). La largeur de 25 m des deux côtés du ruisseau a été choisie, parce qu'elle représente la longueur moyenne d'un arbre. Cette zone est considérée comme zone potentielle concernant la provenance de bois mort dans le cours d'eau (FVA 2006). D'après REEVES (2003) ces zones en versant d'une pente forte peuvent même s'étendre sur une largeur de 90 m. Quand on parle, dans les chapitres suivants, surtout dans la partie 2.3, 4 et 5, de la présence de bois mort dans le cours d'eau, par exemple du volume total de bois mort du Grenzbach, cela concerne non seulement le cours d'eau lui-même mais aussi une bande de 25 m de largeur des deux côtés du ruisseau.

Après une analyse sur le terrain, la longueur de 10 m a été jugée comme bon compromis : il s'agit d'une longueur assez grande pour relever des éléments de bois mort entier, puisqu'il est rare que les arbres tombés se situent parallèlement au cours d'eau. De plus, une longueur plus grande, 20 m par exemple, demande beaucoup plus de temps pour les relevés, la surface étant doublée (1000 m²).

Les tronçons du cours d'eau en forêt gérée ont été sélectionnés en appliquant la même méthode.

2.2.2 Les différents types d'élément de bois mort

La méthode appliquée pour relever le bois mort sera expliquée en se basant sur la fiche de relevé développée lors de ce projet. Elle se trouve en annexe V. Avant tout, le bois mort trouvé devrait être classé d'après des groupes d'éléments. Le classement se fait selon le type d'élément, sa forme et sa fonction.

Les différents types éléments de bois mort sont structurés en trois niveaux (voir figure 4). Afin de faciliter le travail sur le terrain et d'économiser de la place sur la fiche de relevé, une clé de cartographie a été développée. Celle-ci se trouve en annexe VI.

2.2.2.1 Éléments de premier niveau

Le bois mort est classé dans les groupes « l'élément unique », « le piégeur avec accumulation », « l'accumulation », « les résidus » et « divers ». Les groupes des éléments de premier niveau sont présentés en orange en figure 4.

L'élément unique

Tous les éléments unitaires d'un diamètre supérieur à 10 cm (à l'extrémité la plus large) sont classés dans le groupe « l'élément unique ». Par conséquent, du bois mort fin comme des branches fines, la brindille ou des accumulations de plusieurs branches ne comptent pas parmi ce groupe. Le seuil de 10 cm a été fixé parce que d'après la définition de KAIL & GERHARD (2003), seul du bois mort grossier peut constituer des éléments uniques selon des valeurs courantes appliquées dans les méthodes internationales de relevé de bois mort dans les cours d'eau. Aucun seuil concernant la longueur des éléments uniques n'a été établi.

L'accumulation

Des éléments composés de plusieurs pièces uniques de matière organique particulière, par exemple emportées et regroupées par l'eau, font partie de ce groupe. Non seulement l'accumulation de plusieurs troncs morts, mais encore des feuilles accumulées appartiennent au groupe « l'accumulation ». Il est important qu'aucun élément unique ne puisse être identifié comme pièce organique responsable pour l'agrégation en ce qui concerne ces éléments formés fluvialement. L'accumulation est causée plutôt par un rétrécissement du cours d'eau, par exemple par des gros blocs dans le lit qui bloquent la course libre du bois mort vers l'aval.

Le piégeur avec accumulation (en allemand : « Fänger mit Ansammlung »)

Ce groupe est une combinaison des deux groupes précédents. La présence d'un élément unique « piégeur » (voir chapitre 2.2.2.2) et une accumulation causée par ce dernier sont caractéristiques pour ce type d'élément. L'accumulation peut être composée non seulement de litière mais encore du bois mort fin et/ou grossier. La présence de deux ou plusieurs piégeurs est possible également.

Les résidus

Tout le bois mort issu de la gestion, respectivement des éclaircies, fait partie du groupe « résidus ». Il peut s'agir par exemple des rémanents, des souches ou d'autres pièces de bois qui ont été laissées sur place.

Divers

Si un élément n'a pu être classé dans les groupes mentionnés ci-dessus, il a été relevé comme « divers ».

2.2.2.2 Éléments de second niveau

À l'exception du groupe « divers », les groupes du premier niveau ont pu être structurés dans les groupes de second niveau. Ils sont affichés en jaune (voir figure 4).

L'élément unique et ses groupes de second niveau

Le groupe « l'élément unique » est composé de « l'élément tombé », « le bois mort debout », « l'élément parallèle à l'écoulement » et « le piègeur ».

« **L'élément tombé** » peut être un arbre ou une branche. Il est important de distinguer ces deux éléments car ils ont un impact différent sur l'écoulement des masses d'eau. Un « arbre tombé » (en allemand : « Sturzbaum ») est d'après la définition de LAWA (2000) un arbre de berge, qui est tombé à cause de son âge avancé, suite à une chute ou à un dégravolement et qui se trouve avec son tronc, son houppier et/ou ses racines arrachées dans ou au dessus du lit de façon à ce que le débit soit influencé de manière significative. La définition a été élargie aux arbres tombés à l'intérieur de la zone d'étude (25 m de chaque côté du ruisseau). Un contact au lit n'a pas été obligatoire.

Une « branche tombée » est une branche d'un diamètre supérieur à 10 cm (à l'extrémité la plus large) qui se trouve dans le tronçon de ruisseau étudié. Elle provient d'un arbre qui se trouve dans l'environnement du ruisseau et qui a perdu la branche à cause du vent ou d'un éclair.

Quelquefois il a été difficile de distinguer s'il s'agit d'un arbre fin tombé ou d'une grosse branche. Pour cette raison, un seuil à 5 m de longueur et 45 cm de diamètre a été établi. Dans une telle situation incertaine, une pièce d'une longueur inférieure à 5 m avec un diamètre inférieur à 45 cm est classée donc en branche tombée. Par contre, s'il n'y a aucun doute qu'il s'agit d'un arbre, même un élément d'une longueur inférieure à 5 m et d'un diamètre inférieur à 45 cm sera classé en arbre tombé.

« **Le bois mort debout** » se divise en « arbre entier » et « volis ». Un élément est classé en arbre entier si le tronc est intact dans sa continuité jusqu'au houppier et si des branches ou des résidus du houppier peuvent être identifiés. L'arbre mort a été distingué d'un arbre vivant si un des critères suivants a été identifié : l'arbre ne possède plus de feuilles ou d'aiguilles pendant la phase de végétation ; l'état de l'écorce n'est plus intact, cela veut dire que l'écorce est en partie ou totalement tombée par terre ; les branches se présentent sous forme tronquée ou les branches sont toutes tombées par terre.

Il s'agit par contre d'un volis (voir en annexe VII illustrée la différence entre arbre entier et volis) si le tronc est cassé à cause du vent, de la neige, d'un éclair ou de la pourriture. Le volis est défini avec une longueur minimale d'un mètre car tout ce qui est inférieur à un mètre est normalement causé par l'exploitation et non par des événements naturels.

Un autre élément unique est « **l'élément parallèle à l'écoulement** ». Il s'agit d'un élément qui se trouve dans le lit proche de la berge et qui est orienté parallèlement au ruisseau. Cet élément possède souvent une fonction de protection de berge (ECKERT ET AL. 1996).

Le dernier élément unique relevé est « **le piègeur** ». Un piègeur se trouve au moins partiellement dans le lit majeur. Il a également un diamètre minimal de 10 cm, reste sur place et possède la propriété de provoquer des accumulations (KAIL & GERHARD 2003). Il est important qu'au moment du relevé aucune accumulation ne soit présente.

Le piègeur avec accumulation et ses groupes de second niveau

Chaque élément composé d'un piègeur et d'une accumulation causée par celui-ci fait partie de ce groupe. Selon le degré d'encombrement, on peut distinguer deux différents éléments de bois mort : « **le piègeur avec une petite accumulation** » encombre le cours d'eau moins de 50 % (voir figure 2), le « **piègeur avec une grande accumulation** » colmate le cours d'eau à plus de 50 %.



Fig. 2 : Piègeur avec une petite accumulation

L'accumulation et ses groupes de second niveau

Le groupe d'accumulation est composé de « l'accumulation des feuilles », « l'accumulation d'éléments intermédiaires » et « l'accumulation de bois mort grossier ».



Fig. 3 : Accumulation des éléments intermédiaires

D'après la définition de KAIL & GERHARDT (2003) « **l'accumulation des feuilles** » est une accumulation de matière organique composée majoritairement de feuilles mais aussi de matière ligneuse en petite quantité.

« **L'accumulation d'éléments intermédiaires** » (« das Genist » en allemand, voir figure 3) est une accumulation dominée par le bois mort fin accompagné quelquefois de faible quantité de brindille, litière et feuilles.

« **L'accumulation de bois mort grossier** » consiste, comme le nom l'indique déjà, surtout en bois mort grossier, (éléments d'un diamètre supérieur à 10 cm). Une petite quantité de bois mort fin et/ou de litière est possible (KAIL & GERHARDT 2003).

Les résidus

Seul le bois mort dont l'origine est la gestion de la forêt compte dans ce groupe. Quatre types d'élément de bois mort peuvent être distingués : « le bois d'une coupe sanitaire », « le bois brisé », « les rémanents » et « la souche ».

« **Le bois d'une coupe sanitaire** » est une pièce de bois issue d'une coupe sanitaire, donc une partie du tronc qui n'est pas de bonne qualité et qui a été coupée et laissée sur place pour cette raison (« der Kilben » ou « das X-Holz » en allemand).

Lors de l'éclaircie, il se peut qu'un arbre tombe sur une roche ou qu'un autre arbre se casse au moment du choc. La partie du tronc dégradée sera coupée et reste souvent en forêt. Cet élément de bois mort est nommé « **le bois brisé** ».

« **Les rémanents** » sont les branches d'un arbre issu d'un élagage artificiel, et laissées en forêt. Un dernier type d'élément de bois mort est « **la souche** » : le reste d'un tronc coupé enraciné.

Les différents types d'éléments présentés dans ce chapitre se recoupent évidemment, et dans certains cas il a été difficile de classer les objets trouvés dans un seul groupe. Dans ces cas, il est important de décider sur place quel groupe d'éléments, mentionné ci-dessus, représente au mieux les influences que l'objet exerce sur le cours d'eau.

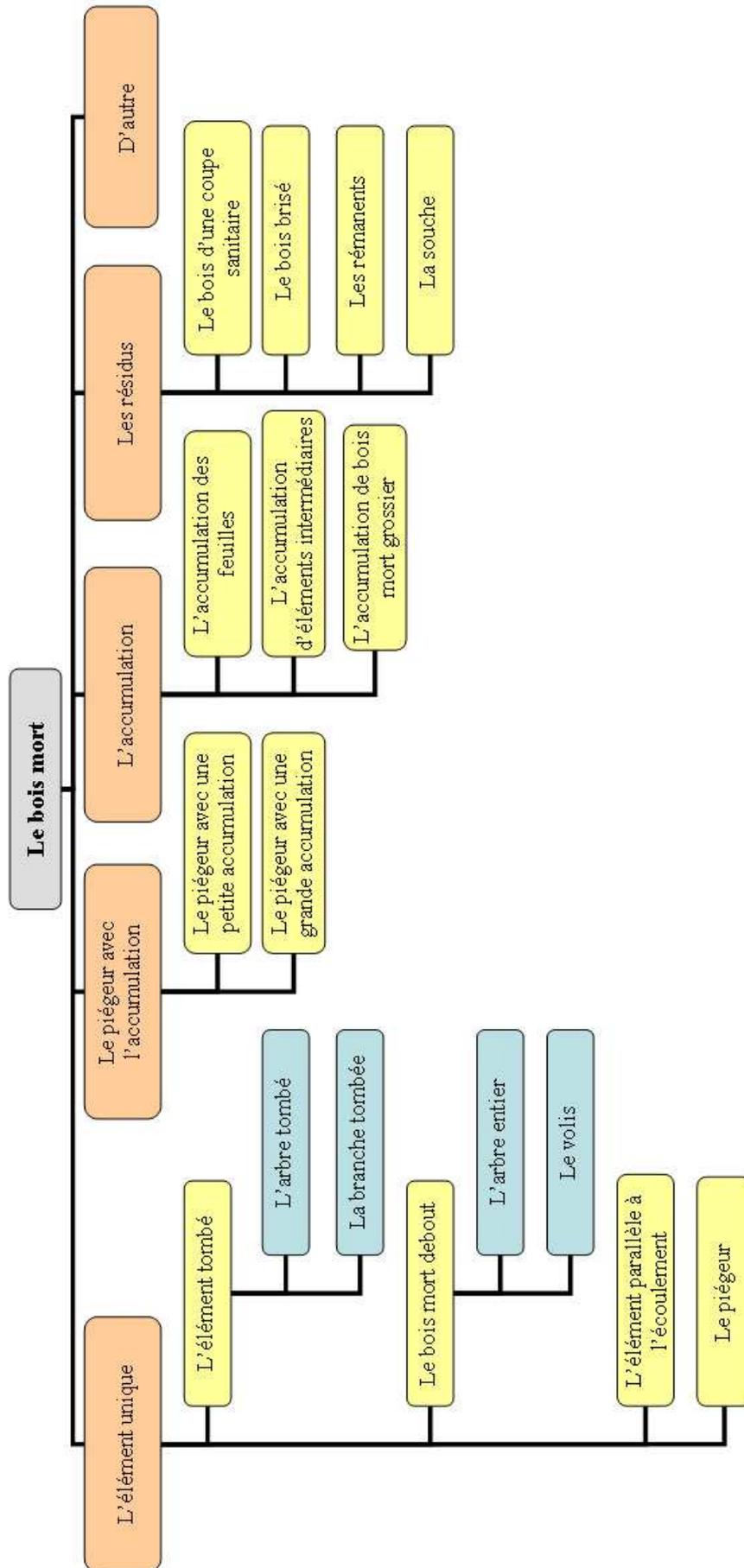


Fig. 4 : Organigramme des différents types d'éléments de bois mort structurés en trois niveaux

2.2.3 Relevé du volume de bois mort

Suite au classement du bois mort trouvé dans le tronçon étudié dans un des groupes d'éléments, la détermination de la dimension de ces éléments s'est effectuée conformément à la fiche de relevé. Dans le contexte d'une étude scientifique, une précision la plus grande possible est souhaitable. Cependant le présent projet doit être réalisé dans un temps limité. Pour cette raison, une méthode pour mesurer le bois mort a été mise en place, qui est à la fois assez précise pour les questions posées et dont la réalisation ne demande que peu de temps.

2.2.3.1 L'élément unique

Quand il a été possible, les éléments uniques ont été mesurés. Les objets inaccessibles ont cependant du être estimés le plus précisément possible. Puisque le volume des éléments relevés sur le terrain sera déterminé à l'aide de la formule du cylindre de révolution,

$$V = l \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

les données suivantes ont été mesurées lors du relevé : la longueur totale « l » et le diamètre « d » d'élément de bois mort.

Comme dans d'autres études (MAY & GRESSWELL 2003, GERHARD & REICH 2000), tous les éléments à l'exception de « l'arbre entier » ont été calculés avec le diamètre médian. Si un élément dont la décroissance sur le diamètre est forte, notamment « l'arbre tombé », la moyenne du diamètre du gros et du fin bout a été calculée. Le diamètre relevé pour l'arbre entier a été le diamètre à hauteur de poitrine (DHP), c'est à dire à 1,30 m. Si une décroissance importante a été observée chez l'arbre mort entier, elle a été notée sur la fiche de relevé. Le calcul du volume a ensuite été modifié de manière à ce que le résultat issu de la formule du cylindre de révolution soit multiplié par le chiffre 0,5 - un coefficient de forme moyen, valable pour toutes les essences observées (KRAMER & AKÇA 1995). La hauteur de l'arbre entier a été mesurée à l'aide du dendromètre « Vertex Forestor ».

Généralement, le diamètre a été arrondi au pas de 5 cm et la longueur au pas de 10 cm. Les mesures ont été délimitées à la limite du tronçon. Cela signifie, par exemple pour un arbre tombé situé sur la frontière du tronçon, que sa longueur a été prise jusqu'à la limite, même si il continuait encore quelques mètres. Sur la fiche de relevé (voir annexe V) il a été noté dans la colonne « remarque » que l'arbre se trouve sur la frontière.

2.2.3.2 Les accumulations

Le volume des accumulations (l'air exclu) a été estimé d'une façon différente selon le type d'accumulation. En ce qui concerne les types d'éléments « l'accumulation des feuilles » et « l'accumulation d'éléments intermédiaires », les trois longueurs des arêtes, nécessaires afin de calculer le volume d'un cuboïde, ont été mesurées - si possible - et notées. S'il n'a pas été possible de les mesurer avec le mètre-ruban parce que l'accumulation se trouvait au milieu du cours d'eau par exemple, les longueurs des arêtes ont été estimées. Puisqu'une accumulation ne forme pratiquement jamais un vrai cuboïde, le pourcentage de l'air qui complète ce cuboïde imaginaire a été estimé. Le volume calculé à l'ordinateur a donc été le volume d'un cuboïde diminué par un facteur d'air. Le volume « d'accumulation de bois grossier » a été relevé de manière suivante : si les pièces qui forment l'élément ont été accessibles, le volume a été relevé selon la méthode décrite dans le chapitre précédent. Dans l'autre cas, arrivé fréquemment à cause de la définition du groupe « accumulation » (chapitre 2.2.2.1), la longueur et le diamètre de chaque composante de l'accumulation ont été estimés. Dans les deux cas, les volumes des composantes différentes ont été additionnés sur l'ordinateur, afin d'obtenir le volume d'accumulation.

2.2.3.3 Les piègeurs avec accumulation

Lors du relevé du volume d'une constellation « piègeur avec accumulation » il a été procédé de la manière suivante :

Si la mesure exacte du piègeur a été possible, elle a été relevée selon la méthode expliquée dans le chapitre 2.2.3.1. Le volume d'accumulation a été déterminé d'après les explications faites ci-dessus. Sur l'ordinateur,

les deux volumes ont été déterminés et additionnés pour que l'on obtienne un seul volume par élément de bois mort. Dans le cas de plusieurs piègeurs, ils ont tous été mesurés et leurs volumes ont été additionnés.

Si le piègeur a été inaccessible ou en partie caché dans l'accumulation, sa longueur et son diamètre ont été estimés. L'addition du volume du piègeur et de l'accumulation a été effectuée sur l'ordinateur.

2.2.3.4 Les résidus

Le procédé a été différent en fonction du type d'élément de bois mort:

La méthode appliquée afin de mesurer « le bois d'une coupe sanitaire » et « le bois brisé » est équivalente à celle utilisée pour les éléments uniques (voir chapitre 2.2.3.1).

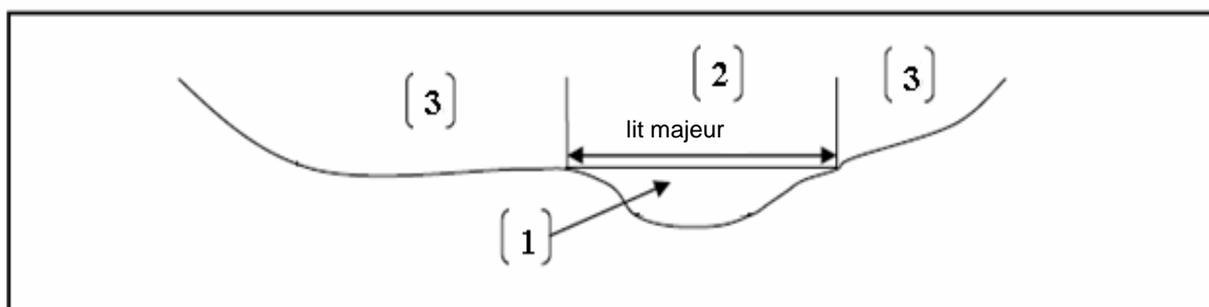
La hauteur et le diamètre de « la souche » ont été mesurés. Le diamètre a été pris au niveau supérieur de la souche. Souvent la souche ne formait pas un vrai cylindre, puisqu'on se trouve proche des racines. Dans ces cas le diamètre moyen des deux extensions les plus extrêmes a été mesuré.

Le volume des rémanents a été estimé avec la même méthode que pour les accumulations « l'accumulation des feuilles » et « l'accumulation d'éléments intermédiaires » décrit dans le chapitre 2.2.3.2.

2.2.4 Relevé de la répartition spatiale de bois mort

Une autre composante analysée lors de ce projet est la distribution du bois mort dans les tronçons étudiés. Pour cette raison le fond de vallée a été sectorisé en plusieurs zones. Ceci a été effectué en référence à l'étude de HENNE (2007) qui est basée sur le travail de ROBINSON & BESCHTA (1990). La sectorisation en plusieurs zones a été simplifiée selon les cours d'eau étudiés lors de ce projet : normalement une plaine alluviale ne se développe pas très clairement dans les zones d'étude. Concernant le niveau du débit il n'est pas possible de distinguer plusieurs zones différentes. La figure suivante montre la sectorisation réalisée lors de cette étude.

Fig. 5 : Zonation du cours d'eau et de son environnement



Source : ROBINSON & BESCHTA 1990, modifié par Anke Hellbach

Les zones représentent les parties suivantes en profil transversal d'une vallée :

- Zone 1** commence au fond du lit et mène au niveau du lit majeur (remplissage théorique du profil transversal)
- Zone 2** comprend la région qui se trouve au-dessus du lit majeur
- Zone 3** décrit la partie en ripisylve et en pente. Puisqu'il manquait souvent une ripisylve pour les cours d'eau étudiés, il a été décidé d'unir ces deux régions. La largeur est d'un minimum de 25 m.

Tous les éléments de bois mort, soit un élément unique soit une accumulation, ont été analysés en ce qui concerne la répartition du volume total sur les trois zones différentes. Le pourcentage du volume total de chaque élément relevé a été estimé par zone et noté sur la fiche de relevé.

2.2.5 Stade de décomposition

Le degré de décomposition du bois mort qui se trouve dans la zone 3 (voir chapitre précédent) est un dernier aspect qui a été analysé sur place. Les 4 stades de décomposition définis selon les définitions de ALBRECHT (1990) et KÄRCHER (1997) (voir aussi annexe VII) sont expliqués dans la figure suivante :

Stade 1 = nécrosé il y a peu de temps	écorce et branches encore au tronc, nécrosé pendant les 2 dernières années
Stade 2 = décomposition commencée	l'écorce se décompose ou est absente, le bois est encore assez dur, pourriture de coeur inférieure à 1/3 du diamètre
Stade 3 = décomposition avancée	l'aubier est mou, le duramen partiellement dur, pourriture de coeur supérieur à 1/3 du diamètre
Stade 4 = fortement décomposé	l'amollissement du bois continue, en marchant s'écroulant, contours vagues

Fig. 6 : Les différents stades de décomposition de bois mort d'après ALBRECHT (1990) et KÄRCHER (1997), modifié et traduit par Anke Hellbach

2.3 Évaluation des données de terrain

Les données relevées sur le terrain ont été reportées dans le logiciel *Microsoft Office Excel*[®]. Tous les calculs et illustrations ont été réalisés avec ce programme.

2.3.1 Volume de bois mort

Dans un premier temps, le volume de chaque élément de bois mort a été calculé selon les indications faites dans le chapitre 2.2.3. Le **volume total** de bois mort a ensuite été déterminé en mètre cube par 100 m linéaires pour tous les cours d'eau étudiés, unité couramment utilisée au niveau international (HENNE 2007, ROBINSON & BESCHTA 1990, KAIL ET AL. 2007, HERING ET AL. 2000, BRAGG ET AL. 2000). Lors des calculs il a fallu prendre en compte le fait que la longueur des différents compartiments du cours d'eau n'est pas identique. La moyenne pondérée a été utilisée pour le calcul, chaque valeur de volume de bois mort total de chaque tronçon étant affectée d'un coefficient en rapport avec la longueur du compartiment. Ces longueurs ont été déterminées à l'aide du logiciel ArcGIS 9.x et des points GPS enregistrés sur le terrain.

Il a été décidé de prendre en considération aussi le volume total de bois mort en mètre cube par hectare, car les forestiers et les gestionnaires des forêts sont plus familiarisés avec cette unité et seront plus aptes à l'utiliser. Le volume total de bois mort par 100 m est illustré dans un diagramme à barres (voir chapitre 4.2.1).

En outre le volume total de bois mort a été divisé en **volume par type d'élément** de bois mort et cours d'eau étudié. Le volume de chaque type d'élément du bois mort a été converti en pourcentage du volume total. Les types d'élément qui ne sont pas présents (pourcentage du volume au volume total de 0 %) dans tous les quatre sites d'étude n'ont pas été indiqués dans le diagramme. Ces types absents sont : l'élément parallèle à l'écoulement, l'accumulation de feuilles et le bois brisé. Le volume des autres types d'élément a été représenté dans un diagramme à colonnes tridimensionnelles (figure 15 en chapitre 4.2.2).

En vue de connaître la **distribution du volume des différents éléments** de bois mort, les éléments ont été regroupés en huit classes de volume. Les seuils de ces classes sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Valeur limite pour la distribution du volume d'éléments de bois mort dans des classes

classe	fourchette de volume [m ³]
1	$x \leq 0,05$
2	$0,05 < x \leq 0,1$
3	$0,1 < x \leq 0,3$
4	$0,3 < x \leq 0,5$
5	$0,5 < x \leq 1,0$
6	$1,0 < x \leq 1,5$
7	$1,5 < x \leq 3,0$
8	$3,0 < x$

Selon leurs volumes, les éléments de bois mort ont été classés dans une des huit classes. Le pourcentage du nombre d'élément par classe de volume par rapport au nombre d'élément total de toutes les classes a ensuite été calculé.

Les éléments se situant en partie hors du tronçon ont été classés dans une catégorie à part nommée « artefact ». On désigne comme artefact des phénomènes dont l'apparition, liée à la méthode utilisée, provoque une erreur d'analyse. En raison de la méthode appliquée afin de relever les éléments en cause (voir chapitre 2.2.3), il n'a pas été possible de catégoriser ces éléments dans une classe de volume parce que leur volume réel n'est pas connu. Il n'est pas raisonnable de classer par exemple un arbre tombé dans la classe la plus petite seulement parce qu'une petite partie d'élément a été relevée, alors que cet élément dans sa totalité devrait appartenir à la classe 8. Ce procédé falsifierait les résultats.

De plus, le pourcentage des différentes classes par rapport au volume total a été évalué afin de vérifier si la distribution du nombre des éléments correspond à la distribution du volume. Il a été procédé de même en ce qui concerne les artefacts. Les résultats de ce classement sont présentés dans le chapitre 4.2.4.

Finalement, le **volume maximal** du type d'élément « arbre tombé » a été déterminé. Pour ce faire, les résultats du calcul de volume de cet élément ont été ordonnés selon leurs grandeurs, et la valeur maximale a été retenue. Il faut noter que ce résultat n'est pas représentatif pour les sites entiers étudiés parce qu'il ne concerne que les arbres tombés qui se trouvent entièrement dans les limites de tronçon et qui ne sont pas classés comme artefact. En ce qui concerne les sites d'études en réserve, des arbres tombés plus volumineux sont potentiellement existants, mais puisqu'ils dépassent les limites de tronçons, leur volume total n'a pas été mesuré. La comparaison des résultats pour les différents sites d'études se trouve dans le chapitre 4.2.3.

2.3.2 Nombre d'éléments de bois mort

En complément des évaluations précédentes, le nombre d'éléments de bois mort par cours d'eau a été analysé. Pour ce faire, le **nombre total**, indiqué par 100 mètres linéaires et par hectare, a été calculé, de manière comparable au calcul du volume total, au moyen d'une pondération. Le diagramme à barres qui en résulte est illustré dans le chapitre 4.2.1.

De manière comparable à l'évaluation du volume, le **nombre de chaque élément** de bois mort a été analysé en rapport avec son nombre total (voir figure 16 dans le chapitre 4.2.2).

2.3.3 Répartition spatiale du bois mort

Afin de calculer la répartition du bois mort dans les trois zones définies au chapitre 2.2.4, le pourcentage du volume total de chaque élément de bois mort relevé sur le terrain a été transformé en valeur absolue en m³ par zone. Puis la distribution du volume total de bois mort dans les différentes zones a été analysée. Pour cette raison le volume de chaque zone a été additionné et ensuite transformé en pourcentage du volume total. Lors du calcul, la distinction réalisée sur le terrain entre berge droite et gauche a été abandonnée car elle est sans importance pour l'interprétation des résultats. Le résultat de la répartition spatiale est représenté dans le chapitre 4.2.5.

2.3.4 Stades de décomposition

Le stade de décomposition relevé sur le terrain n'a pas été évalué. En effet, il a été remarqué lors du relevé qu'il n'est pas toujours possible de déterminer avec certitude le degré de décomposition, comme par exemple pour du bois mort recouvert de mousse. Il aurait été seulement possible de montrer une tendance concernant la présence des différents stades de décomposition avec les relevés effectués, mais cette tendance peut aussi être montrée grâce aux résultats de la FGA obtenus pour les réserves forestières intégrales. En conséquence, il n'est pas possible de présenter des chiffres pour le stade de décomposition du bois mort en forêt gérée, même si des évaluations grossières ont été faites (voir chapitre 5.2).

2.4 L'importance du bois mort pour les mousses dans et à proximité du cours d'eau

Dans cette étude le terme „mousse“ sera utilisé principalement à la place de « bryophyte », parce que la taxonomie n'est pas appliquée d'une manière homogène à l'échelle internationale. La définition du terme mousse est assez large et remplit les exigences du projet. Afin de répondre à la question de l'importance de bois mort pour les mousses dans et à proximité du cours d'eau, plusieurs hypothèses de travail ont été formulées (voir chapitre 4.3). Dans le but de vérifier ces hypothèses de travail, une première approche a été l'exploitation de la littérature internationale concernant la thématique « les mousses, le bois mort et les cours d'eau ». Puisque cette source n'a pas été satisfaisante en ce qui concerne les informations disponibles, il a été de plus réalisé un entretien avec un expert renommé sur les mousses (Martin Nebel, dr.). M. Nebel a dirigé la cartographie des mousses en Bade Wurtemberg et a en outre rédigé dans ce contexte des textes concernant la morphologie, l'écologie, la répartition, la menace et la protection des différentes espèces de mousses. L'entretien a comporté les objectifs suivants : réponses aux questions générales pour comprendre l'écologie des mousses ; aide à la décision de ce qui est réalisable/faisable sur le terrain (sachant que la phase de terrain serait réalisée par une personne non spécialiste de la question), choix des hypothèses de travail valant le coup d'être poursuivies et analysées sur le terrain ; connaissance et expériences concernant la thématique et enfin réponse aux questions permettant de vérifier les hypothèses de travail. La liste complète des questions posées se trouve en annexe VIII. En outre des observations sur le terrain ont été effectuées afin de répondre à un catalogue des questions évalués auparavant (voir annexe IX). Les résultats concernant l'importance du bois mort pour les mousses dans l'écosystème de cours d'eau se trouvent dans le chapitre 4.3.

3 Site d'étude

L'étude a été menée sur quatre petits cours d'eau : Grenzbach, Hirschbach, Zweribach et NN-AX4 (dénomination issue du réseau hydraulique de la LUBW en 2008). Dans ce rapport, le nom du quatrième ruisseau sera remplacé par « Seebach », son nom sur la carte topographique. D'après BÖTTGER & PÖPPERL (1990), la définition d'un « petit cours d'eau » appliquée dans ce projet ne porte pas seulement sur la largeur maximale de 5 m, mais aussi sur un écoulement annuel moyen inférieur à 5 m³ par seconde. D'après l'ordination selon la méthode de Strahler, tous sont des ruisseaux de premier rang. Ils se trouvent en Haute Forêt-Noire et correspondent au type 5 de la typologie réalisée lors de la directive cadre sur l'Eau (DCE) de l'Union Européenne, ruisseaux de moyenne montagne siliceux riches en gros matériaux (FELD ET AL. 2005). Les parties étudiées sont situées en partie amont du cours d'eau. Trois des cours d'eau se trouvent en réserve intégrale forestière et un traverse une forêt gérée qui se trouve en propriété privée.

Associations forestières

Les zones d'études se trouvent entre 450 et 1000 m d'altitude en étage montagnard inférieur à l'étage montagnard supérieur. La hêtraie sapinière montagnarde (*Luzulo-Fagetum montanum*) constitue la végétation zonale pour la plupart des peuplements forestiers à l'écart des cours d'eau. La présence naturelle de l'épicéa (*Picea abies*) est limitée aux stations particulières comme par exemple des talus d'éboulis (GAUER & ALDINGER 2005). Ces peuplements forestiers ne seront pas envisagés dans cette étude parce que l'objet d'étude ne concerne que la forêt riveraine de cours d'eau.

3.1 La réserve forestière intégrale « Flüh »

Localisation géographique et station

Le site a reçu son statut de réserve intégrale forestière en 1970. Elle se trouve à 1 km au sud de Schönau respectivement 1 km au nord de Zell im Wiesental (N° 8213 carte IGN, voir figure 7) en exposition nord-ouest et ouest. La zone couvre 50,6 ha et se situe en parties inférieures de l'étage montagnard entre 520 et 720 m d'altitude.

La géologie de la réserve « Flüh » est très compliquée. Il s'agit principalement de roche métamorphique et de roche plutonique, par exemple de granit (METZ UND REIN, cité dans SCHWABE - BRAUN 1979). Le climat est soumis à une forte influence du climat subatlantique. La température moyenne annuelle est de 7,7°C avec des précipitations moyennes annuelles de 1580 mm (DOSTAL 2004). Le climat est donc très pluvieux mais la température moyenne annuelle est plutôt faible comparée aux autres valeurs de la Forêt-Noire.

Le système des cours d'eau

La forêt est traversée par deux ruisseaux : Schneckenbach et Grenzbach. Dans ce projet, seul le Grenzbach fait partie de la recherche. Le Grenzbach se compose d'un drain principal et d'un petit affluent (voir fig. 7). Il est classé comme cours d'eau de montagne de type granitique. Ce type de ruisseau clair siliceux est caractérisé par une faible présence d'ions et éléments nutritifs. À cause de son faible pouvoir tampon, il a tendance à s'acidifier. Le ruisseau montagnard de type granitique possède une grande diversité en structure liée au fait que son substrat est transformé en gros blocs lors de sa météorisation. C'est pour cela que le profil longitudinal est très échelonné et constitue beaucoup de petites cascades et de bassins profonds. Le débit solide charrié est très faible pour ce type de ruisseau (FORSCHUNGSGRUPPE FLIEßGEWÄSSER 1994).

Le Grenzbach s'écoule en vallée fluviale encaissée avec une sinuosité du lit linéaire. Il prend sa source à 755 m d'altitude et se jette après 763 m dans la Wiese, qui elle-même se jette dans le Rhin. La pente moyenne est de 31 %. La largeur du lit mineur varie entre 0,5 m à 2 m, voire jusqu'à 5 m aux endroits où le ruisseau se ramifie. La surface du bassin versant est inférieure à 10 km². Il n'est pas possible de donner des informations concernant l'écoulement puisque les mesures correspondantes manquent. Toutefois on suppose un écoulement naturel, car il ne s'y trouve aucune perturbation concernant cet aspect de la source à l'embouchure.

La localisation des sites d'études le long du cours d'eau et la pente du lit du cours d'eau dans les parties étudiées sont reportées sur la figure 10.

L'histoire de la forêt

La partie sud de la réserve appartient à l'État, par contre la partie nord est une forêt communale. Le Grenzbach constitue, comme son nom (die Grenze = la frontière) l'indique, la frontière entre ces deux parties pratiquement équivalentes en surface. En raison de leurs propriétaires différents, la gestion de la forêt n'a pas été identique jusqu'à la mise en réserve intégrale.

La plupart de la surface de la forêt domaniale a probablement toujours été boisée, ce qui n'exclut pas du pâturage boisé aux endroits plus facilement accessibles. Ainsi qu'en beaucoup d'endroits en Forêt-Noire, cette forêt domaniale a été exploitée intensivement du Moyen Age au 19^{ième} siècle pour différents usages, comme la charbonnerie, le soufflage de verre, ramassage de litières, le flottage du bois, l'exploitation du minerai, le pâturage en forêt. La plupart de la forêt est issue de la régénération naturelle en futaie régulière. A partir de 1910 des sapins (*Abies alba*) ont été plantés par groupe au dessus du vieux peuplement, et du hêtre (*Fagus sylvatica*) et de l'épicéa (*Picea abies*) ont été ajoutés. Pendant 600 ans une autre petite partie de la forêt domaniale a été utilisée pour le pâturage d'ovins et de chèvres. A partir de 1900, cette surface a été reboisée avec des épicéas. En forêt domaniale, 23800 arbres au total ont été plantés entre 1901 et 1970. Les sapins représentent une part de 45% et les feuillus de 34%, dont le hêtre 18%.

La forêt communale a été utilisée depuis le Moyen Age jusqu'en 1960 comme pâturage ou pâturage boisé. En 1901 la moitié a été boisée avec du « Weidbuche » (hêtre solitaire poussé à la période de pâturage) et du bouleau (*Betula pendula*), l'autre partie n'a pas été boisée. Les vieux peuplements forestiers actuels sont issus de la régénération naturelle, les peuplements forestiers plus jeunes en majorité de la régénération, du rejet sur souche et partiellement de la plantation (FVA 1979). Concernant sa phase de développement, la forêt se situe dans la phase d'optimum (BÜCKING 2004).

Forêt caractéristique de la station et présence de bois mort

La forêt caractéristique de la station le long de cours d'eau est une érable-frênaie (*Aceri Fraxinetum*). Les forêts caractéristiques adjacentes à la station sont : hêtraie-sapinière, frênaie à érable sycomore et hêtraie-sapinière à chêne sessile.

Lors de la dernière FGA en 2005, un volume de 43 m³/ha de bois mort a été relevé, ce qui représente 12 % du volume sur pied total. 30 % du bois mort est du sapin, 17 % de l'épicéa et 3 % du hêtre. La grande partie du bois mort décomposé au stade 2 « commencé » (43 %) et au stade 3 « avancé » (30 %) montre que la forêt se trouve en réserve mais que le bois mort a été laissé dans la forêt il y a peu de temps. Il a probablement été enlevé jusqu'à la date de la mise en réserve forestière intégrale en 1970.

Statut de protection

La réserve Flüh est située dans le Parc naturel du sud de la Forêt-Noire et fait partie du site Natura 2000 « Weidfelder des oberen Wiesentals ». Dans le cadre de la cartographie des fonctions forestières, toute la surface est cartographiée comme forêt de protection des sols, 75% de la surface comme forêt de récréation et environ 50% comme forêt de protection contre les émissions. Suite à la cartographie des biotopes forestiers, 12 biotopes différents ont été relevés d'après le paragraphe 30 de la loi forestière du Bade Wurtemberg (LWaldG 1995). À proximité du Grenzbach, les biotopes suivants sont présents : cours d'eau : Grenzbach ; association forestières rare et proche de l'état naturelle : érable-frênaie de ravin (*Aceri Fraxinetum*) ; peuplement forestier riche en structure.

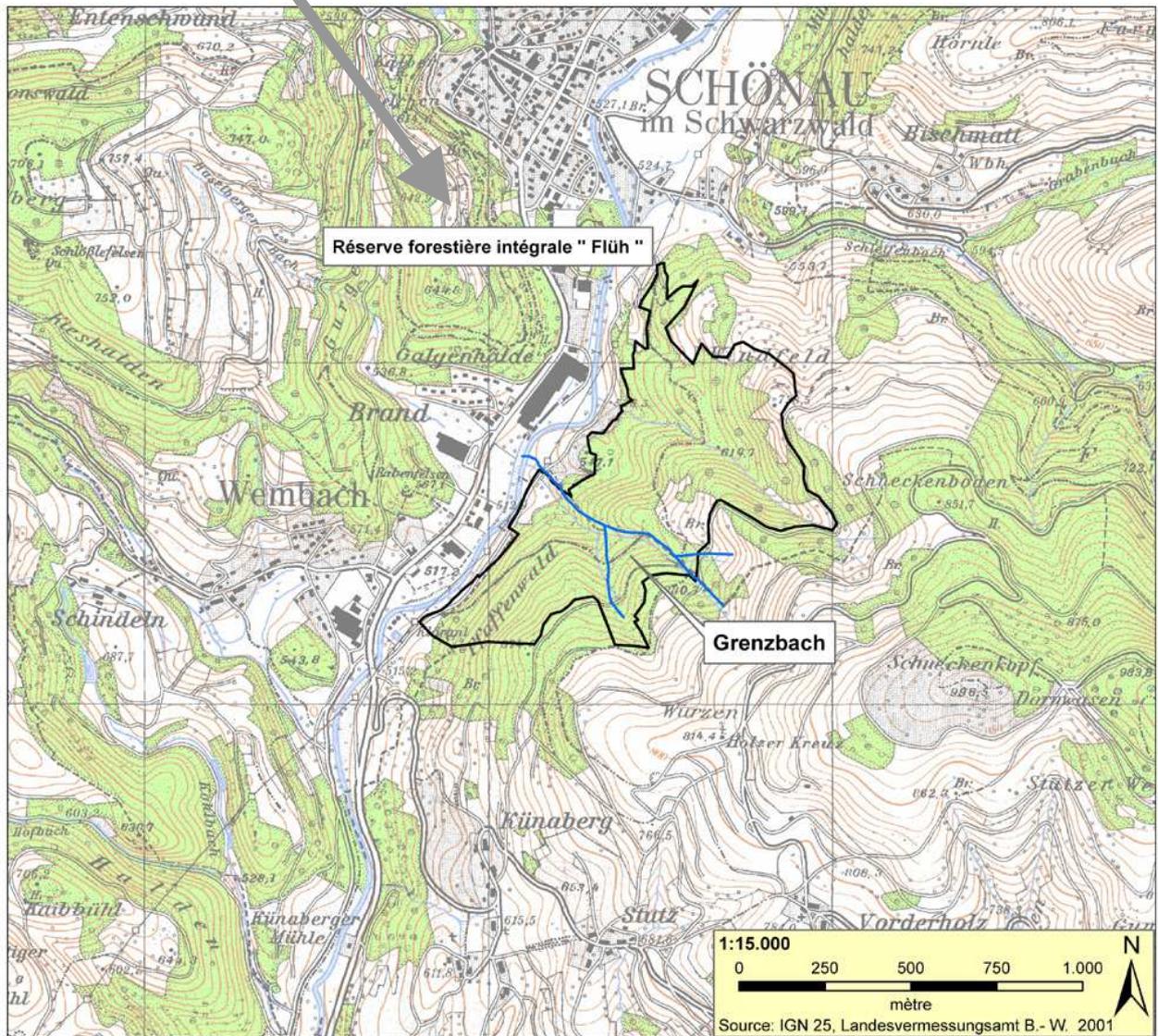
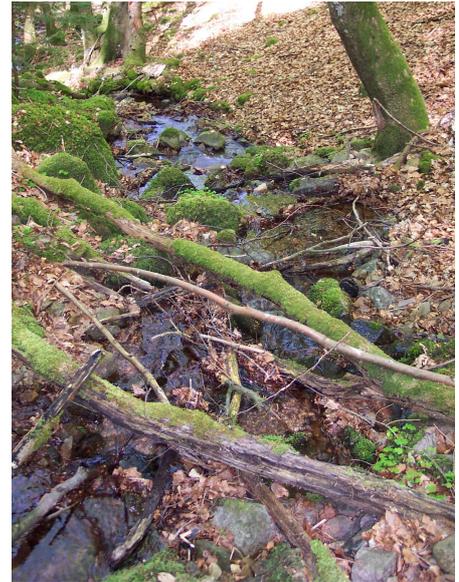
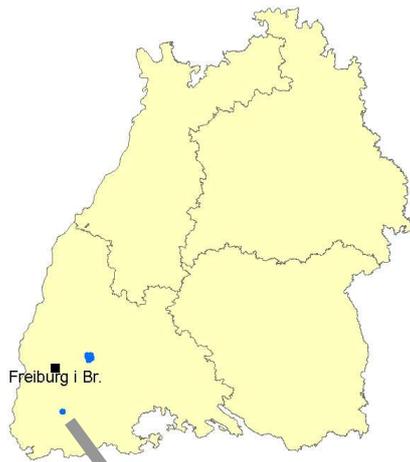


Fig. 7 : Localisation géographique de la réserve forestière intégrale « Flüh », avec le cours d'eau étudié « Grenzbach »

3.2 La réserve forestière intégrale « Zweribach »

Localisation géographique et station

La réserve « Zweribach » a obtenu son statut de réserve forestière intégrale également en 1970. Elle se trouve à 20 km à l'est de Freiburg i.B. et 4 km au nord de St. Märgen (N° 7914 carte IGN, voir figure 9). Le site couvre une surface de 77,3 ha et se situe en étage montagnard (650-1000 m). Les deux ruisseaux traversant la réserve, Hirschbach et Zweribach, coupent la zone en trois versants d'exposition principale (versant sud, versant est et versant nord-ouest). On y trouve beaucoup de talus d'éboulis et de bloc de roche sur les pentes.

La géologie est principalement composée de paragneiss. Les roches à l'origine de la pédogenèse sont des tapis d'éboulis périglaciaires (KELLER & RIEDEL 2000) à partir desquels se sont développés en majorité des sols bruns à mull ou des sols bruns à moder (LUDEMANN 1992).

Le climat est soumis à une forte influence atlantique avec une température moyenne annuelle de 6,9°C. Les précipitations annuelles sont, avec 1744 mm par an, plus élevées que celles de la réserve « Flüh ».

Le système des cours d'eau

Hirschbach et Zweribach confluent dans la réserve. Les deux cours d'eau sont de type ruisseau de gneiss. Du point de vue géochimique, ce type de cours d'eau est siliceux et pauvre en ions et éléments nutritifs. Des gros blocs et roches forment la structure du profil longitudinal. Le débit solide charrié de caillou et de gravier -mais peu de sable- est très fort. Il arrive que quelques gros blocs soient stoppés dans le lit majeur, par contre le gravier transporté aboutit à une couverture de gravier permanente et de grande épaisseur (FORSCHUNGSGRUPPE FLIEßGEWÄSSER 1999). Grâce à une grande richesse des structures morphologiques combinée à une stabilité hydromorphologique, ce type de ruisseau compte parmi les cours d'eau les plus riches en Baden Württemberg concernant les macrobenthos (FORSCHUNGSGRUPPE FLIEßGEWÄSSER 1994).

Les deux ruisseaux s'écoulent en vallée fluviale à pente raide avec un lit linéaire. Le Hirschbach prend sa source à 980 m d'altitude et se jette après 2,251 km dans le Zweribach avec une pente moyenne de 25,3%. Long de 4,787 km, le Zweribach prend sa source à 1040 m d'altitude. Sa pente moyenne de 26,9% est du même ordre de grandeur que celle du Hirschbach. La largeur des deux ruisseaux est très hétérogène. La largeur moyenne de Hirschbach est de 1 à 2 m. Par endroits, le cours d'eau bifurque à une largeur de 5-10 m. Le Zweribach est de manière générale plus large avec une largeur moyenne de 3 m. Aux endroits où il bifurque dans plusieurs petits bras, la largeur n'est plus mesurable. Le ruisseau prochain d'un rang plus grand, le Wilde Gutach, a un bassin versant de 22,6 km². Hirschbach et Zweribach ont cependant seulement une part de moins de 10%. Il n'existe pas de valeurs pour ces deux cours d'eau concernant l'écoulement. Cependant, la plupart de l'eau est détournée déjà en amont au niveau du plateau pour la production d'électricité (LUDEMANN 1992). Par conséquent il ne s'agit que d'une fraction d'écoulement naturel.

Les cascades du Hirschbach et la cascade du Zweribach sont des particularités sur ce site. Cette dernière se trouve dans la partie du ruisseau étudiée. Les masses d'eau du Zweribach tombent en deux étapes d'au moins 10 m au-dessus de formations rocheuses abruptes (voir figure 8).

La localisation des sites d'études le long du cours d'eau et la pente du lit du cours d'eau dans les parties étudiées sont reportées sur la figure 10.

L'histoire de la forêt

En raison de sa localisation éloignée et inaccessible, la vallée du site Zweribach a été peuplée, et par conséquent aussi défrichée, pour la première fois à la fin du 16^{ième} siècle, ce qui est relativement tard en comparaison avec d'autres parties de la Forêt-Noire. Les besoins importants en bois de la forge de Simonswald ont été décisifs pour cette colonisation. Au 17^{ième} siècle, le site a été cultivé par des paysans et les versants ont été utilisés comme pâtures, mais des petites surfaces supplémentaires ont été aménagées en champ ou prairie. A la fin du 18^{ième} siècle, quand la déforestation atteignit ses proportions maximales, 54% de la surface avaient été transformée en pâtures, 13% en prairies et labours. Seuls 16% demeuraient alors boisés de forêt mélangée originelle, le reste étant couvert de bosquets de feuillus et de broussailles (LUDEMANN 1992, 1995). Pendant la

deuxième partie du 19^{ième} siècle, l'abandon de la gestion agricole des terrains provoqua la densification des peuplements de sapin et de hêtre. La reforestation des surfaces agricoles se fit en régénération naturelle, aboutissant à des hêtraies ou des peuplements d'épicéa (LUDEMANN 1992). Sur les anciennes prairies, des sites frais et riches en éléments nutritifs, l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*) et le frêne (*Fraxinus excelsior*) se sont installés. Déjà à la fin du 19^{ième} siècle la surface boisée a été doublée à 63%. Les dernières interventions forestières ont eu lieu en 1940. En comparaison avec la réserve « Flüh », on trouve ici partiellement des peuplements forestiers plus âgés. Néanmoins, la forêt se trouve également dans la phase d'optimum de développement (BÜCKING, 2004). Le site est aujourd'hui - 200 ans après son déboisement maximal – très largement recouvert de forêt (LUDEMANN, 1995).

Forêt caractéristique de la station et présence de bois mort

Les forêts caractéristiques de la station le long de Hirschbach et de Zweribach sont dans les deux cas une sapinière frênaie à érable sycomore et une hêtraie-sapinière-frênaie.

Lors de la dernière FGA en 1999, 63 m³/ha de bois mort a été relevé, ce qui représente 10 % du volume sur pied total. 43 % du bois mort est de l'épicéa, 30 % est du sapin et 29 % du hêtre. La grande partie du bois mort décomposé au degré 3 « avancé » (51 %) et au degré 4 « pourri » (37 %) montre que l'exploitation était déjà difficile avant que le site ne soit déclaré en réserve et que donc beaucoup de bois restait sur place (KELLER & RIEDEL 2000).

Statut de protection

La réserve « Zweribach » appartient également au Parc naturel du sud de la Forêt-Noire. En outre la surface fait partie de la réserve naturelle « Zweribach ». La totalité de la surface est cartographiée comme forêt de protection des sols, 23 ha tombe dans la catégorie forêt de récréation. 9 biotopes différents ont été identifiés, dont deux importants dans le contexte de cette étude : peuplements forestiers riche en structure et cours d'eau.



Fig. 8 : Les cascades de Zweribach : Les masses d'eau du Zweribach tombent en deux étapes d'au moins 10 m au-dessus de formations rocheuses abruptes

3.3 La forêt gérée de Seebach

Localisation géographique et station

La forêt gérée se trouve à 6 km au nord de St. Märgen et 6 km au sud-est de Simonswald (N° 7914 carte IGN, voir figure 9). La surface de 57,7 ha s'étend sur une altitude de 450 à 990 m. Le site se situe à moins de 2 km à proximité de la réserve Zweribach et pour cette raison cette parcelle privée a une situation identique du point de vue climatique et géologique que le site d'étude Zweribach.

Le système des cours d'eau en forêt privée de Seebach

Le Seebach prend sa source à 830 m d'altitude et se jette après 1,8 km dans le Wilde Gutach. En parcourant une vallée fluviale avec un lit linéaire il passe 370 m d'altitude en pente moyenne, proche de celle des autres ruisseaux étudiés, de 27,1%. La largeur du Seebach varie entre 2 et 3 mètres en moyenne et atteint un maximum de 4 mètres. L'écoulement du Seebach est probablement naturel car, sur la totalité du linéaire, il n'a pas pu être détecté d'endiguement ni d'apport d'eau ou de prélèvement d'eau. Aucune valeur exacte d'écoulement n'est disponible. Il s'agit aussi d'un ruisseau de gneiss, les données précisées ci-dessus pour les ruisseaux du site d'étude Zweribach concernant le débit solide charrié et les structures morphologiques sont donc également valable pour le Seebach.

L'histoire et gestion de la forêt

La parcelle se trouve depuis au moins 100 ans en propriété privée, et elle a toujours été cultivée par la même famille, exclusivement en futaie jardinée. Cela signifie que les peuplements forestiers actuels sont issus de la régénération naturelle. Le propriétaire estime l'âge du peuplement à plus de 120 ans. Au cours des dernières décennies, une intervention régulière a été pratiquée tous les 10 ans pour enlever les arbres avec le diamètre le plus gros. Lors de ces éclaircies, des arbres malades sont aussi enlevés dès qu'ils sont commercialisables ou s'ils dérangent l'exploitation. Le volume moyen est environ de 150 m³ par éclaircie. L'essence exploitée est principalement le sapin, mais l'épicéa et plus rarement le hêtre sont récoltés également. La dernière exploitation a eu lieu en février 2008.

Au cours des interventions, les rémanents sont généralement laissés sur place. Le bois mort est enlevé s'il encombre l'exploitation ou le débardage ou s'il est susceptible d'être utilisé comme bois de chauffage.

Forêt caractéristique de la station et présence de bois mort

Concernant la forêt caractéristique de la station le long du cours d'eau, il n'est pas possible de donner des informations car la cartographie de la forêt caractéristique de la station est effectuée seulement en forêt publique.

Il n'existe pas d'informations concernant la quantité de bois mort.

Statut de protection

La forêt privée de Seebach fait partie de la réserve patrimoniale « Simonswälder Tal ». Dans les limites de la parcelle un biotope, le ruisseau Schlemershof, est cartographié.

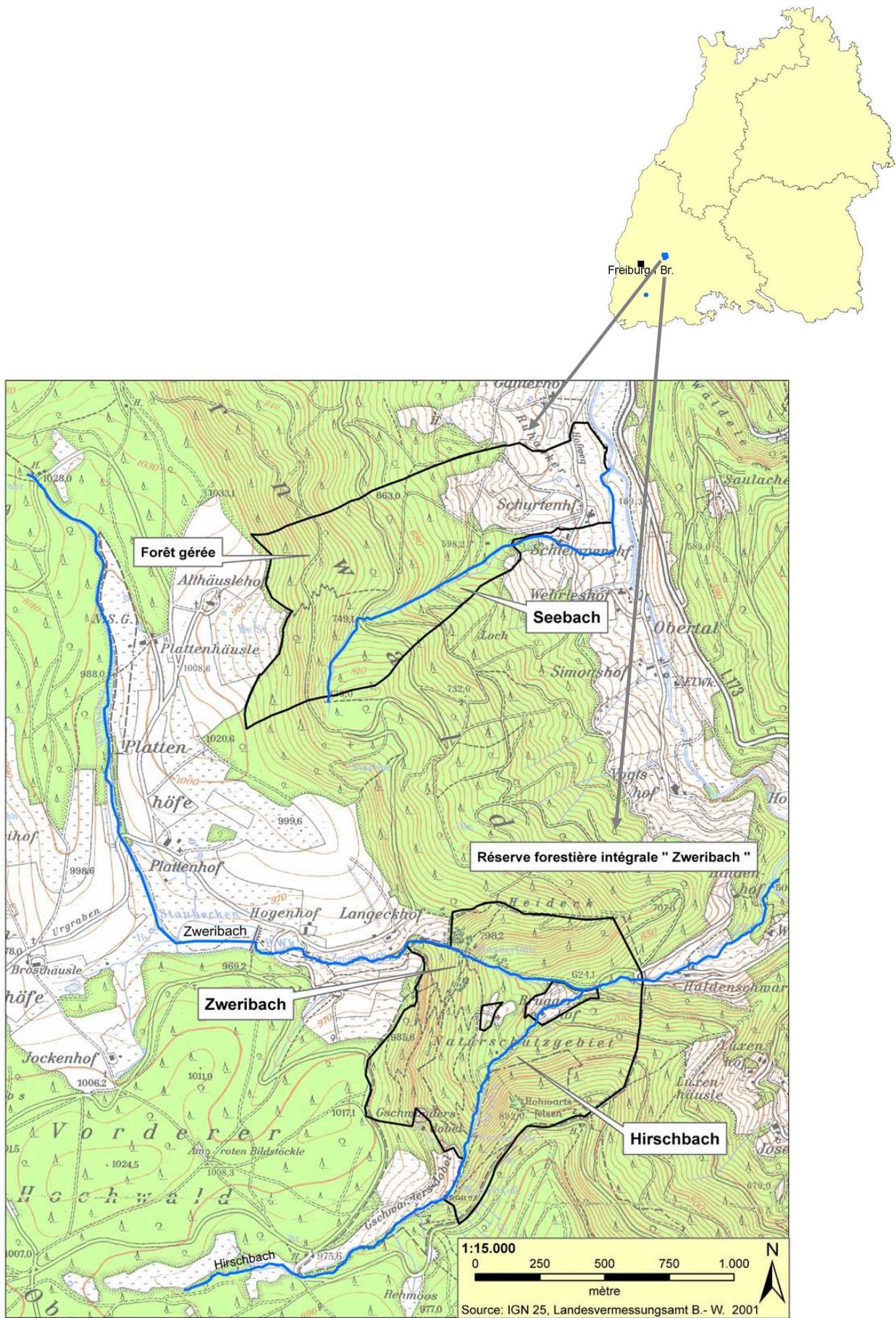


Fig. 9 : Localisation géographique du site d'étude « Zweribach » avec le Zweribach et le Hirschbach et la forêt gérée de Seebach

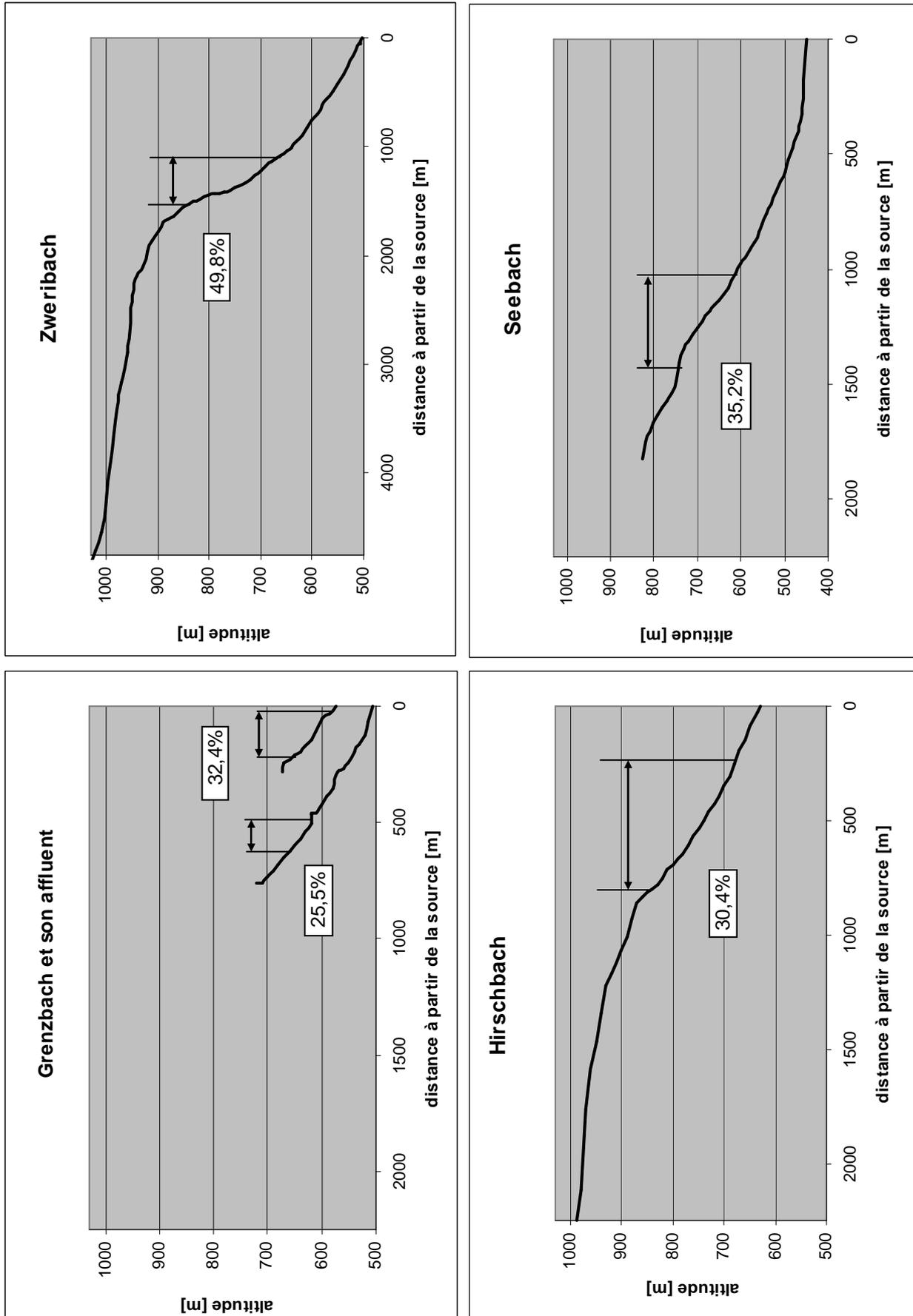


Fig. 10 : Localisation et pente du lit des site d'études. La figure montre le positionnement des sites d'études au long du cours d'eau et la pente du lit de cours d'eau dans les partis étudiés.

4 Résultats

4.1 Les peuplements forestiers le long des cours d'eau

Peuplement forestier le long du Grenzbach et le long de son affluent

La composition des peuplements forestiers dans la partie en amont du principal cours d'eau du Grenzbach n'est pas identique. Le côté gauche est dominé par l'épicéa (65 %) en moyen bois, mélangé par bouquet avec le frêne (20 %) et le hêtre (15 %). À l'inverse, le peuplement forestier du versant droit le long du Grenzbach est un vieux bois entrouvert à fermé avec beaucoup plus de hêtre (60 %), en deux étages distincts, mélangé pied à pied et partiellement par bouquet avec l'épicéa (20 à 30 %) et le frêne (10 %). Certains hêtres représentent une forme solitaire. Plus en aval s'ajoutent quelques érables sycomore et quelques sapins. Le couvert du sol par la régénération constitue moins de 5 % et concerne seul l'épicéa et le hêtre. La différence entre les deux versants s'explique par l'histoire de son exploitation (voir aussi chapitre 3.1) : le versant droit en amont est en partie un ancien site de pâturage.

Dans la partie en amont de l'affluent on y trouve un vieux bois compact en deux étages distincts, mélangé pied à pied avec les essences dans les proportions suivantes : sapin 40 %, hêtre 30 %, épicéa 20 % et frêne 10 %. Le couvert de la régénération d'épicéa et de hêtre est faible (< 5 %). Plus en aval, le boisement change de telle manière que les deux versants du ruisseau se distinguent. À droite, il s'agit d'un peuplement fermé, en structure de monoétage et composé essentiellement d'épicéa (70 %) mélangé à du hêtre (30 %). La forêt est un petit peu plus jeune que celle en amont et ne possède pour cette raison qu'une classe de diamètre de gros bois. L'autre versant est quant à lui dominé par le hêtre (60 %). En outre, l'épicéa (25 %), le frêne (15 %) et quelques ormes isolés sont présents. On peut observer une régénération faible de hêtre et d'érable sycomore.

La grande diversité des peuplements forestiers trouvés le long du Grenzbach et son affluent existe à cause de l'impact humain précédent. L'épicéa a été planté en grande partie. Par conséquent, la proximité avec l'état naturel est plutôt médiocre dans ces zones. Dans les autres parties, les peuplements forestiers sont plus ou moins proche de leur état naturel potentiel : dans la plupart des cas, le peuplement le long du ruisseau ressemble à une érable-frênaie -la forêt caractéristique de la station- sauf que l'érable sycomore est sous-représenté. La zone d'étude s'étend plus loin et inclut d'autres types de forêt caractéristiques de la station (voir chapitre 3.1). Dans ces parties la présence du sapin et d'érable devrait être un peu plus élevée, le chêne manque complètement. Toutefois on peut remarquer une certaine conformité entre les peuplements forestiers réels et ceux de la cartographie de la station. La partie en amont de l'affluent de Grenzbach ressemble le plus à son état naturel potentiel.

Le peuplement forestier le long du Zweribach

La forêt en amont de la partie étudiée du Zweribach est plus ou moins homogène. En amont de la cascade le peuplement possède un couvert fermé et des épicéas (40 %), des sapins (35 %), des érables (25 %), ainsi que quelques frênes sont mélangés de manière pied à pied. Il s'agit d'un vieux bois en deux étages distincts avec un couvert de régénération faible de hêtre, sapin et frêne. Plus en aval, sur une distance d'environ 100 m, seule la composition d'essence change de telle manière que le hêtre (40 %) et le sapin (40 %) deviennent dominants, la présence d'épicéa diminue (20 %) et l'érable et le frêne ne sont que présents de manière isolée. D'après LUDEMANN (1992) la futaie atteint un âge supérieur à 140 ans dans cette zone.

La deuxième partie, plus en aval du site d'étude, est plus hétérogène. Le peuplement forestier du versant gauche est également un vieux bois fermé à entrouvert qui ressemble au peuplement plus en amont, hormis la présence d'épicéas. La futaie est composée essentiellement de sapin (55 %), mélangé à du hêtre (40 %) et quelques frênes isolés. Les essences qui font partie de la régénération sont le frêne et l'érable. La forêt du côté opposé, issue d'un reboisement naturel d'une prairie (LUDEMANN 1992), se laisse séparer en deux. Un peuplement de couvert entrouvert, jeune (d'après LUDEMANN 1992 entre 40 et 60 ans) en petit bois, dominé par du frêne (65 %), avec une présence moins importante de hêtre (25 %) et de sapin (10 %), qui sont dispersés par groupes et qui possède une régénération de hêtre, érable et sapin, suivie en aval d'une futaie un peu plus âgée avec les essences dans les

proportions suivantes : sapin 50 %, épicéa 40 %, frêne 10 % et hêtre en sous-étage. Il s'agit d'un peuplement forestier de bois petit à moyen qui est mélangé de manière pied à pied. Hêtre, érable, sapin, épicéa et orme font partie de la régénération.

La forêt le long du Zweribach est majoritairement proche de son état naturel potentiel. Sauf quelques exceptions telles que les épicéas dans une petite partie en amont, ainsi que la partie dominée par le frêne en aval, ne sont pas conformes aux forêts caractéristiques de la station (sapinière-frênaie à érable sycomore et hêtraie-sapinière-frênaie). La présence de frêne s'explique par le caractère pionnier de cette essence : il pousse sur des anciennes prairies. Par contre l'origine de la présence dominante d'épicéa est probablement anthropique. KELLER & RIEDEL (2000) supposent qu'ils ont été plantés.

Le peuplement forestier le long du Hirschbach

Le peuplement le long du Hirschbach est un bois moyen (versant droit) à gros (versant gauche) en structure monoétage, étant essentiellement composé de hêtre (50 à 70 %). Les autres essences présentes sont l'érable (25-40 %), le sapin, l'épicéa et le frêne. Selon la partie considérée, leur importance est différente. Dans la partie amont du site d'étude, le sapin est représenté à hauteur de 5 % tandis que plus en aval il devient plus important (30 %). Le frêne est présent mais seul avec quelques individus isolés. En raison du couvert compact à fermé, la régénération est faible : on y trouve quelques individus de hêtre, de sapin ainsi que du frêne. D'après LUDEMANN (1992) le versant gauche est plus âgé (> 140 ans) que le versant droit (entre 80 et 100 ans). Plus on se rend en aval plus la présence d'épicéa augmente jusqu'à trouver un bois gros à vieux dominé par d'épicéa (60 %), mélangé avec le sapin (20 %), le hêtre (20 %) et l'érable (< 5 %). Ce peuplement a été déraciné à cause d'une tempête en 1997 (KELLER & RIEDEL 2000) un peu plus en aval, au dessus du « Bruggerhof » (voir annexe XI). Seuls quelques individus ont pu résister au vent et sont restés debout. La plupart de la surface entourant le cours d'eau constitue une surface de chablis qui se trouve pour le moment dans la phase de régénération. La composition est donc dominée par des essences feuillues pionnières comme le frêne et des arbustives, de plus l'érable sycomore pousse sur cette zone ouverte.

La futaie du Hirschbach ressemble, la zone d'une forte présence d'épicéa exclue, le plus à son état potentiel naturel comparé au Zweribach et au Grenzbach. Les forêts caractéristiques de la station sont les mêmes que pour le Zweribach, mais le long du Hirschbach la présence de feuillus est plus importante.

Le peuplement forestier le long du Seebach

Le peuplement le long du Seebach est très homogène. Il est mélangé de manière pied à pied de sapin (60 %), de hêtre (25 %), d'épicéa (15 %) et d'érable sycomore (< 5 %). Il s'agit d'un vieux bois de structure irrégulière. Les diamètres des sapins et des épicéas sont quelques fois supérieurs à 80 cm. Le degré de fermeture change le long du ruisseau de « fermé », dans la partie en amont, à « ouvert » dans des parties plus en aval. Selon le degré de fermeture, la régénération d'épicéa, de sapin et de hêtre est plus ou moins développée. Dans la partie en aval, on y trouve plus d'érable et de frêne qu'en amont. Le propriétaire estime l'âge de cette futaie jardinée supérieur à 120 ans d'âge. Même s'il n'est pas possible de comparer la forêt réelle avec la forêt caractéristique de la station, on peut dire que le peuplement forestier est plus proche de son état naturel que d'un état peu naturel en ce qui concerne sa composition d'essences. Le propriétaire a confirmé que des plantations n'ont jamais été effectuées.

4.2 Résultats des relevés de bois mort

Le bois mort dans et à proximité d'un cours d'eau bordé d'une forêt proche de l'état naturel, peut être causé par certains événements météorologiques (neige lourde, vents violents, sécheresse, gel ou foudre). Mais aussi l'âge avancé, une maladie, la compétition, la concurrence ou une calamité d'insectes peut causer la mort d'un arbre ou d'une branche en ripisylve. En amont, c'est surtout la dynamique des bassins versants qui fournit le bois mort : des avalanches, des glissements de terrain et les ravinements sont les principaux mécanismes régissant l'entrée de bois dans un cours d'eau (THEVENET 1998).

Comme déjà mentionné dans le chapitre 1.2, la quantité de bois mort est liée à plusieurs facteurs tel que la phase de développement de la forêt, l'âge du peuplement (ECKERT ET AL. 1996), l'essence (la décomposition des feuillus est plus rapide que celle des résineux), la productivité de la station (HARMON ET AL. 1986), la densité de la forêt riveraine et des événements singuliers comme des tempêtes ou des calamités d'insectes (BILBY & BISSON 1998). La répartition spatiale est fortement associée à la région naturelle ainsi qu'à la morphologie du cours d'eau (ECKERT ET AL. 1996). Le bois est susceptible d'être mis en mouvement si la taille (la largeur ou la section mouillée) et la vitesse du courant dans le cours d'eau sont suffisamment importantes. Tous ces aspects soulignent que les résultats mentionnés ci-dessous devront être interprétés en considérant le contexte des sites d'études concernés.

4.2.1 Volume total et nombre d'éléments de bois mort

La figure 11 montre le volume total de bois mort des quatre cours d'eau étudiés, qui a été converti, selon la méthode décrite dans le chapitre 2.3.1, en 100 m linéaire. Les deux ruisseaux de la réserve forestière intégrale « Zweribach » représentent de loin les volumes totaux les plus grands, le Hirschbach possédant la valeur maximale de 111,82 m³/100 m. Le volume total le plus faible (40,1 m³/100 m) a été calculé pour le Seebach. Le volume total du ruisseau Grenzbach s'écoulant en réserve « Flüh » constitue avec 52,29 m³/100 m environ la moitié du volume total du Zweribach et par conséquent se trouve plus proche de celui du Seebach que de ceux des Zweribach et Hirschbach.

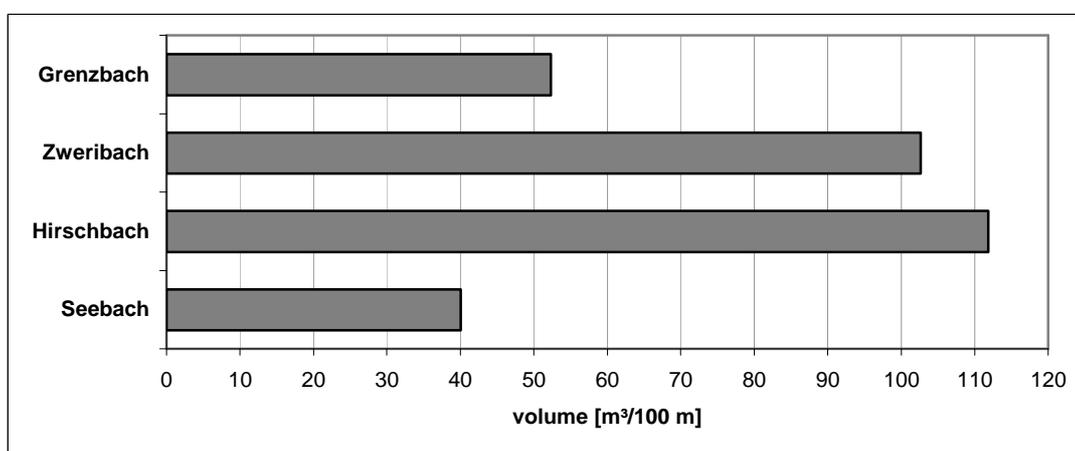


Fig. 11 : Volume total de bois mort sur 100 m de linéaire pour les quatre cours d'eau étudiés

La hiérarchie des différents volumes totaux de bois mort par hectare pour les quatre cours d'eau (figure 12) est équivalente à celle du volume total sur 100 m de linéaire, mais les volumes totaux du Zweribach (205,29 m³/ha) et Hirschbach (319,89 m³/ha) ne sont plus si proches : il existe un écart de 114,6 m³/ha entre ces deux cours d'eau. Le volume total par hectare du Seebach (80,12 m³/ha) est quatre fois plus faible que la valeur maximale du Hirschbach. Ces volumes de bois mort par hectare semblent énormes, mais il faut considérer que le bois mort de toute taille a été relevé tandis que le bois mort lors d'inventaires forestiers nationaux par exemple n'est relevé qu'à partir d'un seuil minimal de 20 cm de diamètre (BMELV 2004).

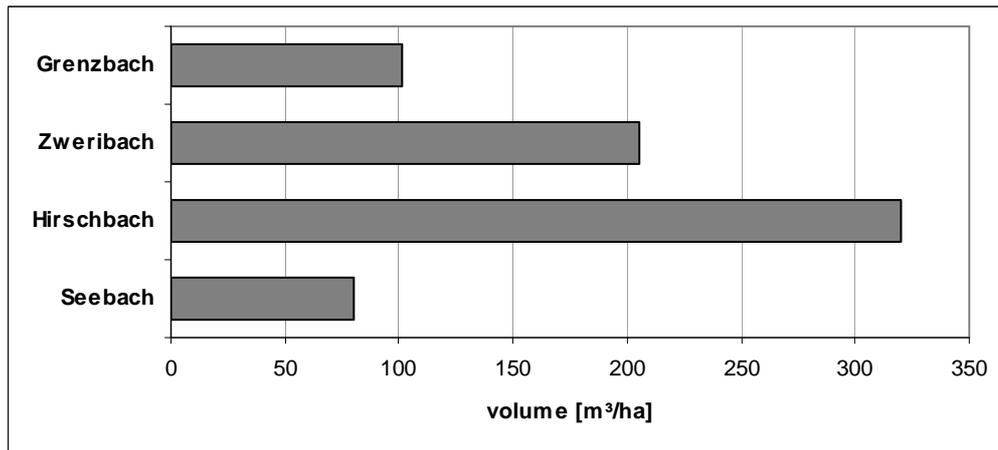


Fig. 12 : Volume total de bois mort par hectare pour les quatre cours d'eau étudiés

Pour le nombre total d'éléments de bois mort, calculé sur 100 m de linéaire, on obtient un autre résultat en ce qui concerne la hiérarchie des quatre cours d'eau. On peut distinguer deux groupes. Le Hirschbach, ayant le volume total maximal sur 100 m de linéaire, est équipé avec le nombre total d'éléments de bois le plus faible (201,65 éléments/100 m). Ce nombre faible est probablement lié aux faits discutés dans le chapitre 5.1. Un petit peu plus d'éléments, notamment 218,63 sur 100 m de linéaire, ont été comptés pour le Seebach. Le Zweribach possède la valeur maximale de 387,29 d'éléments de bois mort sur 100 m de linéaire tandis que pour le Grenzbach 302,45 éléments/100 m de linéaire ont été relevés.

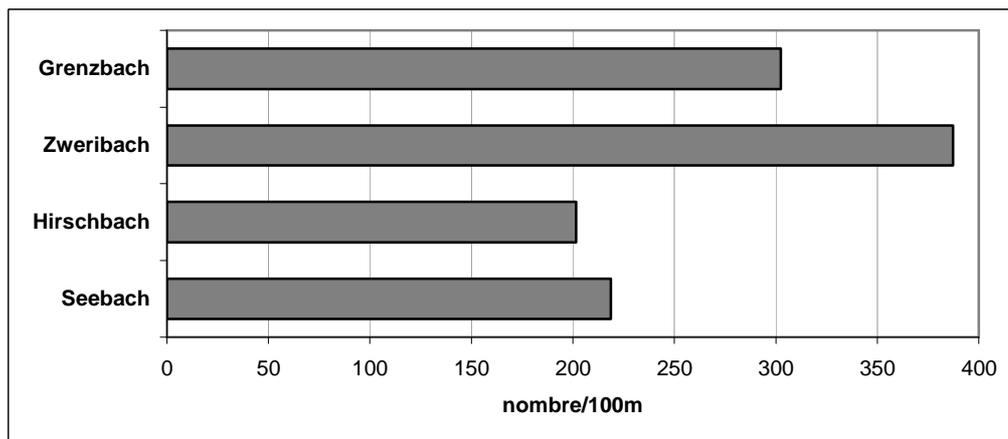


Fig. 13 : Nombre total d'éléments de bois mort sur 100 m de linéaire pour les quatre cours d'eau étudiés

Les volumes totaux sur 100 m de linéaire issus de l'étude de HENNE (2007), relevés pour des ruisseaux bordés d'une forêt gérée en Forêt-Noire (donc dans des conditions plus au moins similaires à celles de la présente étude), sont avec 27 à 57 m³ proches des valeurs du Seebach et Grenzbach et loin des résultats du Zweribach et Hirschbach (voir tableau 3). Cela confirme que la quantité de bois mort dans des cours d'eau entourés par des massifs forestiers gérés est inférieure à la quantité de bois mort dans des ruisseaux dont tous genres d'intervention humaine sur la forêt riveraine ont été abandonnés depuis un certain temps. Sur 100 m de linéaire du cours d'eau, le volume de bois mort du site non géré est 1,3 à 2,78 fois plus grand que le volume de bois mort du site géré.

Le volume total du Grenzbach, un cours d'eau s'écoulant en réserve, à peine supérieur à celui du Seebach, un cours d'eau s'écoulant en forêt gérée, s'explique du fait que le peuplement forestier est partiellement peu dense, notamment sur des anciennes surfaces de pâturage. De plus, le peuplement forestier est plus jeune (voir chapitre 4.1), ce qui implique des petits diamètres et des faibles volumes.

Les résultats de HENNE (2007), concernant le nombre d'éléments de bois mort sur 100 m de linéaire, sont proches ou inférieurs aux valeurs minimales du présent projet (voir tableau page suivante).

Tableau 3 : Résultats de l'étude de HENNE (2007) : Volume total de bois mort et nombre total d'éléments de bois mort

	Volume total [m³/100m]	Nombre total sur 100m
Site d'étude Forêt-Noire 1	56,96	112,92
Site d'étude Forêt-Noire 2	37,85	214,29
Site d'étude Forêt-Noire 3	26,91	68,16

D'après les résultats pour le nombre total et le volume total, on peut montrer qu'un grand volume n'est pas forcément lié à un grand nombre d'éléments de bois mort, comme cela a été le cas dans l'étude de HENNE (2007), qui avait analysé la présence de bois mort uniquement dans des ruisseaux bordés par des forêts gérées. Dans la présente étude, on peut décrire trois types de relation entre volume et nombre d'éléments : un grand volume et beaucoup d'éléments, dans le site du Zweribach ; un grand volume et peu d'éléments, dans le site du Hirschbach et enfin un faible volume lié à un faible nombre d'éléments de bois mort, dans le site du Seebach.

4.2.2 Volume et nombre de types d'éléments de bois mort par rapport au volume et au nombre total

Les résultats de la répartition du volume total pour chaque type d'élément sont représentés en figure 15. Tous les ruisseaux ont un résultat en commun : les éléments qui se trouvent par définition uniquement dans le lit, notamment le piéqueur, le piéqueur avec grande et petite accumulation, l'accumulation d'éléments intermédiaires et l'accumulation de gros bois, possèdent le pourcentage en volume total le plus faible (part moyennée dans le volume total inférieure à 2 %). Ce résultat n'est pas très surprenant : la surface de relevé est largement plus petite pour les petits cours d'eau (largeur maximale de 5 m) que pour les versants (bande de 25 m de largeur des deux cotés du cours d'eau). Étant donné que la probabilité de trouver un élément de bois mort est liée à la surface de relevé, la probabilité de trouver des proportions en volume élevées pour les éléments de bois mort mentionnés ci-dessus est très faible.

Puis, on peut constater qu'il existe une différence prononcée entre la présence des différents types d'élément dans les sites d'études en réserve forestière intégrale et le site d'étude en forêt gérée. Dans la zone d'étude du Grenzbach, du Zweribach ainsi que celle du Hirschbach, l'arbre tombé représente l'élément le plus important en pourcentage, soit 69,1 % du volume total d'éléments de bois mort pour le Grenzbach, 46,4 % pour le Zweribach et même à 88,76 % pour le Hirschbach. La forte valeur obtenue pour le Hirschbach résulte du fait que le chablis situé sur ce site (voir chapitre 4.1 et annexe XI) est composé principalement d'arbres de grand volume. La faible proportion d'arbres tombés du Zweribach par rapport à celles du Hirschbach et du Grenzbach est liée à une proportion importante d'arbres entiers : 40,16 % du volume de bois mort trouvé sur le site sont des arbres entiers. L'arbre mort entier représente cependant potentiellement un futur arbre mort tombé. Il est évident que les différents types d'élément, souche, rémanents et bois issus d'une coupe sanitaire, sont présents seulement dans le site d'étude de Seebach, parce que selon leur définition, ces types de bois mort sont issus uniquement de la gestion de la forêt. De plus, un critère de choix pour les sites d'études en réserve a été l'absence de ces types d'éléments de bois mort.

En ce qui concerne le site géré, ce sont par contre les rémanents et la souche qui représentent les éléments dominants, avec un pourcentage total de 84,28 %. Selon son pourcentage par rapport au volume total (4,26 %), l'arbre tombé occupe la troisième position dans le site du Seebach. Un autre type d'élément à noter est la branche tombée, dont le pourcentage par rapport au volume total dans les ruisseaux en réserves est encore assez important (Grenzbach 12,72 %, Zweribach 7,87 % et Hirschbach 3,1 %).

L'importance volumique des différents types d'éléments de bois mort se différencie de leur importance en nombre. En ce qui concerne le nombre des différents types d'élément, la branche tombée représente l'élément dominant dans les trois sites en réserve forestière intégrale, avec un pourcentage entre 42,54 et 51,26 % par rapport au nombre total (voir figure 16). Il est intéressant de noter que les cours d'eau étudiés avec le nombre d'éléments absolu le plus grand, Grenzbach et Zweribach, ont le pourcentage le plus grand de branches tombées par rapport aux autres cours d'eau étudiés. L'élément d'une importance plus faible en ce qui concerne sa part par rapport au nombre total est l'arbre tombé (23,58 à 37,72 %). L'accumulation d'éléments intermédiaires, avec un pourcentage de

6,45 % par rapport au nombre total, est le troisième élément le plus fréquent dans la réserve forestière de Zweribach, bien qu'il fasse partie des éléments les moins représentés concernant sa part du volume dans le volume total (voir ci-dessus). Le Seebach est caractérisé par la présence de souches, dont le pourcentage par rapport au nombre total est de 39,27 %. Avec un pourcentage de 21,49 % la branche tombée est le deuxième élément le plus important suivi par les rémanents (9,55 %). On voit bien que la méthode de relevé pour les rémanents (voir chapitre 2.2.3.4) aboutit à un grand volume associé à un nombre faible. Dans les quatre sites on peut constater une part très faible des types d'élément « piègeur avec grande accumulation » et « accumulation de gros bois » par rapport au nombre total. En outre, on peut constater que le piègeur avec une petite accumulation et l'accumulation d'éléments intermédiaires atteignent quasiment les mêmes niveaux de pourcentage dans les sites protégés et le site du Seebach. La présence de ces deux types de bois mort ne semble donc pas être influencée d'une façon négative par la gestion de la forêt riveraine. Cependant les accumulations d'éléments intermédiaires du site géré sont composées principalement des rémanents issus de la dernière intervention. Les problèmes potentiels causés par des rémanents dans un cours d'eau seront discutés dans le chapitre 5.2.

Dans la présente étude de cas, une grande quantité de bois mort est donc liée aux éléments « arbre tombé » et « arbre entier », qui résultent couramment, comme le confirme également l'étude de HENNE (2007), des événements naturels tels que les événements météorologiques, l'âge avancé, la compétition ou autres. Le grand volume total sur 100 m de linéaire du Hirschbach est lié à la quantité élevée des arbres de grand diamètre tombés lors d'une tempête en 1997. Le volume total réduit du Grenzbach mais la grande part d'arbres tombés par rapport au volume total, comparée à celui du Zweribach et du Hirschbach, dérive du fait que le peuplement forestier est plus jeune et par conséquent les arbres tombés moins volumineux. La part de l'arbre tombé par rapport au volume et au nombre total est très faible pour le site de Seebach, en raison de l'exploitation de la forêt et donc de l'absence d'arbres tombés. Même un arbre malade, debout ou couché, sera enlevé dès lors qu'il possède une valeur économique, constitue un risque ou dérange l'exploitation. Les rares arbres tombés ou entiers trouvés dans le Seebach résultent pour la plupart de la compétition et sont de ce fait assez fins et courts, ce qui explique leur faible part dans le volume total. Un grand nombre de rémanents et de souches ne peuvent pas compenser ce déficit quantitatif, parce qu'il s'agit d'éléments d'un volume plus faible comparé à l'arbre (tombé ou debout). Selon leur pourcentage par rapport au volume total, dans deux sur trois sites dans l'étude de HENNE (2007), les rémanents et les souches constituent également les types d'éléments dominants. Ceci confirme de nouveau que l'on trouve, dans des cours d'eau entourés par des massifs forestiers gérés, des types de bois mort totalement différents tels que les rémanents et la souche par rapport aux types dominants dans les cours d'eau en réserve. Les rémanents et la souche sont plutôt des éléments de faible volume, il existe donc un déficit en éléments de grand volume dans les sites gérés.

4.2.3 Volume maximal de type d'élément d'arbres tombés

Puisque l'arbre tombé constitue un élément de bois mort très important en ce qui concerne le volume de bois mort, son volume maximal a été analysé. La figure 14 explicite la différence existant entre les sites en réserve forestière intégrale et le site en forêt gérée en ce qui concerne le volume maximal d'arbres tombés. Le peu d'arbres tombés (voir figure 16) sur le site d'étude Seebach ont de plus un volume très faible. Le volume maximal n'est que de 0,477 m³, neuf fois plus petit que le volume maximal d'arbres tombés du site d'étude Grenzbach et 21 fois plus petit que celui-ci du Zweribach, qui présente avec 10 m³ le plus gros volume d'arbres tombés comparé aux trois autres cours d'eau étudiés.

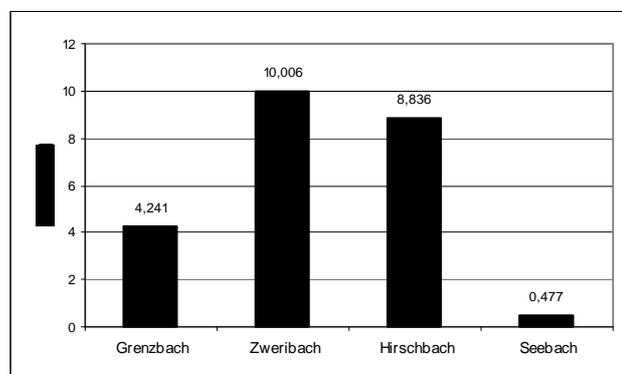


Fig. 14 : Volume maximal de l'arbre tombé dans les quatre sites d'études

Ce résultat n'est pas très surprenant car l'existence des arbres de grand volume dans des forêts gérées est souvent limitée par l'âge de l'exploitation : les arbres sont souvent récoltés à un âge inférieur à 120 ans à des « petits » diamètres. Dans le cas présent, les arbres

les plus vieux sont très volumineux car il s'agit d'une futaie jardinée. Dans tous les cas en forêt gérée, que les arbres soient exploités à fort ou faible diamètre, le bois ne reste pas dans la forêt sous forme de bois mort car il est récolté.

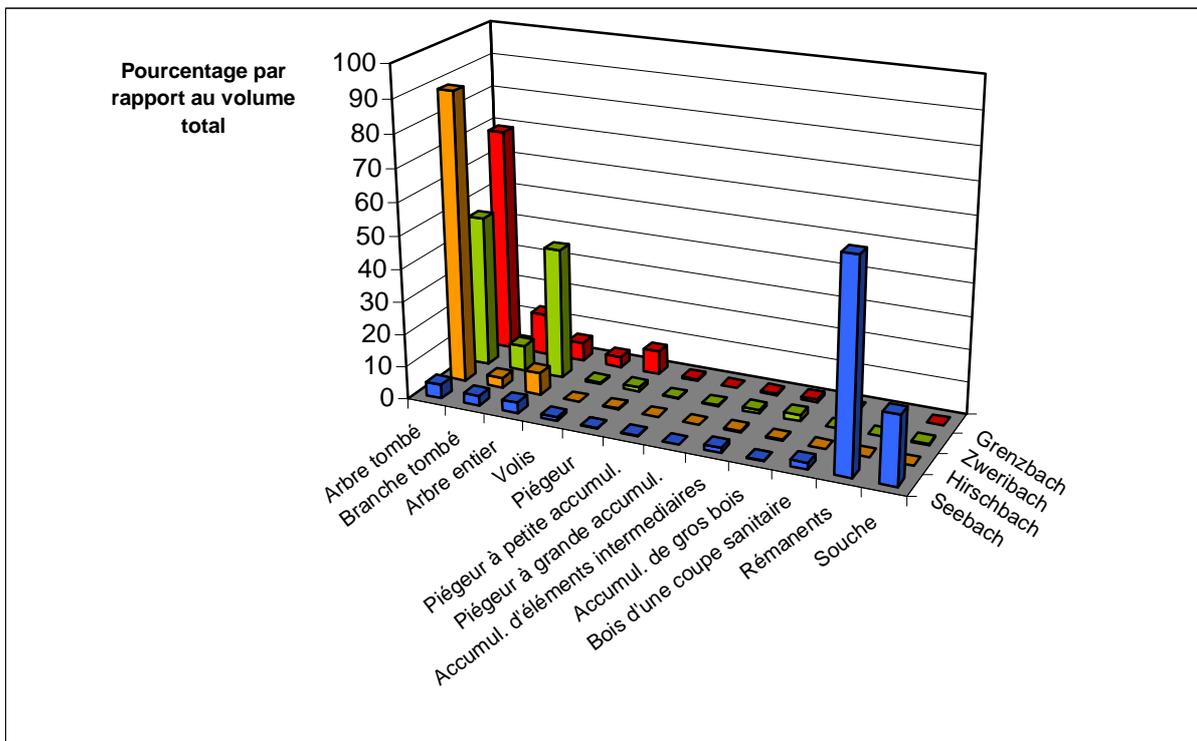


Fig. 15 : Pourcentage des différents éléments de bois mort par rapport au volume total

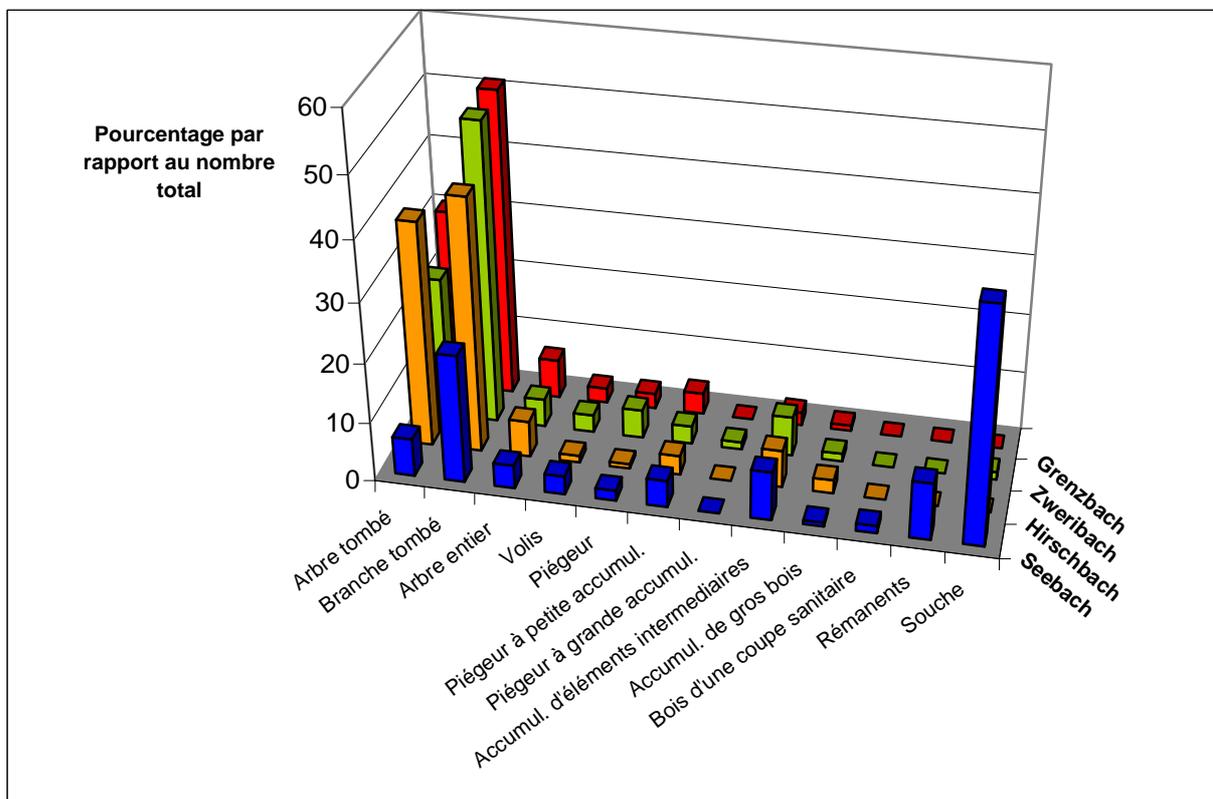


Fig. 16 : Pourcentage du nombre des différents types de bois mort par rapport au nombre total d'éléments

4.2.4 Répartition des éléments de bois mort par classes de volume

Les résultats de la répartition du volume des différents éléments de bois mort dans les classes définies au chapitre 2.2.4 sont figurés en figure 17. Le classement s'est effectué indépendamment du type d'élément. On peut constater que tous les sites d'études sont dominés par des éléments de faible volume. Pour chaque ruisseau étudié, plus de 45 % des éléments se trouvent dans la première classe de volume. Cela signifie que près de la moitié des éléments de bois mort relevés ont un volume inférieur ou égal à 0,1 m³. Quant au Grenzbach et au Zweribach, plus de 70 % des éléments se trouvent dans les trois premières classes de volume, et le Seebach compte même 87 % d'éléments de bois mort dans ces trois catégories de volume. La grande majorité du bois mort a donc un volume inférieur ou égal à 0,3 m³. Par conséquent, seul un nombre faible d'éléments de bois mort se trouve dans les autres classes restantes. Même si la différence entre le Seebach et les trois autres sites n'est pas si importante, il faut mentionner que son pourcentage du nombre d'éléments de bois mort par rapport au nombre total d'éléments de bois mort dans la classe 1 (65, 83 %) est le plus élevé. En outre 0,7 % dans la classe huit constitue la valeur la plus petite, comparée aux trois autres cours d'eau. Le classement pour le Hirschbach est un peu plus équilibré que celui des trois autres sites d'étude. Pourtant la classe décrivant le volume le plus grand contient seulement 3,1 % d'éléments de bois mort. L'interprétation des résultats du Grenzbach, Zweribach ainsi que du Hirschbach n'est pas si facile, la validité des valeurs étant limitée du fait du pourcentage important d'artefacts (respectivement 22 %, 15,9 % et 18,3 %). Ce type d'éléments de bois mort ne peut être associé à aucune classe (voir chapitre 2.3.1). Le pourcentage d'artefacts du Seebach de 3,2 % est assez faible, on peut donc considérer les résultats comme valides. Le travail de HENNE (2007) donne un résultat similaire à celui obtenu au Seebach : plus de 70 % des éléments de bois mort ont un volume inférieur ou égal à 0,3 m³.

On peut constater que non seulement dans des sites gérés, mais aussi dans des sites plus proches de leur état naturel, des éléments de très grand volume (> 3 m³) sont plutôt rares et des éléments de bois mort de faible volume sont dominants. Ceci est d'une part probablement lié à la raison mentionnée ci-dessus (grand pourcentage d'artefacts). Lors du relevé dans le site Hirschbach par exemple, une grande partie des arbres tombés volumineux dépassait les limites du tronçon, et était donc classé comme artefact (voir aussi figure 18). Imaginant un relevé total pour ce site, il est probable que plus d'éléments de bois mort feraient partie des classes de volume élevées telles que les classes 6, 7, 8. D'autre part, les blocs de granit se trouvant au sol dans les sites d'études peuvent causer la fracture en plusieurs morceaux des troncs tombant à terre. Selon les seuils définis au chapitre 2.2.3.1, ces morceaux ont souvent été relevés de manière séparée et non comme éléments d'un seul tenant.

La figure 18 montre le pourcentage de chaque classe (en volume) par rapport au volume total. Une explication détaillée des résultats du Hirschbach et du Grenzbach n'est pas opportune, parce que les pourcentages de volumes les plus importants par rapport au volume total font partie de la catégorie artefacts. Pour un pourcentage de 33,2 % du volume de bois mort relevé sur le site Grenzbach et même pour 55,7 % du volume de bois mort du site Hirschbach, le classement selon les différentes catégories de volume n'est donc pas connu. La part du volume dans la catégorie artefact du Zweribach est avec 22 % également assez élevée, mais on peut tout de même constater une dominance de la classe 8, qui représente 53, 17 % du volume par rapport au volume total. Les 24 % restants sont répartis de façon équilibrée sur les sept autres classes. Le résultat semble être évident, on aurait pu cependant s'imaginer aussi une situation dans laquelle les classes de volume faible (classe 1 et 2 par exemple) auraient été plus dominantes. Ce cas peut arriver si le nombre d'éléments dans les deux premières classes s'élève à pratiquement 100 % accompagné par une absence d'élément faisant partie des classes de volume élevées (classe 6 à 8 par exemple). La répartition du volume du Seebach est un peu plus équilibrée, mais dans ce site d'étude, pareillement à celui du Zweribach, la majorité du volume (52 %) se trouve dans les classes de volume les plus élevées (classes 6 à 8).

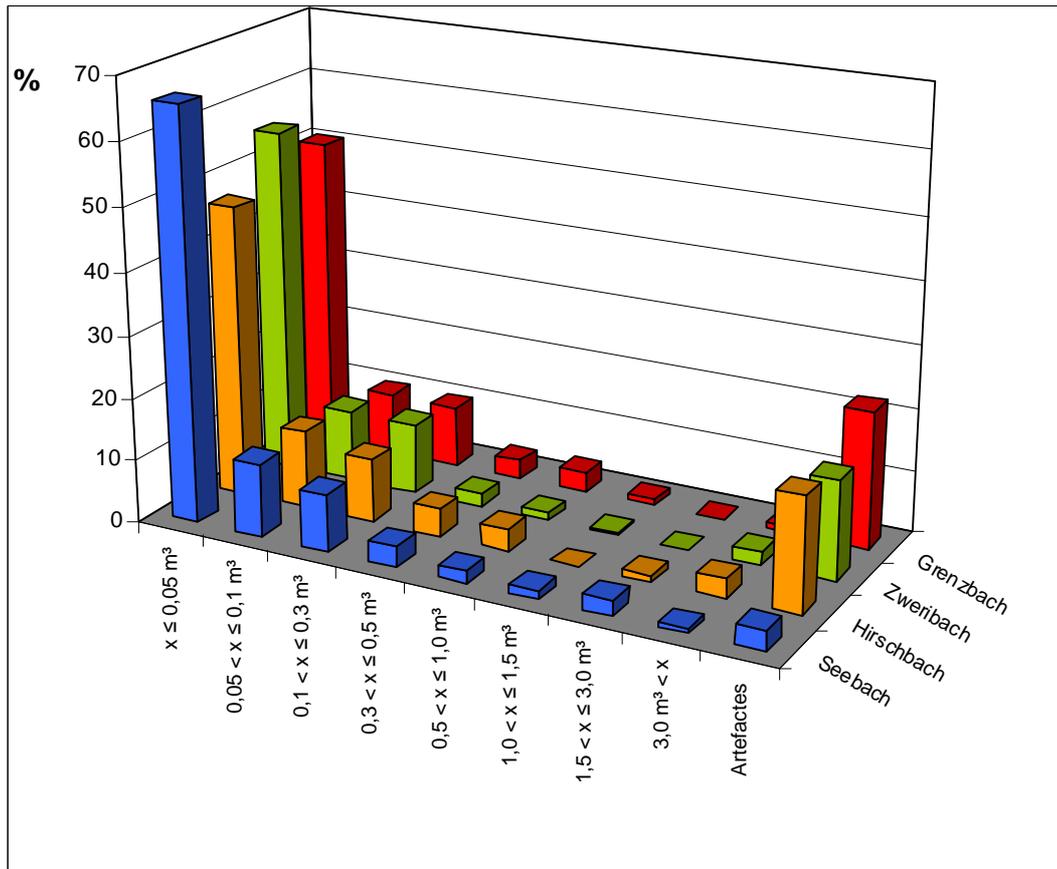


Fig. 17 : Pourcentage du nombre d'élément par classe de volume par rapport au nombre d'élément de bois mort total

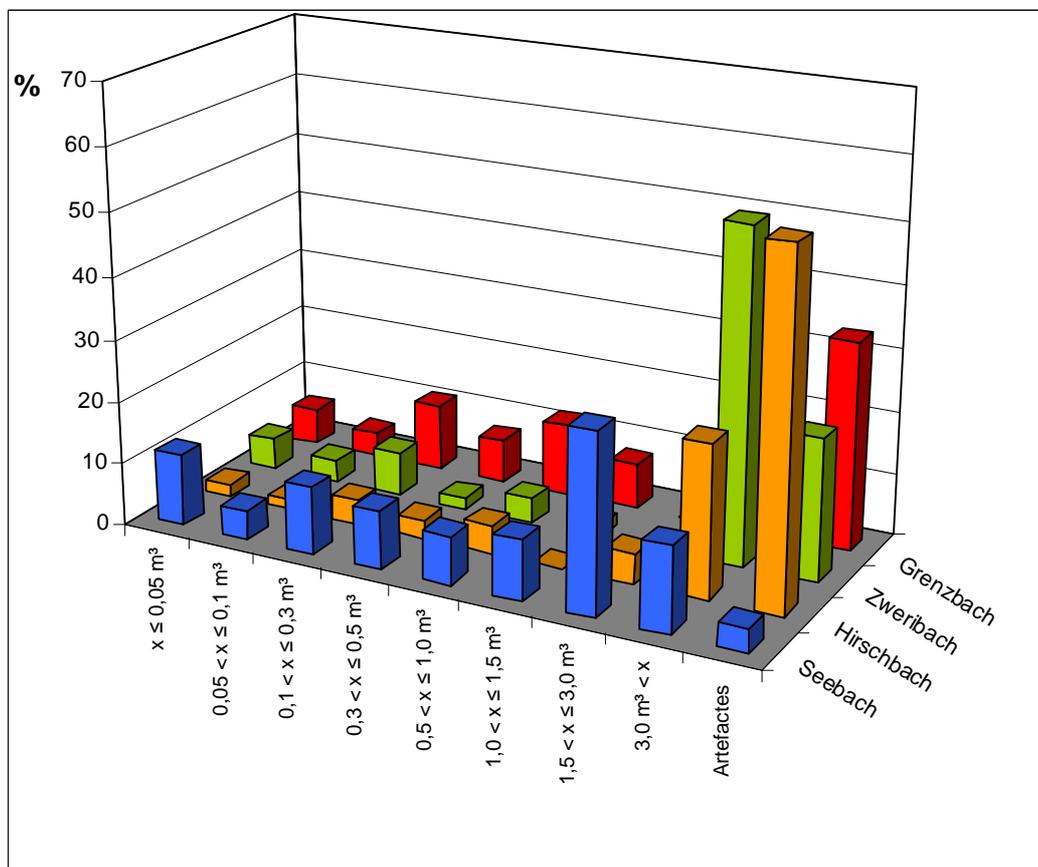


Fig. 18 : Pourcentage de chaque classe (en volume) par rapport au volume total

4.2.5 Répartition spatiale de bois mort

Le diagramme (figure 19) montre de quelle façon le volume total se répartit sur les trois zones différents. La dominance de la zone « ripisylve et pente », valable pour tous les quatre sites d'études, est nettement visible. Plus de 75 % du volume total se trouve dans la zone 3. Ce résultat est logique parce la surface occupée par cette zone est plus large que la surface occupée de la zone 1 et 2. La zone 2 « au-dessus du lit majeur » dans le site de Hirschbach comporte avec un pourcentage de 16, 24 % du volume par rapport au volume total la valeur maximale par rapport aux autres sites d'études. Dans le Seebach on n'y trouve par contre quasiment pas (0,1 % du volume) de bois mort dans cette zone. Cela est premièrement lié au fait que l'arbre tombé, étant souvent le type d'élément de bois mort caractéristique pour la zone 2, n'est pas très fréquent dans le site de Seebach, par contre fortement présent dans le site de Hirschbach, surtout dans le compartiment de chablis. Deuxièmement le lit du Seebach est plus plat que ceux des trois autres cours d'eau et à cause de cette raison la zone 2 n'est pas très développée.

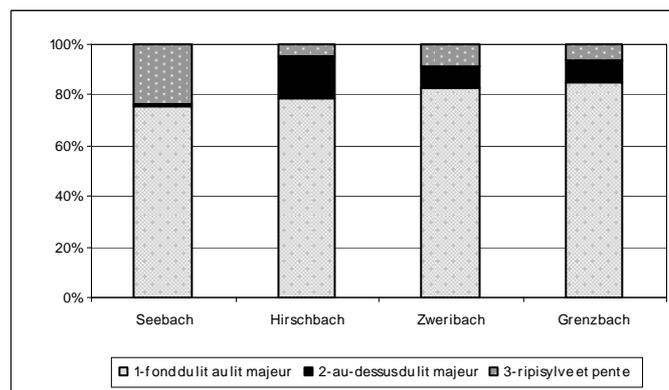


Fig. 19 : Répartition de volume de bois mort sur les trois zones de l'écosystème de cours d'eau

La supposition que le volume augmente dans les zones 1 et 2 aux endroits où le volume est plus élevé dans la zone 3 a été également analysée (voir annexe X). Pour la plupart des tronçons on peut observer que, s'ils ont plus de bois mort (par rapport au volume) dans la zone de pente, il se trouve en même temps plus de bois mort dans les zones 1 et 2. Ceci est valable pour le Grenzbach et le Hirschbach à 100 % et pour le Zweribach la plupart du temps. Par contre dans le site de Seebach il existe des tronçons où la présence de bois mort en zone 3 est très prononcée mais les zones 1 et 2 ne sont pas du tout munies de bois mort. Puisque les conditions, par exemple la pente de versant, sont similaires dans tous les tronçons du site de Seebach, ce manque de bois mort dans les zones 1 et 2 est probablement lié à l'intervention humaine. Ce résultat montre de nouveau une différence entre le site d'étude qui est influencé par l'homme et les sites d'études qui peuvent développer une dynamique naturelle. En gros on peut constater que la relation de la quantité de volume dans les zones 1 et 2 est donc plus ou moins proportionnelle à la quantité de volume dans la zone de la pente (zone 3).

Bien que la plupart de bois mort se trouve dans la partie de versant, sans contact direct avec le cours d'eau et en conséquence sans influence sur le ruisseau et ses organismes au moment du relevé il peut devenir plus important à l'avenir. Car, surtout pour des petits cours d'eau s'écoulant en vallée fluviale à pente raide, la zone de versant constitue une source de bois mort potentielle pour le ruisseau. La pente de versant de deux cotés du ruisseau de tous les quatre sites a été souvent supérieure à 30 %. En particulier, les éléments d'une forme cylindrique tels que les arbres tombés ont la capacité d'être introduits dans le cours d'eau grâce à une pente de versant assez importante (REEVES ET AL. 2003, HENNE 2007). Seulement quelques parties du Grenzbach et du Zweribach sont entourées des versants moins abrupts, leur pente n'est probablement pas assez forte afin de permettre des glissements de bois mort.

La proportion de bois mort dans la zone 1 n'est pas très grande pour le Hirschbach, le Zweribach ainsi que le Grenzbach (inférieur à 10 %). Le bois mort qui se trouve dans cette zone est permanent en contact avec l'eau. Par contre, le bois mort de la zone 2 n'a pas d'effet hydraulique sur le cours d'eau au moment du relevé. Mais dès qu'un morceau d'un élément de bois mort dans la zone 2 tombe dans le lit lors de sa décomposition avancée, ou dès que le débit augmente à cause d'une crue, ce bois mort peut jouer une fonction hydraulique pour le ruisseau. Le bois mort de la zone 2 constitue donc une source potentielle du bois mort pour la zone 1.

4.3 Les mousses et le bois mort dans l'écosystème d'un cours d'eau

L'objectif de cette partie est d'analyser l'importance de bois mort pour les mousses dans l'écosystème des cours d'eau. Dans ce chapitre, les hypothèses de travail suivantes ont été analysées :

- La présence du bois mort le long et dans le cours d'eau augmente la diversité et la quantité des substrats pour les mousses, notamment la surface qui peut être colonisée.
- Le microclimat du cours d'eau influence de façon positive la colonisation du bois mort par les mousses. En conséquence, la colonisation du bois mort proche des cours d'eau est plus facile et plus rapide que lorsque le bois mort se trouve éloigné du cours d'eau.
- La combinaison des deux hypothèses de travail précédentes aboutit à une diversité et densité d'espèces de mousses plus élevées dans, et à proximité du cours d'eau, liés à la présence du bois mort.
- La dynamique du cours d'eau influence la présence, la migration et la répartition des mousses sur le bois mort à l'échelle d'écosystèmes de cours d'eau.

4.3.1 Informations trouvées en littérature concernant la thématique : mousses, bois mort, cours d'eau

Information générale sur les mousses

En Bade Wurtemberg, la plupart des habitats de mousses sont des endroits humides et difficiles à coloniser pour les fougères ou d'autres plantes à fleur. À cause de leur croissance lente, ils sont faibles en compétition avec des plantes plus grandes (NEBEL & PHILIPPI 2000). La plupart d'espèces préfèrent des stations riches en bases (DÜLL 1997).

Les mousses se nourrissent essentiellement à partir des nutriments apportés par les invertébrés (excréments, mucus), ou par la pluie, l'eau capillaire et interstitielle et à partir des apports aériens de gaz et particules nutritives. Dépourvues de racines et de tissus conducteurs comparables à ceux des plantes à graines l'absorption de l'eau et de nutriments se réalise d'une manière passive par leur surface (NEBEL & PHILIPPI 2000). Les mousses ont une forte dépendance à l'approvisionnement en eau, parce qu'elles ne disposent pas d'un dispositif pour la régulation de la transpiration (LÜTH 2004). L'importance capitale de l'humidité de l'atmosphère et du substrat pour l'existence des mousses dans les forêts est d'après SCHUMACHER (2000) généralement connue.

Les mousses ont une fonction importante dans l'écosystème forestier : en stockant une quantité d'eau assez importante, qui est par la suite redistribuée à l'environnement d'une façon lente, ils contribuent à la régulation d'équilibre hydrique et à l'amélioration du climat local (NEBEL & PHILIPPI 2000). Cette capacité favorise la diversité, notamment la diversité faunistique et floristique. La fonction d'habitat est encore plus importante. Pour des différents macro- et microorganismes tels que les larves de moustiques, papillons et coléoptères, les araignées, les mites, les escargots et les vers, les mousses constituent une biotope miniature et un abri (DÜLL 1997). De plus, pour plusieurs invertébrés, comme par exemple les larves de mouches, les chenilles, les sauterelles ou les escargots, les mousses servent de source de nourriture (NEBEL & PHILIPPI 2000). DÜLL 1997 mentionne sa fonction de substrat de germination. En outre les mousses jouent un rôle important dans l'épuration de l'air.

Les mousses et le bois mort

Différentes caractéristiques du bois mort influencent la présence des mousses. Il existe des espèces qui colonisent uniquement le bois mort de gros diamètre (SAUBERER ET AL. 2007). La présence des espèces rares ou menacées est souvent positivement corrélée au diamètre d'élément de bois mort (SUANJAK 2008). De plus, le diamètre joue sur la diversité des espèces : des objets plus grands et plus âgés laissent supposer un nombre de différentes espèces élevé (SCHUMACHER 2000). Ceci peut être expliqué par l'effet quantitatif (plus de surface signifie plus d'espèces), la décomposition plus lente de troncs volumineux (plus du temps pour la colonisation), la présence élevée des micro-habitats sur des troncs volumineux, ainsi que le processus d'infection plus long des arbres volumineux grâce à leur âge avancé. En outre la meilleure rétention de l'humidité du bois mort grossier joue un rôle important. Surtout dans des forêts comportant une couche de feuilles épaisse, les arbres tombés de gros diamètre sont importants parce qu'ils ne seront pas couverts par le feuillage. Généralement la quantité de bois mort présente

dans un site, limite la surface potentiellement colonisable par les mousses (SAUBERER ET AL. 2007). Non seulement la quantité et la densité du bois mort mais aussi la qualité du substrat sont déterminantes pour la colonisation par les mousses. La présence des différentes espèces est dépendante du stade de décomposition du bois mort (SCHUMACHER 2000). Les espèces qui colonisent exclusivement le bois mort par exemple, préfèrent des stades avancés de la décomposition (SUANJAK 2008). SAUBERER ET AL. (2007) mettent en évidence qu'il existe des différences prononcées entre des forêts gérées et des forêts proche de l'état naturel en ce qui concerne la diversité et la quantité des mousses colonisant le bois mort. Des forêts proches de l'état naturel sont nettement plus riches en mousses.

Les mousses, le bois mort et les cours d'eau

Les seuls travaux trouvés qui ont analysé le rapport entre la présence des mousses, les cours d'eau et le bois mort ont été effectués dans des forêts résineuses. JONSSON (1997) constate que la richesse des mousses est plus élevée dans des secteurs où la quantité en bois mort est plus importante. De plus la composition des espèces change avec la distance au cours d'eau et la quantité de bois mort présente. HYLANDER & DYNESIUS (2006) montre que les stations le long du cours d'eau sont plus riches en mousses : les forêts riveraines boréales comportent deux à trois fois plus d'espèces que des forêts éloignées des ruisseaux. L'importance des cours d'eau pour la diversité des mousses dépendant du bois mort est soulignée grâce au résultat suivant : les forêts en bordure du cours d'eau comportent trois fois plus d'espèces de mousse de la liste rouge que d'autres forêts contenant la même quantité de bois mort. Ceci s'explique de la manière suivante : l'humidité et une migration améliorée le long du ruisseau facilitent et favorisent la présence de ces espèces. HYLANDER & DYNESIUS (2006) concluent que la conservation de grande quantité de bois mort, présent en plusieurs stades de décomposition, le long des cours d'eau est une mesure effective pour favoriser les espèces de la liste rouge concernées.

4.3.2 Entretien avec Martin Nebel, dr, expert sur le thème des mousses

L'entretien avec M. Nebel, dr. avait non seulement les objectifs mentionnés dans le chapitre 2.4, mais a eu aussi pour but la clarification des particularités concernant les sites d'étude. La structure du profil longitudinal des cours d'eau étudiés est formée principalement par des gros blocs et roches. Il a fallu considérer ce fait dans l'analyse de l'importance de bois mort pour les mousses dans l'écosystème de cours d'eau. Pour mieux comprendre, l'entretien est organisé en questions et en thèmes structurant.

- **L'importance du type de substrat bois mort pour les mousses (surtout par rapport aux roches)**

Est-ce qu'il existe une liste des espèces inféodée au bois mort ?

Non, parce qu'il est difficile de déterminer des espèces inféodées au bois mort (espèces epixyles). Quelques épiphytes sont aussi capables de coloniser de bois mort. Il existe une transition immédiate entre les espèces colonisant des arbres vivants et des espèces colonisant le bois mort.

Quel pourcentage d'espèces de mousses est inféodé au bois mort ?

Il n'est pas possible de répondre à cette question.

Est-ce que le pourcentage des espèces qui sont plus au moins indépendantes du type de substrat, telles que les espèces qui colonisent par exemple le bois mort, le sol aussi bien que les roches, est très important ?

Il existe des espèces qui sont très communes et très répandues -les ubiquistes-, mais quand même spécifique à un seul substrat. De plus, il existe des espèces qui peuvent coloniser des substrats différents, mais ces espèces ne sont pas forcément des ubiquistes. On ne peut pas dire de manière globale qu'il existe beaucoup d'espèces colonisant différents substrats. C'est un sujet assez délicat et il faut considérer les choses de façon bien différenciée selon l'espèce concernée.

Est-ce qu'il existe une différence entre les essences, résineuses ou feuillus pour la colonisation ?

Cela est dépendant aussi de l'altitude : à l'étage montagnard les épiphytes préfèrent le sapin à l'épicéa. En ce qui concerne les feuillus la préférence dépend de l'état chimique : les mousses préfèrent des écorces riche en base, la frêne et l'érable par exemple.

- **Est-ce que le stade de décomposition influence la colonisation par les mousses ?**

Est-ce qu'il est vrai que le bois mort frais, de stade 1, n'est pas colonisé par les mousses ?

Non. Le bois mort frais est colonisé fréquemment par des épiphytes et non par des espèces inféodées au bois mort.

Le bois mort passe plusieurs stades de décomposition et constitue pour cette raison non seulement un substrat mais plusieurs substrats. Est-ce qu'on peut affirmer de manière générale que le bois mort entraîne une diversité en espèces plus grande que des roches ?

Non. Les mousses sur les roches peuvent retenir du substrat, notamment de la matière organique, qui entraîne la colonisation d'autres espèces.

- **Est-ce que le diamètre du bois mort est un facteur déterminant pour la colonisation par des mousses ?**

Quelles espèces colonisent exclusivement du bois mort d'un grand diamètre?

On peut dire qu'un grand diamètre est avantageux pour la colonisation, parce que l'arbre plus volumineux, retient plus d'humidité et il est capable de passer plusieurs stades de décomposition.

Est-ce qu'il faut un diamètre minimal de bois mort pour la colonisation?

Non. En théorie, les bois morts de tous diamètres sont aptes à être colonisés.

Est-ce que la répartition spatiale du substrat joue un rôle pour la migration et la reproduction des mousses?

En ce qui concerne les ubiquistes par exemple la distance entre les éléments de bois morts est sans importance. Pour la plupart d'espèces rares la raison de leur rareté n'est pas encore connue. Le mode de reproduction est encore inconnu pour beaucoup d'espèces, parce que cela est très difficile à examiner.

- **L'importance du facteur humidité atmosphérique pour les mousses**

Est-ce qu'une humidité élevée favorise la colonisation du bois mort ?

Du bois mort humide offre de meilleures conditions de croissance, parce que la décomposition du bois mort est plus rapide et les conditions pour la germination sont améliorées.

En réduisant l'évaporation, l'humidité atmosphérique prolonge le stockage de l'eau. L'humidité atmosphérique diminue donc le stress hydrique des mousses et influence la capacité concurrentielle entre les différentes espèces. Le bois mort est en général un type de substrat humide. L'humidité de bois mort provient plutôt des précipitations que de l'humidité atmosphérique.

Est-ce que vous connaissez des espèces qui ont besoin d'une humidité atmosphérique très importante et qui dans ces conditions sont capables de coloniser des substrats différents ?

Non. Le facteur déterminant pour les espèces n'est pas l'humidité atmosphérique mais les précipitations.

Quelles espèces et sur quel substrat sont présents uniquement à proximité des cours d'eau ? Est-ce qu'il existe des espèces inféodées au bois mort proche du cours d'eau ?

On peut trouver des espèces sur des roches qui ont leur niche spécifique proche du cours d'eau. Je ne connais pas d'espèces inféodées au bois mort proche du cours d'eau.

- **Est-ce que le microclimat du cours d'eau influence de façon positive la colonisation du bois mort par les mousses ?**

Est-ce qu'on peut supposer que des espèces de mousses qui colonisent les roches proches du cours d'eau sont capables aussi de coloniser le bois mort ?

Non. Les espèces qui sont inféodées aux roches proches de cours d'eau ne colonisent pas de bois mort.

Est-ce qu'on peut trouver les mêmes espèces sur le bois mort proches du cours d'eau ainsi que éloignées des cours d'eau dans des stations qui ne sont pas influencées par l'écosystème de cours d'eau ?

En principe on peut trouver les mêmes espèces. Pourtant il n'existe pas d'études en ce qui concerne ce sujet. Il s'agit d'une thématique très délicate qui demande des études de plusieurs décennies. Une énonciation n'est pas possible sans avoir recherché cette thématique.

Est-ce que vous pensez que le bois mort le long du cours d'eau comporte plus des espèces de la liste rouge que du bois mort éloigné des cours d'eau ?

Non. On ne peut pas faire une telle déclaration pour Bade Wurtemberg.

Pouvez vous me décrire vos expériences en ce qui concerne la thématique : les mousses, le bois mort et les cours d'eau ? Est-ce que vous connaissez de la littérature ou des projets concernant ce sujet ?

Pour moi cette thématique n'a pas grand intérêt. Il existe d'autres aspects concernant les mousses qui sont plus importants à étudier. Je ne connais ni de littérature ni de projets qui traitent cette thématique.

• **Quelles influences du cours d'eau sur la dynamique de la colonisation existent ils ?**

Le bois mort situé dans le lit mineur n'est pas souvent colonisé par les mousses, parce qu'il existe seulement peu d'espèces qui sont capables de transformer le CO₂ en O₂ sous l'eau. En général il existe peu d'espèces de mousses qui sont tolérantes à la submersion. La tolérance à la submersion et la durée de celle-ci sont les facteurs déterminants pour la colonisation. Mais la colonisation dépend aussi à la position du bois mort dans le ruisseau. On ne peut rien généraliser. Les mousses sont par exemple souvent détachées par le débit fort ou la crue et de suite transportées en aval. Je ne connais pas les effets exacts sur la migration mais à mon avis si des conséquences existent, ils sont sans importance.

En outre, des inondations régulières ont un effet positif, parce que les mousses sont désencombrées du sable et de la boue. En conséquence la photosynthèse peut mieux fonctionner.

4.3.3 Résultats des observations sur le terrain

L'entretien avec M. Nebel a montré que les investigations sur le terrain ne vont pas concerner la diversité ni la densités d'espèces de mousses parce qu'un non-spécialiste n'est pas en mesure de distinguer les différentes espèces ni les différentes populations. Différents aspects selon les questions listées en annexe IX ont été examinés. Les observations suivantes ont été possibles :

Principalement le bois mort de tout diamètre est colonisé par des mousses. On trouve plus rarement des mousses sur des branches fines que sur des morceaux de bois mort d'un diamètre élevé. L'explication peut être la durée très courte que l'élément a passée au sol. Il s'agit souvent de branches qui sont tombées depuis peu de temps. En tout cas, des branches fines ne constituent pas un substrat idéal pour une longue durée parce que leur décomposition se passe très vite. On reçoit l'impression que plus il s'agit d'un élément de gros diamètre, plus la probabilité d'une colonisation par des mousses augmente.



Fig. 20 : Gros bois mort dans le cours d'eau : la partie non immergée est colonisée par des mousses

La plupart du bois mort entièrement situé dans le lit mineur, n'est pas colonisé parce que l'écoulement est probablement trop fort. Les accumulations (accumulation d'éléments intermédiaires par exemple), qui se trouvent selon leur définition principalement en contact avec l'eau, constituent rarement un substrat pour les mousses. Cependant un élément de bois mort dont le diamètre est assez large peut être colonisé par des mousses, si une partie n'est pas immergée en permanence (voir figure 20).

Des complexes de bois mort composés de plusieurs pièces (un tas de branches tombées par exemple), qui ne sont pas en contact avec l'eau en permanence, sont souvent fortement colonisés par des mousses. Ces éléments de bois mort sont très favorables

aux mousses car ils possèdent une surface colonisable très importante et la répartition des mousses est éventuellement plus facile grâce à la proximité des différentes pièces entre-elles.

4.3.4 L'importance du bois mort pour les mousses dans l'écosystème du cours d'eau

Les résultats issus de la littérature, de l'entretien avec l'expert sur les mousses ainsi que des observations faites sur le terrain ne peuvent pas répondre de toute évidence à la question « quelle importance le bois mort joue-t-il pour les mousses dans l'écosystème du cours d'eau ? ». Le premier problème a été de savoir quelle proportion des 844 espèces existantes en Bade Wurtemberg est concernée par cette thématique : est qu'on parle de 10 ou 60 % par exemple ? Est-ce qu'il s'agit d'espèces très répandues ou plutôt menacées ? Il n'existe pas de réponse générale à ces questions et il fallait analyser ce sujet plutôt à l'échelle de l'espèce.

Partant de l'hypothèse de travail que la quantité et la diversité de substrat sont augmentées par la présence de bois mort, on peut constater que les espèces inféodées au bois mort profitent évidemment de la présence de bois mort dans et proche du cours d'eau. Concernant les espèces colonisant des roches ainsi que du bois mort, on peut supposer que la présence de bois mort est moins importante pour leur répartition parce que la présence de roches est assez importante dans les cours d'eau étudiés. Non seulement les roches formant le lit des cour d'eau, mais aussi les talus d'éboulis dans les sites d'étude aboutissent à une grande quantité des substrats surélevés par rapport au sol. Imaginant un cours d'eau en plaine, il est plus probable que la présence de bois mort favoriserait la présence des mousses, car on y trouve moins de substrats surélevés et les mousses sont en conséquence confrontées au problème de concurrence avec des plantes plus grandes et avec la couche des feuilles au sol. En ce qui concerne les ubiquistes inféodés au bois mort, la présence de bois mort est moins importante pour leur répartition parce qu'il s'agit d'espèces qui sont de toute façon assez répandues. Il est difficile de dire généralement si la présence de bois mort proche du cours d'eau augmente la diversité des substrats.

Le bois mort situé dans le lit mineur, et de ce fait en contact avec l'eau en permanence, ne constitue pas un substrat apte pour la colonisation. Il n'a donc pas d'importance pour la présence des mousses sauf si le diamètre du bois mort est assez grand. En général le bois mort de tout diamètre est apte à être colonisé par des mousses mais des éléments d'une diamètre plus grand semble être avantageux parce qu'ils offrent plus de surface, retiennent plus d'eau et présentent plusieurs stades de décomposition s'ils ne sont pas immergés.

Principalement l'humidité atmosphérique a un effet positif pour la présence des mousses. Dans le contexte des sites étudiés par contre cet effet est probablement moins important parce que les forêts présentes sont très humides et possèdent des précipitations élevées (voir chapitre 3). Le facteur avantageux (l'humidité du cours d'eau), ne joue donc probablement pas un si grand rôle pour la présence des mousses à proximité des cours d'eau. Imaginant des conditions plus sèches, une forêt de chêne en plaine avec des précipitations faibles par exemple, le microclimat du cours d'eau pourrait probablement favoriser plus la présence des mousses sur le bois mort proche du cours d'eau par rapport à la colonisation de bois mort par les mousses éloignées du ruisseau.

L'auteur est tout à fait conscient que la présence des mousses est fortement liée aussi à d'autres facteurs comme la lumière et les éléments nutritifs disponibles par exemple. Les énonciations ci-dessus sont toujours faites en supposant qu'il existe des conditions identiques en ce qui concerne ces autres facteurs.

À quel point la dynamique d'un cours d'eau, par exemple des inondations ou le transport de bois mort colonisé par des mousses par l'eau, influence la migration et la répartition des mousses on ne sait pas connu, mais d'après M. Nebel, il ne s'agit pas d'un sujet intéressant pour la recherche.

Il ne peut pas être confirmé ni démenti l'affirmation que la présence de bois mort proche du cours d'eau aboutit à une diversité et une densité d'espèces de mousses plus élevée parce que d'après M. Nebel en Bade Wurtemberg ceci est peu probable. Par contre dans l'étude menée en Scandinavie, les forêts riveraines boréales comportent deux à trois fois plus d'espèces que des forêts éloignées des ruisseaux. Dans ce dernier cas, la préservation ou l'augmentation de bois mort dans l'écosystème du cours d'eau est alors une mesure efficace pour la protection de la nature. M. Nebel, à l'inverse, ne conçoit pas que cela soit valable aussi pour Bade Wurtemberg. L'importance du bois mort pour la diversité des mousses dans l'écosystème du cours d'eau est probablement aussi différente selon la région concernée. Cette thématique demanderait encore d'autres études pour permettre de répondre à toutes les questions concernant l'importance pour les mousses du bois mort dans l'écosystème des cours d'eau.

5 Discussion et recommandations

5.1 Discussion de la méthode

5.1.1 Choix des sites d'études

Il n'existe probablement plus en Allemagne de forêts vierges traversées par un cours d'eau naturel et présentant du bois mort de manière naturelle (GERHARD & REICH 2001). Même si la plupart des réserves forestières intégrales ressemblent plus à des forêts gérées qu'à des forêts vierges (observation faite lors des visites de différentes réserves), elles sont souvent dénommées « forêts vierges de demain » (en allemand « Urwälder von morgen »). Cette appellation indique qu'il s'agit de forêts qui ont désormais la possibilité d'évoluer selon une dynamique naturelle et spontanée, non influencée par des activités humaines. Mais pourtant, ces sites sont soumis à quelques contraintes : à une réserve forestière intégrale en Bade-Wurtemberg correspond pratiquement toujours un ancien paysage culturel. De plus, certains des sites étudiés sont de petite surface et se trouvent en conséquence sous l'influence des différents effets de bord.

Une alternative aurait été de choisir comme site d'étude une forêt hors-cadre traversée par un cours d'eau. La plupart de ces forêts ne sont plus gérées depuis longtemps à cause de leur situation extrême : souvent elles ne sont pas accessibles pour l'exploitation. La présence de bois mort est ainsi plus proche de ce qu'elle serait en l'absence d'impacts anthropiques. Néanmoins, le fait que le site ne soit pas exploitable présente aussi un inconvénient : réaliser l'étude sur un tel site et en tirer des recommandations pour des forêts gérées ne semble pas être pertinent. C'était donc une bonne décision de choisir des réserves forestières intégrales comme sites d'étude.

Il a été difficile de trouver une réserve forestière intégrale remplissant toutes les exigences mentionnées dans le chapitre 2.1.1. De manière générale au cours de l'étude, la recherche des sites d'études a demandé beaucoup de temps. Ceci aurait pu être amélioré en diminuant le temps passé pour la recherche d'informations concernant la présence de bois mort en étape 3 (voir chapitre 2.1.1), qui n'a pas fortement apporté beaucoup à la sélection des sites d'étude. L'exploitation de ces informations disponibles pourrait être limitée aux sites d'étude sélectionnés en définitive. Généralement il est conseillé de consacrer plus du temps pour les visites des différents cours d'eau parce que les informations issues de la carte topographique IGN 25 ne sont pas toujours assez fiables : quelque fois, des chemins qui longent le cours d'eau ne sont pas mentionnés, d'autres fois ils le sont mais n'ont pas un impact significatif sur le cours d'eau, par exemple.

Il aurait été aussi intéressant d'analyser la présence de bois mort dans des cours d'eau différents en ce qui concerne la région naturelle, la géologie, le type de forêt et d'autres aspects parce que, comme décrit en chapitre 4.2, la présence de bois mort dépend de tels facteurs. Dans le cadre de ce projet par contre la recherche de sites d'étude a été limitée sur Bade-Wurtemberg et les cours d'eau sélectionnés constituent les seuls qui remplissent les exigences.

5.1.2 Description des peuplements forestiers en bordure des cours d'eau

Grâce à la méthode appliquée -la description verbale du peuplement- une description détaillée des peuplements forestiers a été possible. Les aspects relevés permettent de décrire l'état actuel des forêts riveraines. De plus, la méthode permet d'obtenir des informations en ce qui concerne l'évolution potentielle du peuplement. Le principal avantage de cette méthode réside dans le temps très court nécessaire à sa mise en œuvre (description rapide).

5.1.3 Détermination des tronçons d'étude

La décision de préférer des relevés dans des tronçons représentatifs à un relevé complet, est liée au fait du temps disponible limité pour ce projet. S'il y a plus du temps disponible il est conseillé de réaliser un relevé complet, surtout parce que la répartition de bois mort sous conditions naturelles est probablement très hétérogène (HERING ET AL. 2000). De ce fait, la détermination des tronçons représentatifs pour la présence de bois mort s'est révélée difficile

dans sa réalisation. De plus, la méthode appliquée pour la détermination des tronçons reste d'une manière subjective (présence de bois mort estimée à l'œil), même s'il a été essayé de garantir l'objectivité la plus grande possible.

5.1.4 Relevé du bois mort

La méthode utilisée afin de relever la présence du bois mort se distingue de la plupart des méthodes trouvées dans la littérature internationale. En conséquence les résultats du présent projet ne sont comparables à d'autres études que d'une manière restreinte. Il n'a pas été possible de faire autrement, dans la mesure où les autres méthodes ne permettraient pas de répondre aux questions posées dans le cadre de la présente étude. Cependant cette méthode est appropriée pour tous les types de cours d'eau existants. Il est simplement conseillé d'adapter la sectorisation des zones selon le type de cours d'eau rencontré ; notamment de rajouter une zone ripisylve pour les cours d'eau en plaine.

La classification du bois mort conformément aux différents types d'éléments s'est effectuée sans problème. Grâce à la définition préalable des différents types d'éléments, il a été possible d'attribuer toutes les pièces de bois mort relevées à un et un seul type d'élément. Seul le relevé du type d'élément « rémanents » a causé quelques doutes parce qu'il a été difficile de décider s'il s'agissait d'un seul élément ou si on devait compter les rémanents pour plusieurs éléments. La méthode appliquée, afin de relever des rémanents, aboutit à un volume élevé pour un nombre faible d'éléments.

Généralement la démarche utilisée pour relever le volume a permis la détermination des dimensions des éléments de bois mort de manière précise et rapide. Le relevé du volume de certains types d'éléments s'est révélé tout de même un peu compliqué dans quelques situations : le volume relevé des rémanents comporte probablement des erreurs parce qu'il a été problématique d'estimer les données nécessaires pour la détermination du volume. Les rémanents sont souvent dispersés sur des grandes surfaces et bien qu'il soit possible d'estimer l'étendue de ces surfaces, il a été difficile d'estimer la part du bois mort en leur sein. Cependant aucune méthode pour relever des rémanents disposés au sol qui permet une erreur plus faible n'est connue, à ce jour. L'interprétation du volume des rémanents devrait donc être précautionneuse.

Le volume des éléments à un stade de décomposition avancé et le volume des souches sont probablement un peu surestimés, car les souches ne forment pas toujours des vrais cylindres et le bois mort fortement décomposé ne possède plus de limites précises. Cette surestimation du volume est considérée comme étant assez faible et n'a probablement pas des conséquences significatives sur le résultat global. En ce qui concerne le site du Seebach, il est possible que les rémanents aient empêché la détection de quelques éléments se trouvant au dessous des rémanents et qui par conséquent ne sont pas visibles au moment du relevé. Il est à supposer que le nombre et le volume des éléments non repérés et mesurés de ce fait n'influence pas significativement les résultats.

La présence d'une zone de chablis dans un des tronçons de Hirschbach a rendu les conditions de relevé difficiles et dangereuses. Le terrain y était pratiquement inaccessible à cause de la masse importante des gros arbres tombés et à cause de la ronce qui s'y était fortement développée. Dans ce tronçon il n'a pas été possible de mesurer la longueur de la plupart des éléments uniques, en conséquence elle a été souvent estimée à l'œil. Il est probable que les éléments de petite taille n'aient pas été relevés dans leur totalité parce qu'ils étaient cachés par des gros arbres ou la ronce. Dans des conditions particulières comme dans les cas précédemment décrits, l'efficacité des relevés aurait pu être améliorée en fonctionnant en équipe de deux personnes. Par mesure de sécurité, il est également plus judicieux d'effectuer les relevés à deux. Néanmoins il resterait toujours difficile de mesurer la longueur des éléments de bois mort et des estimations restent parfois inévitables.

Le volume et le nombre de bois mort relevés n'ont évidemment pas une exactitude parfaite, ceci n'était d'ailleurs pas l'objectif. Les incertitudes concernant la précision des résultats n'influencent pas leur interprétation.

En ce qui concerne la répartition du volume d'éléments de bois mort dans des classes de volume, les résultats sont en partie inutilisables à cause du pourcentage élevé des artefacts. Pour cette raison il est fortement conseillé de changer la méthode de relevé pour les éléments qui se trouvent partiellement hors des limites du tronçon. Une amélioration pourrait être de noter les pourcentages pour les parties qui se trouvent à l'intérieur et à l'extérieur des limites de chaque tronçon. Cette démarche améliorerait également la validité du résultat du nombre

d'éléments par classe de volume par rapport au nombre d'élément de bois mort total et le résultat du volume maximal d'arbres tombés.

Comme expliqué dans le chapitre 2.3.4, il n'a pas toujours été possible de déterminer le stade de décomposition du bois mort. Bien que le relevé incomplet n'ait pas permis une évaluation du stade de décomposition, l'auteur a profité d'essai de la détermination de telle manière qu'il a pu obtenir une vue globale sur la part des différents stades de décomposition présent sur le site d'étude concerné.

La méthode appliquée permet de connaître l'état actuel de la présence du bois mort dans les quatre cours d'eau étudiés. Concernant tous les interprétations et conclusions faites lors de cette étude il faut considérer qu'il ne s'agit que d'une étude de cas. Un projet qui se porte sur un nombre plus élevé de différents types de cours d'eau (des cours d'eau de plaine comparés aux cours d'eau de montagne par exemple), mené sur plusieurs années aboutirait évidemment à des connaissances plus riches en ce qui concerne la présence de bois mort dans les cours d'eau.

5.1.5 L'importance du bois mort pour les mousses dans et à proximité du cours d'eau

Il est apparu qu'un entretien avec un expert constitue un moyen efficace et rapide d'obtenir une grande partie des informations cherchées. Bien qu'il s'agisse d'un expert, il existe tout de même des questions pour lesquelles il faut considérer que la réponse représente plutôt l'avis d'une seule personne. (Lors des rencontres entre experts au centre de recherches forestière de Fribourg, plusieurs experts sur un même sujet peuvent avoir des avis complètement divergents sur une seule question.) De plus, nul ne peut avoir de connaissances exhaustives sur un sujet donné.

Même si les observations sur le terrain n'ont pas beaucoup contribué à apporter des réponses aux principales questions posées, elles ont aidé l'auteur à comprendre l'écologie des mousses et à obtenir des nouvelles idées concernant la fonction du bois mort pour les mousses. En tenant compte du fait que l'auteur n'est pas un spécialiste en ce qui concerne les connaissances sur les mousses, il a été prévu que l'analyse de l'importance de bois mort pour les mousses dans les cours d'eau lors de ce projet constitue plutôt une première approche à cette thématique. Des études complémentaires devront se concentrer plus sur l'analyse de l'importance du bois mort dans le cours d'eau pour des différentes espèces de mousses.

5.2 Discussion des résultats

L'hypothèse qu'il existe un manque de bois mort dans les cours d'eau entourés d'un massif forestier géré s'est confirmée dans ce projet : on a pu relever une quantité de bois mort une à trois fois plus élevée dans les ruisseaux en réserve par rapport aux cours d'eau en forêt gérée. La différence entre les cours d'eau en forêt non gérée et les cours d'eau en forêt gérée n'est pas si élevée que dans d'autres études. DIEZ ET AL. (2001) constatent que des petits cours d'eau en forêt proche de l'état naturel comportent huit fois plus de bois mort que des cours d'eau en forêt gérée. La différence plutôt faible dans le présent projet est entre autre liée à la problématique décrite dans le chapitre précédent : le volume des rémanents a été probablement surestimé par rapport à la réalité. Puisqu'il s'agit du type d'élément de bois mort dominant en ce qui concerne le pourcentage par rapport au volume total, le volume total correct du Seebach pourrait être inférieur au résultat présenté dans ce rapport. De plus, la comparaison de la présence de bois mort dans un petit cours d'eau s'est effectuée avec une forêt gérée en futaie jardinée. On pourrait supposer que ce mode d'exploitation comporte, en ce qui concerne les souches et les rémanents (les deux types dominants du Seebach), plus de bois mort qu'une futaie régulière, par exemple parce que les arbres atteignent des dimensions plus grandes. Ceci dépend cependant de l'intensité de l'exploitation, du fait que ces types d'élément de bois mort sont issus de la gestion.

Un autre aspect qui devrait être discuté est la forte proportion d'épicéas parmi le bois mort -surtout les arbres tombés- des ruisseaux en réserve forestière intégrale. Tout d'abord, cela montre l'impact anthropique sur les sites avant la mise en réserve forestière intégrale : cette essence ne serait pas présente en si grande quantité dans des conditions naturelles, et le fait qu'elle ne soit pas parfaitement adaptée à la station se répercute dans la grande quantité de bois tombé.

On devrait se poser ensuite la question de la représentativité du volume de bois mort relevé pour le potentiel naturel de bois mort dans des cours d'eau étudiés. L'essence du bois mort n'a pas fait partie des paramètres relevés. Il n'est donc pas possible de quantifier le constat mentionné ci-dessus. Seul pour le chablis on peut dire avec certitude que les arbres tombés sont des épicéas (KELLER & RIEDEL 2000). Dans les forêts naturelles un chablis constitue une perturbation naturelle au cours du développement d'une forêt. On peut donc constater que le chablis, même s'il est composé pour la plupart d'épicéas, représente très bien une situation potentielle d'une forêt vierge et montre ce qui serait possible si les peuplements étaient soumis à une dynamique naturelle. Ce sont essentiellement ce genre de perturbations, contribuant à une grande quantité de bois mort de gros diamètre et responsables des volumes de bois mort maximal, qui manquent complètement en forêts gérées.

On peut supposer que les quantités de bois mort mesurées dans les cours d'eau en réserve forestière intégrale sont malgré tout loin de ce qu'elles seraient potentiellement dans des cours d'eau en forêt vierge. Les forêts des sites étudiés se trouvent dans la phase d'optimum de leur développement, qui constitue d'après SCHERZINGER (1996) une phase de développement plutôt pauvre en bois mort (voir figure 21). La quantité de bois mort lors de la phase de déclin peut être 40 à 50 % supérieure à celle de la phase d'optimum (KORPEL 1997). Puisque la plupart des sites ont obtenu leur statut de réserve forestière intégrale il y a seulement quelques décennies (la réserve forestière intégrale la plus « âgée » en Bade Wurtemberg date de 1911), il faut encore attendre plusieurs siècles avant que des forêts en réserve en Bade Wurtemberg puissent atteindre de telles quantités de bois mort.

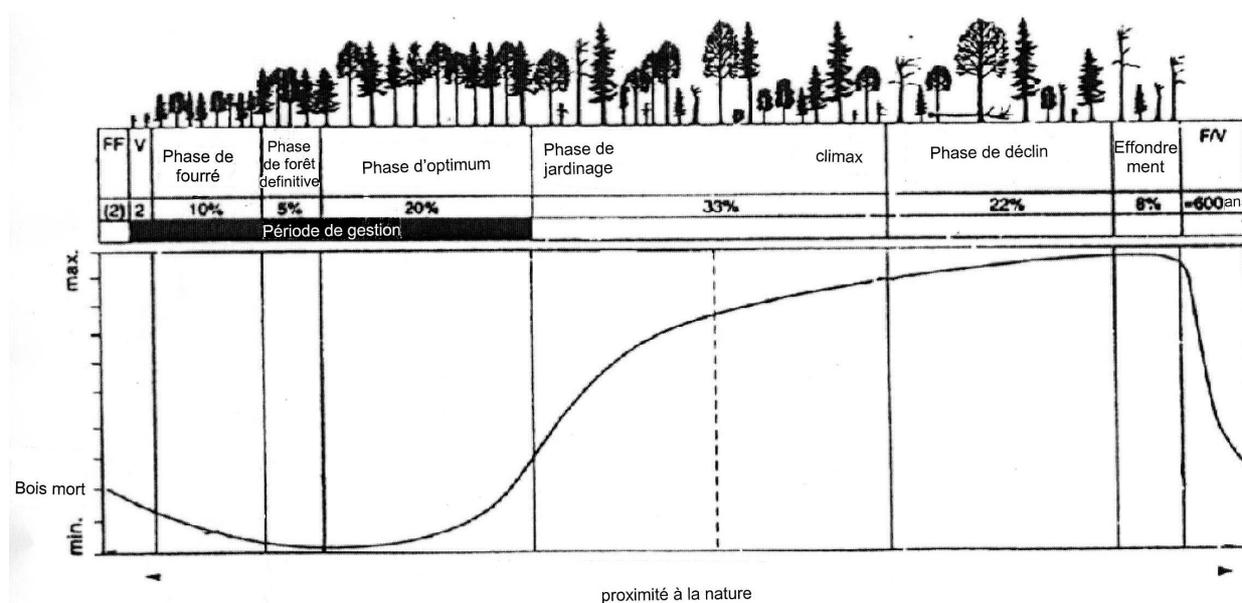


Fig. 21 : Une forêt vierge parcourt au fil de son développement de plusieurs siècles non seulement des phases extrêmement riches en bois mort mais aussi des phases très pauvres en bois mort.

(Source : SCHERZINGER 1996, modifié et traduit par Anke Hellbach)

On peut constater que non seulement la quantité de bois mort (le volume total) mais aussi la qualité du bois mort se différencie en fonction du site d'étude en cause (géré ou non géré).

Tout d'abord, il existe une différence en ce qui concerne la présence des différents stades de décomposition entre les deux groupes des sites d'étude (géré et non géré). Cette différence est liée non seulement à la gestion, mais aussi aux différents types d'éléments de bois mort dominants des sites. Tandis que l'on ne voit que peu d'éléments de bois mort à un stade de décomposition élevé dans le Seebach, car les rémanents par exemple représentent du bois mort frais, les forêts en réserve intégrale comportent un grand pourcentage de bois mort déjà avancé dans sa décomposition (stade 3 et 4 dans la réserve Zweribach : 88 %). On peut supposer que ce manque de bois mort d'un stade de décomposition élevé dans le cours d'eau entouré d'une forêt gérée a un impact sur la

présence et la diversité des macroinvertébrés, ceux-ci étant en partie associés au bois mort décomposé à différents stades.

Ensuite, la composition structurelle du bois mort dans des cours d'eau en forêt gérée s'est distinguée de celles des cours d'eau entourés par des forêts n'étant plus influencées par les interventions de l'homme.

La souche, résidu de l'exploitation et pour cette raison un des éléments de bois mort fréquent dans des forêts gérées, n'a pas de fonction physique ni biologique pour le cours d'eau. Il s'agit de bois mort fixé sur place dans la zone trois sans interaction directe avec le ruisseau. On peut par conséquent négliger l'importance de ce type d'élément de bois mort pour le cours d'eau.

Les rémanents, également un type d'élément caractéristique pour une forêt gérée, peuvent par contre influencer le cours d'eau, surtout s'ils se trouvent dans la zone un ou deux. Dans le site d'étude Seebach, les rémanents présents en grande masse (voir figure 22) sont issus entièrement d'élagages artificiels des sapins ou des épicéas. (La plupart des élagages artificiels dans des forêts gérées concernent des conifères, beaucoup de feuillus, comme le hêtre par exemple, perdant leurs branches mortes.)



Fig. 22 : Le Seebach couvert par des rémanents

On ne sait pas, actuellement si l'impact des branches résineuses est plutôt positif, négatif ou sans importance pour un petit cours d'eau.

La source de nourriture principale des « déchetteurs » est principalement les feuilles (KAIL 2005). Il est probable que les feuilles sont introuvables ou difficilement accessibles pour les macroinvertébrés dans les parties où le cours d'eau est couvert par les rémanents. Le Seebach était par exemple difficilement visible, et la position exacte du cours d'eau difficile de déterminer, la couche de rémanents étant très épaisse. La réduction ou le manque de la nourriture pourrait influencer de façon négative la présence des déchetteurs, ceci ayant à son tour des conséquences sur la chaîne alimentaire entière.

L'hypothèse souvent répétée, qu'une grande quantité d'aiguilles entraîne l'acidification (HENNE 2007), n'est pas valable pour les cours d'eau étudiés. La baisse du pH des cours d'eau munis d'un faible pouvoir tampon n'est pas liée à la décomposition lente des aiguilles mais plutôt associée à la pluie acide (WURM 2004).

Les conséquences d'une grande quantité d'aiguilles sur le système de trous et pores dans le sédiment fluvial, la zone hyporhéique (en allemand : hyporheisches Interstitial), se distinguent selon le type de cours d'eau concerné. Lors des crues, la zone hyporhéique a une fonction très importante pour les macroinvertébrés car elle leur sert de refuge. Les composants organiques tels que les aiguilles sont régulièrement enlevés de la zone hyporhéique du cours d'eau de montagne du fait de l'écoulement fort, lié à une pente importante et des sédiments grossiers (granit et gneiss). Quant aux cours d'eau en plaine par contre, un colmatage de la zone hyporhéique, causé par des aiguilles, ne peut pas être exclu (FVA 2008). Puisque l'étude concernant cette problématique n'a pas été menée à grande échelle, la validité des résultats est restreinte. Il faut encore attendre d'autres projets confirmant les observations faites, avant que l'on puisse affirmer avec certitude qu'une grande quantité d'aiguilles n'influence pas de manière négative la zone hyporhéique.

L'importance pour le cours d'eau des deux types d'éléments de bois mort dominants du site géré (souches et rémanents) est donc discutable voire inexistante, contrairement au type d'élément de bois mort dominant dans les cours d'eau en réserve, l'arbre tombé.

L'arbre tombé dans de petits cours d'eau constitue un élément de bois mort qui reste sur place, même dans des conditions d'écoulement puissant ou de crue. En plaine, l'arbre tombé peut influencer la morphologie du lit des cours d'eau en créant diverses mouilles. Par contre, l'arbre tombé dans des ruisseaux montagnards n'a pas d'impact significatif sur la forme du cours d'eau. Bien que les précipitations dans les sites d'étude soient très importantes et les crues temporaires puissent devenir potentiellement très puissantes, les arbres tombés sont rarement charriés parce que les vallées encaissées et les gros roches rendent possible l'ancrage des deux cotés du cours d'eau. L'arbre tombé constitue alors un embâcle naturel dans le cours d'eau pour plusieurs années. Sous des conditions naturelles, ce fait pourrait mener à la situation suivante :

Des éléments de bois mort petits, tel que des branches tombées et des ramilles par exemple, sont transportés par l'eau et s'accumulent à cet embâcle naturel. La capacité de transport de l'eau pour le bois mort dépend de la pente, de la masse d'écoulement maximal ainsi que de la forme de la vallée et du lit (HÜTTE 2000). En ce qui concerne les cours d'eau étudiés, il est possible qu'au fil du temps une grande masse de bois mort s'accumule. Ce barrage naturel temporaire retient les petits éléments de bois jusqu'à la prochaine crue. L'arbre tombé reste probablement encore sur place mais les autres éléments de bois mort sont charriés en aval où ils seront de nouveau accumulés au niveau d'un autre embâcle naturel.



Fig. 23 : L'accumulation de bois mort grossier dans le Zweribach

Un tel phénomène de grandes accumulations, causé par un arbre tombé, n'a pas pu être observé dans les sites d'études, probablement parce que l'écoulement des cours d'eau est trop faible naturellement (Grenzbach) ou artificiellement (Hirschbach et Zweribach, voir chapitre 3.2), de sorte que la capacité de transport du bois mort par l'eau est réduite. Une autre raison pourrait être la chute des arbres encore trop récente pour pouvoir avoir donné lieu à des accumulations de grandes masses de bois mort. Une seule accumulation quasi similaire à la description ci-dessus a pu être observée dans le Zweribach (voir figure 23).

Quelques projets réalisés en Amérique du Nord dans des forêts vierges ont traité ce sujet en analysant la résistance temporelle des barrages de gros bois mort (KAIL 2003). On peut en conclure qu'une grande partie de barrages de bois mort reste sur place très longtemps : plusieurs décennies (BILBY 1981, KELLER & SWANSON 1979, KELLER & TALLY 1979, SWANSON ET AL. 1984). La dynamique naturelle de bois mort dans les cours d'eau sur plusieurs décennies consiste par conséquent en un écosystème instable qui fournit des endroits temporairement dégagés de bois mort et d'autres endroits temporairement munis des grandes accumulations de bois mort.

Des notations historiques effectuées en Amérique du Nord avant l'arrivée des premiers colons européens décrivent quelles masses de bois mort dans des cours d'eau en forêt vierge ont été possibles. Il est écrit que le cours

d'eau a été couvert par des arbres tombés "*too numerous to count*" (trop nombreux pour pouvoir les compter) et que quelques parties du lit ont été bouchées par le bois mort charrié par l'écoulement (Reports of the Secretary of War (1875), cité in SEDELL AND FROGGATT (1984), p. 1830). Cela confirme premièrement ce qui a été expliqué ci-dessus, mais en outre cette description montre comment il est difficile de s'imaginer aujourd'hui, dans le contexte d'un paysage patrimonial, de quelle façon les cours d'eau traversant des forêts vierges ont été munis de bois mort.

Il est probable que la faune et peut-être aussi la flore se soient adaptées à cet écosystème, qui représente une interaction entre le cours d'eau, les forêts riveraines et les organismes concernés. Il est possible que les barrages de bois mort aient été par exemple importants comme refuge pour certaines espèces. Malheureusement il n'existe pas d'informations ou de projets concernant cette thématique en Europe.

Il est plausible qu'il existe encore aujourd'hui, dans les petits cours d'eau en forêt gérée, des espèces reliques, spécialisées à un tel écosystème comportant de grandes masses de bois mort dans les cours d'eau, malgré la quasi-absence de ce genre d'habitat. Souvent, les scientifiques sont confrontés à une énigme quand ils doivent déduire comment des espèces spécialisées ont pu survivre au cours des périodes pendant lesquelles leur habitat avait disparu. Pour une grande partie des coléoptères inféodés au bois mort et souvent incapable de dépasser une distance supérieur à 50 m, par exemple, les scientifiques n'ont pas encore pu vérifier comment ils ont pu survivre la période de défrichement, et pourtant, quelques individus de ces espèces sont toujours existants (BÜTLER 2006).

Pour le moment, il serait donc intéressant de connaître les différentes espèces qui sont dépendantes des grandes accumulations de bois mort afin de pouvoir mettre en place des mesures précises pour leur protection.

Dans ce contexte, on peut discuter de l'importance des réserves forestières intégrales. Les réserves forestières intégrales constituent pratiquement les seuls endroits où la recherche sur des thématiques liées à une dynamique naturelle, comme elle a été présente dans une forêt vierge, est encore possible. Il est pour l'instant encore trop tôt pour étudier des situations qui ressemblent à des situations de forêt vierge, les forêts protégées ressemblant encore trop à des forêts gérées : l'abandon des activités humaines est encore trop récent. Ceci a aussi pu être constaté dans ce projet. Mais pour l'avenir, elles sont la seule occasion d'observer des processus naturels et sans influences anthropiques. Le chablis représente un bon exemple : dans une forêt gérée, on ne laisserait jamais autant d'arbres tombés sur place. Par contre, la réserve forestière intégrale Zweribach donne l'occasion de poursuivre le développement du chablis dans les années suivantes. Les réserves forestières intégrales ont de plus une fonction importante pour la préservation de la biodiversité, parce qu'elles constituent pour la plupart des espèces reliques un dernière refuge. Surtout en ce qui concerne des espèces inféodées à une grande quantité de bois mort, des réserves forestières intégrales ou des réserves de bois mort sont indispensables (FVA 2008).

Il paraît donc peu logique de vouloir cesser le programme de mise en réserve, comme en a l'intention le land de Bade Wurtemberg. Il serait au contraire très profitable, d'une part de poursuivre ce programme et de classer de nouveaux sites en réserve pour améliorer la conservation et/ou le développement de la biodiversité, et d'autre part d'intensifier la recherche dans les réserves déjà existantes.

5.3 Recommandations

Le relevé du bois mort dans le site d'étude Seebach ne représente que des résultats pour la présence de bois mort dans un cours d'eau en forêt gérée en futaie jardinée. On peut tout de même supposer que les déficits qualitatifs et quantitatifs concernant la présence de bois mort dans les cours d'eau non protégés constatés lors de ce projet, existent aussi dans des cours d'eau entourés par des forêts gérées différemment, pour les raisons suivantes :

De manière générale, la quantité de bois mort dans les forêts gérées est plus basse que celle dans des forêts non exploitées, puisque dans ces dernières toute la biomasse ligneuse reste toujours au lieu de sa production (voir aussi chapitre 1.2). La comparaison avec les résultats de HENNE (2007), qui a étudié la relation entre la présence de bois mort et le mode d'exploitation, confirme cette hypothèse pour le bois mort situé dans des cours d'eau. Les quantités sont, à l'exception d'un seul cours d'eau, largement inférieures, indépendamment de la région, du type de cours d'eau et de la forêt riveraine, à celles présentes dans les cours d'eau en réserve forestière intégrale.

Ce manque de bois mort ne concerne pas seulement les cours d'eau en forêt mais aussi les cours d'eau hors forêt. En raison d'une ripisylve étroite, ou fréquemment absente, et des prélèvements des derniers bois morts restant, les cours d'eau hors forêt sont presque dépourvus de bois mort. Seuls des cours d'eau en forêt disposent encore de quantités de bois mort notables (FVA 2008). Dans beaucoup de cas, les forêts servent comme dernier refuge pour des espèces, dont l'habitat non forestier a disparu (BMELV 2000).

Le potentiel le plus important pour une augmentation de bois mort dans des cours d'eau se trouve donc en forêt. C'est en forêt qu'il est possible, avec un effort comparativement plutôt faible, d'atteindre des quantités élevées. Il serait par conséquent judicieux de viser une augmentation de bois mort en premier lieu dans des cours d'eau entourés de massifs forestiers, comme proposé également par HERING UND REICH (1997) et ECKERT ET AL. (1996).

5.3.1 Quelle quantité est envisageable?

On peut se poser la question de la quantité de bois mort nécessaire à un petit cours d'eau en forêt. Comme présenté dans le chapitre 1.1, la présence d'un grand nombre d'espèces dépend du bois mort. Pourtant, chaque espèce possède probablement des exigences spécifiques et pour cette raison il est difficile de répondre à la question de la quantité de bois mort souhaitable.

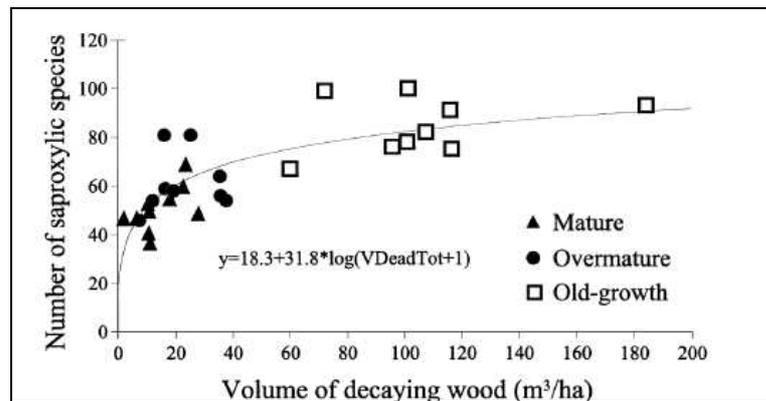
- **Une quantité maximale**

On pourrait supposer qu'une quantité la plus élevée possible pourrait éviter des pertes de la diversité en espèces dans et à proximité du cours d'eau.

Il faut noter par contre, comme déjà indiqué ci-dessus, qu'il existe certainement des espèces, notamment les espèces reliques, qui nécessitent des quantités de bois mort que l'on peut trouver seulement dans des forêts vierges. Pour la survie de ces espèces, l'existence des réserves forestières intégrales est indispensable.

En ce qui concerne les autres espèces, la devise du « autant que possible » n'est pas absolument nécessaire. Une enquête menée sur la présence des coléoptères inféodés au bois mort montre que l'augmentation du nombre d'espèces n'augmente plus que lentement à partir d'une certaine quantité de bois mort (voir figure 24).

Fig. 24 : Rapport entre le volume de bois mort et le nombre de coléoptères habitant le bois mort dans des forêts finlandaises



Source : Martikainen et al. (2000)

Si, par exemple, le volume de bois mort augmente de 3 % à 6 % par rapport au volume sur pied total, le nombre d'espèces de coléoptères double. Cependant, lors d'une augmentation de 12 % à 15 %, seulement quelques espèces nouvelles s'ajoutent au nombre total (MARTIKAINEN ET AL. 2000). La valeur charnière, à partir de laquelle le nombre d'espèces n'augmente plus que lentement, est d'environ 25 m³/ha (voir figure 24). Elle n'est cependant pas nécessairement transposable à tous les autres groupes d'espèces de l'écosystème du cours d'eau.

En outre, il faut mentionner que le nombre des individus augmente souvent seulement à partir d'un très grand volume de bois mort (MÜLLER 2005). Ce fait est important à considérer, une condition indispensable pour la survie d'une population locale étant un nombre d'individus suffisant.

Puisque la devise « autant que possible » n'est pas nécessaire et semble difficilement réalisable, il est probablement plus judicieux de mettre en place des valeurs seuil.

- **Valeurs seuil**

Il existe de telles valeurs par exemple pour quelques espèces associées au bois mort tel que le Pic tridactyle (*Picoides pubescens*) (BÜTLER & SCHLAEPFER 2004). Par contre, en ce qui concerne les espèces associées au bois mort dans et à proximité du cours d'eau, ce genre de valeur n'existe pas. De plus, la réalisation de la recherche afin d'obtenir des valeurs de seuil pour chaque espèce est difficile et chère.

Une possibilité peut être de se servir des quantités mesurées dans les réserves intégrales lors de ce projet afin de déterminer des valeurs de référence, valables pour les cours d'eau entourés d'un massif forestier semblables à ceux des sites d'études. Cependant, les sites d'études représentent d'une part plusieurs situations particulières telles que les cascades et les talus d'éboulis, d'autre part la quantité de bois mort dépend de différents facteurs tel que la forme de la vallée par exemple. Troisièmement, il est presque impossible d'obtenir des quantités aussi importantes de bois mort en forêt gérée : par exemple, tout bois mort issu d'un chablis est enlevé dans un délai relativement court. MATTHES (2006) suppose également que des valeurs de référence issues des forêts naturelles ne peuvent pas prévaloir pour des forêts gérées.

La détermination des valeurs de seuil n'est donc pas possible à l'heure actuelle. Il faudrait malgré tout augmenter la quantité de bois mort dans les cours d'eau et tenter d'éviter par tous les moyens une poursuite de la réduction de la quantité de bois mort dans les cours d'eau. Une réduction continue de bois mort pourrait avoir des conséquences catastrophiques pour les organismes associés au bois mort vivant dans et à proximité du cours d'eau.

Le développement de la présence de la salamandre commune (*Salamandra salamandra*) montre que déjà aujourd'hui de nombreuses espèces souffrent de l'impact des activités humaines. Ses populations sont fortement diminuées, localement même disparues, en raison de peuplements forestiers peu naturels et de ruisseaux de source dépourvus de bois mort (DBU 2008). Cet exemple montre bien que les espèces aquatiques sont souvent soumises à

plusieurs facteurs combinés rendant difficile leur survie. Le manque de bois mort ne constitue pas toujours le seul problème auquel sont confrontés les organismes dans l'écosystème du cours d'eau.

Afin d'améliorer les conditions pour les espèces inféodées au bois mort dans et à proximité du cours d'eau, il ne suffit pas de considérer seulement la quantité de bois mort mais aussi sa qualité. La présence des différents types d'éléments de bois mort est très importante pour les organismes concernés (voir chapitre 1.1.2). Un cours d'eau muni de bois mort d'un seul type, par exemple entièrement couvert de rémanents, ne favorise pas la présence de différentes espèces. Une diversité des différents types d'éléments de bois mort est donc souhaitable. Compte tenu du fait que les cours d'eau en forêt gérée sont pauvres en gros bois mort, comme le montrent les résultats du présent projet et du travail de HENNE (2007), il est conseillé d'augmenter surtout le bois mort de gros diamètre, notamment les arbres tombés.

5.3.2 Mesures pour l'amélioration de la présence de bois mort dans un cours d'eau

La simple désignation de réserves intégrales forestières par l'État ne suffit pas pour protéger les espèces menacées. Comme décrit dans la convention sur la biodiversité de la UICN (BMELV 2001), il est indispensable pour la préservation de la biodiversité que certains processus se passant dans des forêts naturelles, puissent également se passer partiellement dans des forêts gérées. Pour cette raison, il est important d'envisager l'amélioration de la présence de bois mort dans un cours d'eau entouré de tout genre de forêt gérée. Il existe plusieurs possibilités pour réalisation ceci.

La mesure la plus efficace est l'abandon de la gestion de la forêt riveraine sur une bande de 25 m de large des deux côtés du ruisseau. Au fil du temps, cette mesure permettrait le développement d'une présence naturelle en bois mort dans le cours d'eau et représente la meilleure méthode pour la protection du cours d'eau et de toute sa diversité en espèces. Mais la réalisation de cette mesure est freinée par certaines contraintes (voir chapitre suivant : aspects financiers).

Les résultats du travail de HENNE (2007) indiquent qu'un changement du mode d'exploitation des forêts riveraines influence la quantité de bois mort dans le cours d'eau. Un cours d'eau, bordé du même peuplement forestier, comporte cinq fois plus de bois mort dans les parties gérées extensivement que dans les sections gérées de manière intensive. Malheureusement, le sens des termes extensif et intensif n'est pas expliqué de façon plus détaillée, mais on peut conclure de manière générale que la réduction du nombre et de l'intensité des interventions sylvicoles pourrait constituer une autre mesure.

Une autre mesure est de laisser en place consciemment du bois mort, issu par exemple d'un événement naturel (vent, foudre) ou d'une intervention effectuée lors de la gestion régulière du peuplement (bois d'une coupe sanitaire, des rémanents). Cette mesure vise à éviter le « nettoyage » du terrain. Au cours d'une conversion d'un peuplement forestier fortement anthropisé bordant le ruisseau (peuplement dominé d'épicéas) à un peuplement forestier plus proche à l'état naturel (peuplement dominé de feuillus par exemple), l'augmentation de bois mort se réalise facilement en coupant quelques résineux, afin de favoriser les feuillus, et en laissant ces arbres coupés sur le terrain. Cependant, en réalisant cette mesure, il faut faire attention à garder une diversité des différents types d'éléments de bois mort. Une large couche de rémanents, qui peut avoir des conséquences négatives pour la faune, n'est pas envisageable par exemple.

La mesure la plus coûteuse est l'apport ciblé de bois mort dans le cours d'eau. Une action pourrait être la réalisation de coupes ayant pour but exclusivement l'amélioration de la présence de bois mort dans le cours d'eau. S'il s'agit par exemple d'un peuplement forestier jeune, il est aussi possible d'apporter du bois mort, par exemple un tronc d'arbre, issu d'une autre forêt. Cette action est réalisée souvent lors de mesures de renaturation d'un cours d'eau hors forêt (BOSCHI ET AL. 2003, GERHARD & REICH 2001). En forêt, cette mesure devrait être mise en place seulement si la réalisation des autres mesures n'est pas possible (HERING & REICH 1997).

5.4 Réalisation pratique des mesures proposées

L'augmentation de bois mort ne s'effectue pas partout sans problème. Il existe des contraintes influençant la réalisation des mesures d'amélioration de la présence de bois mort dans des cours d'eau. Ce chapitre représente brièvement et de manière générale ces raisons potentielles limitant la mise en œuvre des mesures proposées dans le chapitre précédent.

5.4.1 Cadre réglementaire

La législation sur l'eau en Bade Wurtemberg (WG BW 2005) ne règle pas explicitement le cas du bois mort dans un cours d'eau. Quelques paragraphes demandent indirectement de laisser le bois mort dans le cours d'eau, d'autres paragraphes imposent indirectement aux riverains la suppression du bois mort.

Le paragraphe 3, par exemple, envisage la préservation des cours d'eau naturels et proche de l'état naturel. Compte tenu du fait que le bois mort fait partie d'un cours d'eau naturel on devrait, d'après ce paragraphe, laisser le bois mort dans le cours d'eau.

Le paragraphe 47 par contre demande le nettoyage du lit et l'élimination des embâcles qui perturbent l'écoulement, dans les cas où le bien-être du public nécessite ces actions. Une suppression du bois mort n'est donc nécessaire que s'il présente un risque pour les populations. Cependant, ce paragraphe est souvent mal compris par les riverains, de telle sorte que le cours d'eau est nettoyé de tout bois mort. La législation sur la conservation de la nature en Bade Wurtemberg (NATSCHG BW 2006) demande plus directement, non seulement de laisser du bois mort, mais également d'assurer des quantités suffisantes de bois mort dans le cours d'eau (§ 1 et § 2) afin de garantir la préservation de la biodiversité.

Egalement en France, le cadre réglementaire ne favorise pas la préservation ni l'augmentation du bois mort dans les cours d'eau. Partant du principe que laisser du bois mort dans le cours d'eau contribue à la formation d'embâcles en aval, la législation française impose aux riverains d'entretenir les cours d'eau, et notamment d'enlever les embâcles. Tout propriétaire d'un droit de pêche est également tenu d'enlever le bois mort sur le cours d'eau dont il a la gestion. La législation française considère donc encore largement l'embâcle comme une entrave à l'écoulement naturel des eaux et un facteur aggravant les conséquences des crues (PIEGAY ET AL. 2005).

5.4.2 Les risques liés au bois mort

Malgré tous ses avantages, le bois mort peut être aussi un facteur de risque éventuel. Dans la partie suivante, ces risques et des mesures pour les limiter sont discutés brièvement.

La sécurité au travail

Dans le cas d'un abandon total de la gestion de la forêt riveraine du cours d'eau, la sécurité au travail ne constitue pas un problème parce que la forêt ne sera pas gérée.

Par contre, si la ripisylve ou les forêts de bord de berge sont entretenues, une quantité de bois mort élevée peut augmenter le risque d'un accident (MATTHES 2006). Surtout le bois mort sur pied et des branches mortes restant accrochés au houppier d'un arbre constituent des risques potentiels. Mais aussi de nombreux arbres tombés au sol rendent difficile le soin et l'exploitation du peuplement. Pour éviter des accidents, les forestier-bûcherons doivent redoubler de prudence et les instructions de travail doivent être adaptées à la situation (BÜTLER ET AL. 2006). Malgré tout, la sécurité de l'homme a priorité vis-à-vis de la préservation de bois mort.

Risque phytosanitaire

Dans les peuplements forestiers, composés majoritairement de feuillus, le risque phytosanitaire est plutôt faible. L'épicéa constitue pratiquement la seule essence qui peut être à l'origine d'un risque phytosanitaire, notamment d'une multiplication en masse du bostryche typographe (*Ips typographus*). Il faut noter que des épicéas desséchés ne présentent plus un risque (l'écorce d'un an est trop sèche pour le bostryche typographe). Si un danger de multiplication en masse des peuplements d'insectes existe, il sera judicieux de renoncer localement à l'augmentation de bois mort.

Risques liés aux embâcles de bois mort dans le cours d'eau

Le bois mort transporté par l'eau en aval peut obstruer et, en conséquence, détériorer des ouvrages tel que des ponts, des ouvrages de franchissement, des barrages ou des seuils. Afin d'éviter ces dégâts, des ouvrages de rétention destinés à piéger les bois provenant des secteurs amont lors des forts débits peuvent par exemple être mis en place afin de protéger les parties sensibles. Les infrastructures en forêt de moyenne montagne sont moins concernées par ce problème parce que le gros bois mort n'est pas souvent mis en mouvement. Il est tout de même conseillé de contrôler régulièrement les ouvrages de franchissement, surtout les buses, et de prélever le bois mort s'il bouche l'ouvrage. Dans ce contexte, l'auteur peut recommander le travail de GERHARD & REICH (2001) qui présente de façon très détaillée les risques liés au bois mort dans les cours d'eau hors forêt et des mesures pour limiter ces risques.

Bien que l'augmentation de bois mort dans le cours d'eau concerne en principe toutes les parties du cours d'eau, il existe tout de même des situations dans lesquelles elle n'est pas judicieuse. Dans le cas d'un chemin longeant le cours d'eau, par exemple, l'apport de grandes masses de bois devrait être évitée, puisque le bois dans le lit peut engendrer un plan d'eau élevé localement, ce qui peut à son tour endommager le chemin. Les mesures mises en place afin d'augmenter le bois mort dans le cours d'eau nécessitent donc une analyse préalable au cas par cas de la situation locale.

5.4.3 Le bois mort: entre intérêt écologique et besoin énergétique

De nos jours, l'effort pour un développement durable augmente continuellement. Dans ce contexte, la fonction énergétique du bois, une matière première renouvelable, gagne en importance. Les prix croissants du pétrole et du gaz aboutissent à une demande augmentée de bois de chauffage. Actuellement 12, 5 millions m³, représentant 14 % des masses de bois potentiellement disponibles en Allemagne (2004) sont utilisés pour les chaudières à bois privées (UTH 2006). De plus, la mise en service croissante de chaudières à bois alimentées avec des plaquettes, ainsi qu'un nombre augmentant de chaudières à bois alimentées aux pellets (granulés) – la consommation de pellets a augmenté de 427 % entre 2001 et 2006 (VDP & VHI 2006) – ont provoqué un besoin croissant en bois. VDP & VHI (2006) supposent que le niveau actuel élevé de la demande va encore augmenter. Des difficultés de fourniture apparaissent déjà aujourd'hui. Des représentants de la papeterie et des commerçants de bois de chauffage se plaignent des problèmes d'approvisionnement. Pour cette raison, les branches industrielles concernées par la compétition concurrentielle de bois réclament une augmentation d'approvisionnement actuelle de bois en Allemagne à l'aide de la mobilisation des résidus (VDP & VHI 2006).

Une mobilisation des résidus provoque évidemment des quantités de bois mort réduites non seulement dans la forêt même, mais aussi dans les cours d'eau en forêt.

5.4.4 Aspects financiers

Lorsque l'on parle d'une augmentation de bois mort, le premier réflexe est d'en percevoir la gêne que représente le fait de laisser mourir et se décomposer des bois qui auraient aussi pu être vendus. Les gestionnaires voient donc plutôt la valeur économique du bois mort (son coût, ou autrement dit : la perte économique liée à sa préservation) que l'intérêt écologique du bois mort.

D'après BÜTLER (2006), la perte financière est plutôt faible lorsque des arbres de mauvaise qualité sont choisis pour rester en forêt. Il existe même des cas dans lesquels la non-récolte de bois mort se manifeste de manière positive dans le bilan économique de l'entreprise forestière (FREHNER 2005, SCHIEGG 1998). Un travail détaillé, réalisé par PEYRON (2005), sur l'évaluation économique de la conservation du bois mort, souligne qu'il est difficile de conclure de façon générale sur l'impact économique du bois mort en forêt et que des analyses au cas par cas sont nécessaires. La réalisation de mesures modérées afin d'augmenter la quantité de bois mort n'est donc pas nécessairement associée à un inconvénient financier.

Cependant, il est plus ou moins certain que l'abandon total du peuplement forestier bordant le cours d'eau constitue une perte économique pour le gestionnaire. Dans le site d'étude du Seebach, par exemple, l'abandon concernerait 5 ha (zone tampon : 1000 m linéaires par 50 m de largeur) ce qui représente 10 % de la surface de la parcelle forestière privée. On peut supposer qu'un propriétaire, surtout privé, n'est probablement pas très enclin à

abandonner la gestion d'une si grande partie de sa forêt. Dans ce contexte, des indemnités financières, proposées par l'État par exemple, pourront inciter les gestionnaires à mettre en place des mesures afin d'améliorer la présence de bois mort dans des cours d'eau. La législation du Luxembourg par exemple favorise une conservation des arbres de gros diamètres (supérieur à 50 cm) en mettant à disposition un régime d'aides sous forme de primes uniques financières (20-48 €/m³) pour un arbre conservé (SERVICE CENTRAL DE LEGISLATION 2002). En Bade Wurtemberg, un tel instrument financier direct favorisant l'augmentation de bois mort n'existe pas. Il est seulement possible d'obtenir une indemnité financière si le propriétaire forestier désigne une parcelle d'une surface minimale de 100 ha comme réserve forestière intégrale (FVA 2008a). La création d'une réserve forestière intégrale provoque évidemment une augmentation de bois mort mais constitue en même temps une mesure drastique qui est plutôt rarement réalisée.

5.4.5 Perception du bois mort dans l'écosystème « cours d'eau »

La plupart des personnes considèrent un cours d'eau avec du bois mort comme étant à l'abandon et dégradé. Une enquête concernant la perception des cours d'eau a été effectuée auprès de 200 étudiants français. Celle-ci a montré combien le bois mort est un élément négativement connoté lorsqu'il se trouve dans un petit cours d'eau. Bien qu'ils soient perçus comme plus naturels, les cours d'eau disposant de bois mort apparaissent moins esthétiques et plus dangereux, ce qui implique qu'une intervention est davantage souhaitée pour améliorer leur état (PIEGAY ET AL. 2005).

On peut donc constater qu'il sera important de mettre en œuvre des programmes d'éducation et de sensibilisation pour changer cette perception négative du bois mort dans un cours d'eau. Les formations devront expliquer aux publics que le bois mort constitue un élément naturel dans l'écosystème, et ne représente pas nécessairement un risque ou une perte économique. De plus, l'objectif devrait être de communiquer aux gestionnaires et aux publics l'intérêt écologique important du bois mort pour l'écosystème « cours d'eau ».

6 Conclusion

Le bois mort constitue un élément essentiel des cours d'eau naturels. Les ruisseaux hors forêt étant presque dépourvus de bois mort, la présence de bois mort dans des cours d'eau en forêt attire de plus en plus l'attention des chercheurs.

Dans le cadre du présent projet, la présence de bois mort dans quatre petits cours d'eau en Forêt-Noire a été étudiée. L'objectif principal a été d'enrichir les connaissances actuelles sur la présence naturelle potentielle de bois mort dans les cours d'eau en forêt. Les résultats pourront servir d'orientation en ce qui concerne la quantité et la composition souhaitable en bois mort dans les ruisseaux, en fonction de la gestion actuelle de la ripisylve ou du peuplement forestier bordant le cours d'eau. En outre, l'importance du bois mort pour l'écosystème d'un petit cours d'eau a été analysée pour l'exemple des mousses. Afin de permettre la comparaison de la présence naturelle potentielle de bois mort avec la présence de bois mort dans un cours d'eau entouré d'un massif géré, trois cours d'eau en réserve forestière intégrale et un cours d'eau traversant une forêt gérée ont été choisis comme site d'étude. Les peuplements forestiers bordant le cours d'eau, la quantité (en volume et nombre d'éléments) de bois mort, le type de bois mort ainsi que sa distribution spatiale ont été les paramètres relevés sur le terrain.

L'évaluation des données relevées a montré une différence en fonction du site d'étude en cause (géré ou non géré) concernant la quantité ainsi que la qualité du bois mort dans le cours d'eau.

L'impact de l'abandon de la gestion se manifeste par un volume de bois mort dans les cours d'eau en réserves forestières intégrales une à trois fois plus élevé que dans le cours d'eau en forêt gérée. Les sites d'étude protégés comportent également un nombre élevé d'éléments de bois mort comparé au site géré. Les deux types d'éléments de bois mort dominants du site géré, souches et rémanents, ne sont pas d'un grand intérêt pour l'écologie du cours d'eau. Le manque constaté d'éléments de gros diamètre, notamment d'arbres tombés, dans le cours d'eau en forêt gérée influence par contre probablement de façon négative la diversité en organismes aquatiques.

Lors de ce projet il n'a pas été possible de clarifier le rôle du bois mort pour les mousses dans l'écosystème d'un petit cours d'eau. Il ne peut pas être confirmé ni démenti, par exemple, que la présence de bois mort proche du cours d'eau aboutit à une diversité et densité d'espèces de mousses plus élevée.

On peut supposer que la gestion des peuplements forestiers a une influence sur la différence de quantité de bois mort dans les forêts gérées et non exploitées de manière générale. Compte tenu du déficit quantitatif et qualitatif de bois mort dans des cours d'eau en forêt gérée et de ses conséquences négatives probables sur la diversité des espèces aquatiques inféodées au bois mort, différentes mesures ayant pour but l'amélioration de la présence de bois mort dans les cours d'eau en forêt ont pu être recommandées.

L'abandon de la gestion de la forêt riveraine sur une bande de 25 m de large des deux côtés du ruisseau est conseillé en priorité. Il s'agit en effet de la mesure la plus efficace afin d'améliorer la présence de bois mort dans le cours d'eau. Puisque la réalisation de cette mesure est freinée par quelques contraintes, comme par exemple une perte économique probable pour le propriétaire forestier, d'autres mesures comme l'exploitation extensive de la forêt riveraine sont proposées afin d'augmenter la quantité de bois mort dans les cours d'eau. Dans tous les cas, les gestionnaires devront mettre l'accent sur l'augmentation de la quantité d'arbres tombés dans les cours d'eau.

Pour la survie des espèces reliques, dépendant probablement de masses de bois mort énormes dont la réalisation en forêt gérée n'est pas pensable, il serait très profitable de poursuivre le programme de mise en réserve forestière intégrale et de classer de nouveaux sites en réserve.

Bien que l'importance du bois mort pour les cours d'eau soit de plus en plus reconnue, le nombre des études traitant de ce sujet augmentant en conséquence, il s'est avéré lors de ce projet que plusieurs axes de recherche méritent d'être approfondis.

Tout d'abord, il serait très intéressant de connaître les différentes espèces qui sont dépendantes des grandes accumulations de bois mort afin de pouvoir mettre en place des mesures adaptées pour leur protection. Ceci demanderait l'intensification de la recherche dans les réserves forestières intégrales.

L'intérêt écologique du bois mort pour les organismes aquatiques, tel que les macroinvertébrés et les poissons, est largement prouvé. La quantité, la dimension des éléments de bois mort et la distribution optimale de ceux-ci pour les organismes aquatiques ne sont par contre pas encore connues. Les valeurs seuil ne sont pas disponibles, bien que des valeurs d'orientation facilitent pour les gestionnaires l'amélioration de la présence de bois mort dans des cours d'eau en forêt gérée.

Il sera aussi judicieux de continuer les enquêtes concernant l'influence des rémanents résineux sur la zone hyporhéique car il s'agit d'un résidu très fréquent dans des peuplements résineux. Un impact négatif aurait donc probablement des conséquences sur la présence et la diversité des macroinvertébrés.

Le présent projet a démontré également que les recherches sur l'importance du bois mort pour les mousses dans, et à proximité du cours d'eau pourraient être approfondies en plusieurs domaines. Des études complémentaires devront se concentrer sur l'analyse de l'intérêt du bois mort dans le cours d'eau pour différentes espèces de mousses.

On peut donc constater globalement que la thématique « le bois mort dans les cours d'eau » nécessite encore d'autres recherches avant de pouvoir répondre à toutes les questions.

Les résultats de ce projet contribuent à combler la lacune concernant la présence potentielle naturelle de bois mort dans des petits cours d'eau entourés d'un massif forestier par rapport à la présence de bois mort dans des petits cours d'eau en forêt gérée.

Bibliographie

- ABBE (T.B.) & MONTGOMERY (D.R.),** 1996 — Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers. — *Regulated Rivers: Research and Management*, vol. 12, p. 201-221.
- ABS (C.), FISCHER (A.) & FALINSKI (J.B.),** 1999 — Vegetationsökologischer Vergleich von Naturwald und Wirtschaftswald, dargestellt am Beispiel des Tilio-Carpinetum im Waldgebiet von Bialowieza/Nordost-Polen. — *Forstw. Cbl.*, vol. 118, p. 181-196.
- ALBRECHT (L.),** 1990 — *Grundlagen, Ziele und Methodik der waldökologischen Forschung in Naturwaldreservaten.* — LMU München : Schriftenreihe Naturwaldreservate in Bayern, Bd.1, 221 p. (thèse de doctorat).
- ALBRECHT (L.),** 1991 — Die Bedeutung des Toten Holzes im Wald. — *Forstw.Cbl.*, vol. 110, p. 106-113.
- BECKER (A.),** 2002 — *Großversuch Totholz am Liechtensteiner Binnenkanal.* — Zusammenfassung des Vortrags von der Generalversammlung des Fischereivereins Lichtenstein. 9 p.
- BESCHTA (R.L.) & PLATTS (W.S.),** 1986 — Morphological features of small streams : significance and function. *Water Resource Bulletin*, vol. 22, n° 3, p. 369-379.
- BILBY (R. E.),** 1981 — Role of organic debris dams in regulating the export of dissolved and particulate matter from a forested watershed. — *Ecology*, vol. 62, p. 1234-1241.
- BILBY (R.E.) & BISSON (P.),** 1998 — Function and distribution of coarse woody debris. — Dans : *River ecology and management.* — NAIMAN (R.J.) & BILBY (R.E.) [éd.]. — New York — p. 324-338.
- BILBY (R.E.) & WARD (J.W.),** 1989 — Changes in characteristics and function of woody debris with increasing size of streams in Western Washington. — *Trans.Am.Fish.Soc.*, vol. 118, p. 368-378.
- BILBY (R.E.), & LIKENS (G.E.),** 1980 — Importance of organic debris dams in the structure and function of stream ecosystems. *Ecology*, vol. 61, p. 1107-1113.
- BMELV = BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT,** 2000 — Forstwirtschaft und biologische Vielfalt. — Bonn : BMELV — 34 p.
- BMELV,** 2001 — Die biologische Vielfalt des Waldes : ihre Erhaltung und nachhaltige Nutzung. — Bonn : BMELV — 32 p.
- BMELV,** 2004 — *Die zweite Bundeswaldinventur BWI².* — Berlin : BMELV — 87 p.
- BMU = BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT,** 2004 — Die Wasserrahmenrichtlinie-Neues Fundament für den Gewässerschutz in Europa, Umweltpolitik. — Berlin — 119 p.
- BOSCHI (C.), BERTILLER (R.), COCH (T.),** 2003 — *Die kleinen Fließgewässer.* — Zürich : vdf Hochschulverlag AG. — 119 p.
- BÖTTGER (K.) & PÖPPERL (R.),** 1990 — Limnische wirbellose als Bioindikatoren für die Bewertung von strukturparametern in Fließgewässern. — *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, vol. 32, p. 135-142.

- BRAGG (D.C.), KERSHNER (J.L.), ROBERTS (D.W.),** 2000 — *Modeling large woody debris recruitment for small streams of the central rocky mountains*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR- 55. — Fort Collins, CO : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. — 36 p.
- BÜCKING, (W.),** 2004 — Totholz in Waldschutzgebieten und Gewässerentwicklung im Wald. — *AFZ- der Wald*, vol. 20, p. 1078.
- BÜTLER (R.) & SCHLAEPFER (R.),** 2004 — Wieviel Totholz braucht der Wald. — *Schweiz. Z. Forstwes.*, vol. 155/2, p. 31-37.
- BÜTLER (R.),** 2006 — Les vieux arbres et le bois mort. — *La Forêt*, vol. 1, p. 10-13.
- BÜTLER (R.), LACHAT (T.), SCHLAEPFER (R.),** 2006 — Förderung von saproxylicischen Arten : Maßnahmen, Zielkonflikte und offene Fragen. — *Schweiz.Z.Forstwes.*, vol. 157, p.217-226
- CROOK (D.A.) & ROBERTSON (A.I.),** 1999 — Relationships between woody debris microhabitats and riverine fish : implications for lowland rivers. — *Marine and Freshwater Research*, vol. 50, p. 941-954.
- DAHLSTRÖM (N.) & NILSSON (C.),** 2006 — The dynamics of coarse woody debris in boreal Swedish forests are similar between stream channels and adjacent riparian forests. — *Can.J.For.Res.*, 2006, vol. 36, p. 1139-1148.
- DBU = DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT,** 2008 — Naturschutz und biologische Vielfalt. — Osnabrück : Steinbacher Druck GmbH — p. 84.
- DETSCH (R.), KÖLBEL (M.), SCHULZ (U.),** 1994 — Totholz- vielseitiger Lebensraum in naturnahen Wäldern. — *Allg.Forst.Zeitschrift*, vol. 49, p. 586 et p. 588-591.
- DIEZ (J.R.), ELOSEGI (A.), POZO (J.),** 2001— Woody Debris in North Iberian Streams: Influence of Geomorphology, Vegetation, and Management. — *Environmental Management*, vol. 28, n° 5, p. 687–698.
- DOLLOFF (C. A.), WARREN (M. L.),** 2003 — Fish relationship with large wood in small streams. — Dans : Gregory (S.), Boyer (K. L.), Gurnell (A. M.) — *The ecology and management of wood in world rivers*. — American Fisheries Society, Symposium 37, Bethesda, Maryland, p. 179-193.
- DOSTAL, (P.),** 2004 — *Klimarekonstruktion der Regio TriRhena mit Hilfe von direkten und indirekten Daten vor der Instrumentenbeobachtung*. — Freiburg i.B. : Albert-Ludwigs-Universität Freiburg ; Meteorologisches Institut. — 165 p. (thèse de doctorat).
- DUFOUR (S.), PIEGAY (H.), LANDON (N.), MOULIN (B.),** 2005 — Production, répartition et effets hydro-morphologiques du bois mort dans un petit cours d'eau français de moyenne montagne. — *Z.Geomorph.N.F.*, vol. 49/3, p. 391-409.
- DÜLL (R.),** 1997 — *Exkursionstagebuch der Moose*. — Bad Münstereifel : Verlag für Bryologie und Ökologie. — 280 p.
- ECKERT (S), SCHERLE (J), NESTMANN (F), HUG (M), SPÄTH (V.),** 1996 — Totholzanfall in Fließgewässern und dessen Auswirkungen auf die Gewässerstrukturentwicklung in Abhängigkeit von Baumarten, Waldgesellschaften, Alters- und Waldstruktur auf Ufer und Uferstrandstreifen. — Dans : *Veröffentlichungen Projekt angewandte Ökologie (PAÖ), Band 16*. — Karlsruhe : LFU, p. 255-284.
- FELD (C. K.), RÖDIGER (S.), SOMMERHÄUSER (M.) & FRIEDRICH (G.),** 2005 — *Limnologie aktuell, Band 11*. — Stuttgart : E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele et Obermiller). — 324 p.

- FELD (C.K.) & PUSCH (M.)**, 1998 — *Die Bedeutung von Totholzstrukturen für die makroinvertebraten-Taxocoenose in einem Flachlandfluß des Norddeutschen Tieflandes.* — Verhandlungen Westdeutscher Entomologentag 1998, p. 165-172.
- FORSCHUNGSGRUPPE FLIEßGEWÄSSER**, 1994 — *Regionale Bachtypen in Baden - Württemberg.* — Karlsruhe : LFU.— 268 p.
- FRASER (D.F.) & CERRI (R.D.)**, 1982 — Experimental Evaluation of Predator-Prey Relationships in a Patchy Environment: Consequences for Habitat Use Patterns in Minnows. — *Ecology*, vol. 63, n° 2, p. 307-313.
- FREHNER (M.)**, 2005 — *Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald.* — Bern : Bundesanstalt für Umwelt, Wald und Landschaft, 30 p.
- FVA** = FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN WÜRTTEMBERG, 1979 — „*Waldschutzgebiete*“ im Rahmen der Mitteilungen der FVA, der Bannwald „Flüh“. — Freiburg i.B. : FVA. — 101 p.
- FVA**, 2006 — *Anleitung zur Gewässerstrukturkartierung nach dem Verfahren Einzel-Strukturkartierung an Fließgewässern im Wald (Estruka-FVA) und Anlagen.*— Freiburg i.B. : FVA. — 15 p.
- FVA**, 2008 — *Erhalt und Entwicklung naturnaher Bachläufe im Wald im Rahmen der Waldwirtschaft. Schlussbericht zum DBU geförderten Projekt.* — Freiburg i.B. : FVA. — 261 p.
- FVA**, 2008a — *Naturschutzrechtliches Ökokonto, Beispiele für Maßnahmen im Wald.* — Freiburg i.B. : FVA. — 15 p.
- GAUER (J.) & ALDINGER (E.)** , 2005 — *Waldökologische Naturräume Deutschlands*, Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung (43). Freiburg i.B. : Gauer & Aldinger. — 324 p.
- GERHARD (M.) & REICH (M.)**, 2000 — Die Bedeutung des Totholzes als Initiale zur Struktur- und Habitatverbesserung eines begradigten Fließgewässers. — *Angewandte Landschaftsökologie*, vol. 37, p. 81-90.
- GERHARD (M.) & REICH (M.)**, 2001 — *Totholz in Fließgewässern, Empfehlungen zur Gewässerentwicklung.* — Mainz : GFG = Gemeinnützige Fortbildungsgesellschaft für Wasserwirtschaft und Landschaftsentwicklung mbH & WBW = Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH. — 85 p.
- GULDER (H.-J.)**, 2000 — Totholz gehört auch ins Gewässer. — *LWF aktuell*, vol. 27, chapitre 13.
- HARMON (M.E.), FRANKLIN (J.F.), SWANSON (F.J.), SOLLINS (P.), GREGORY (S.V.), LATTIN (J.D.), ANDERSON (N.H.), CLINE (S.P.), AUMEN (N.G.), SEDELL (J.R.), LIENKAEMPER (G.W.), CROMACK (J.K.), CUMMINS (K.W.)**, 1986 — Ecology of coarse woody debris in temperate Ecosystems. — Dans : *Advances in ecological research.*— MacFadayan (A.) Ford (E.D.) [éd.]. — London : Academic Press. — p. 133-302.
- HENNE (N.)**, 2007 — *Totholz in kleinen Fließgewässern, Vorkommen und Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung.* — Freiburg i.B. : Fachhochschule Weihenstephan. — 107 p. (mémoire de diplôme).
- HERING (D.) & REICH (M.)**, 1997 — Bedeutung von Totholz für Morphologie, Besiedlung und Renaturierung mitteleuropäischer Fließgewässer. — *Natur und Landschaft*, vol. 72, n° 9, p. 383-389.
- HERING (D.), KAIL (J.), ECKERT (S.), GERHARD (M.), MEYER (I.), MUTZ (M.), REICH (M.), WEISS (I.)**, 2000 — Coarse woody debris quantity and distribution in central european streams. — *International Review of Hydrobiology*, vol. 85, n° 1, p. 5-23.
- HOFFMANN (A.) & HERING (D.)**, 2000 — Wood associated macroinvertebrate fauna in central european streams. — *Internat. Rev. Hydrobiol.*, vol. 85, tome 1, p. 25-48

- HÜTTE (M.)**, 2000 — *Ökologie und Wasserbau*. — Berlin : Parey. — 208 p.
- HYLANDER (K.) & DYNESIUS (M.)**, 2006 — Causes of the large variation in bryophyte species richness and composition among boreal streamside forests. — *Journal of Vegetation Science*, vol. 17, p. 333-346.
- JONSSON (B.G.)**, 1997 — Riparian bryophyte vegetation in the Cascade mountain range, Northwest U.S.A.: Patterns at different spatial scales. — *Canadian Journal of Botany*, vol. 75, n^o. 5, p. 744-761.
- KAIL (J.) & GERHARD (M.)**, 2003 — Totholz in Fließgewässern – eine Begriffsbestimmung. — *Wasser und Boden*, vol. 55, n^{os} 1+2, p. 49-55.
- KAIL (J.)**, 2004 — *Geomorphic Effects of Large Wood in Streams and Rivers and Its Use in Stream Restoration : A Central European Perspective*. — Universität Duisburg Essen, Fachbereich Biologie und Geografie. — 152 p. (thèse de doctorat).
- KAIL (J.)**, 2005 — Totholz in Fließgewässern.— Accès : 18.06.2008 — <http://www.totholz.de/>
- KAIL (J.), HERING (D.), MUHAR (S.), GERHARD (M.), PREIS (S.)**, 2007 — The use of large wood in stream restoration: experiences from 50 projects in Germany and Austria. — *Journal of Applied Ecology*, vol. 44, p. 1145-1155.
- KÄRCHER (R.)**, 1997 — *Aufnahme von Waldstrukturen : Arbeitsanleitung für Waldschutzgebiete in Baden-Württemberg*. — Freiburg i.B. : FVA. — p. 62
- KELLER (E. A.), SWANSON (F. J.)**, 1979 — Effects of large organic material on channel form and fluvial processes. — *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 4, p. 361-380.
- KELLER (E. A.), TALLY (T.)**, 1979 — Effects of large organic debris on channel form and fluvial processes in the coastal redwood environment. — dans : Rhodes (D. D.), Williams (G. P.) — *Adjustments of the fluvial system*. — Kendall/Hunt, Dubuque, Iowa, p. 169-197.
- KELLER (F.) & RIEDEL (P.)**, 2000 — *Bannwald „Zweribach“*, Berichte Freiburger Forstliche Forschung (31). — Freiburg i.B. : FVA. — 63 p.
- KORPEL (S.)**, 1997 — Erkenntnisse über Struktur- und Entwicklungsdynamik und Entwicklungsprozesse der Urwälder in der Slowakei und ihre Anwendung in der naturnahen Waldwirtschaft. — *Beitr. Forstwirtsch. u. Landschaftsökologie*, vol. 31, p. 151-155.
- KRAMER (H.) & AKÇA (A.)**, 1995 — *Leitfaden der Waldmesslehre*. — Frankfurt am Main : Sauerländer Verlag. — 298 p.
- LAWA = LÄNDER ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER**, 2000 — *Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland*. — Berlin : Kulturbuch-Verlag. — 145. p
- LE LAY (Y.-F.) & PIEGAY (H.)**, 2007 — Le bois mort dans les paysages fluviaux français : éléments pour une gestion renouvelée. — *L'espace géographique* 2007-1, tome 1, p. 51-64.
- LEIBUNDGUT (H.)**, 1993 — *Europäische Urwälder*. — Stuttgart : Haupt. — 260 p.
- LFU = LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG**, 1998 — *Regionale Bachtypen in Baden-Württemberg : Arbeitsweisen und exemplarische Ergebnisse an Keuper- und Gneisbächen, Handbuch Wasser 2 (41)*— Karlsruhe : LFU. — 273 p.

- LORENZ (J.)**, 2005 — Schnellmethode der Totholz-Strukturkartierung. — *Naturschutz und Landschaftsplanung*, vol. 37, p. 342-349
- LUDEMANN (T.)**, 1992 — *Im Zweribach. Vom nacheiszeitlichen Urwald zum „Urwald von morgen“*. Beihefte zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg (63). — Karlsruhe : LFU. — 168 p.
- LUDEMANN (T.)**, 1995 — *Aspekte des Landschaftswandels im Mittleren Schwarzwald*. — Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz 16/2. — p. 251-273.
- LÜTH (M.)**, 2004 — Zeigerfunktion der Moose in mitteleuropäischen Wäldern. — Dans : *Materialien zum Vertiefungsblock 280a „Biologie, Ökologie und Zeigerfunktion der Moose in mitteleuropäischen Wäldern“*, — Freiburg i.B. : Fakultät für Forst und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i.B. — p. 1-3.
- LWALDG BW = LANDESWALDGESTZ BADEN-WÜRTTEMBERG**, 1995 — version de 31.08.1995, — dernière changement : 01.01.2006.
- MARTIKAINEN (P.), SIITONEN (J.), PUNTTILA (P.), KAILA (L.), RAUH (J.)**, 2000 — Species richness of Coleoptera in mature managed and old-growth boreal forests in southern Finland. — *Biol. Conserv.*, vol. 94, p 199-209.
- MARTIN (D.J.) & BENDA (L.E.)**, 2001— Patterns of instream wood recruitment and transport at the watershed scale. — *Trans.Am.Fish.Soc.*, vol. 130, p. 940-958.
- MATTHES (W.)**, 2006 — Totholz — Dans : *Materialien zum Modul Theroien und Konzepte im Naturschutzwald*. — Freiburg i.B. : Fakultät für Forst und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i.B. — 76 p.
- MAY (C.L.) & GRESSWELL (R.E.)**, 2003 — Large wood recruitment and redistribution in headwater streams in the southern Oregon Coast Range, U.S.A. — *Can.J.For.Res.*, vol. 33, p. 1349-1351.
- MEYER (P.)**, 1999 — Totholzuntersuchungen in nordwestdeutschen Naturwäldern : Methodik und erste Ergebnisse. — *Forstw. Cbl.*, vol. 118, p. 167-180.
- MONZYK (F.R.), KELSO (W.E.), RUTHERFORD (D.A.)**, 1997 — Characteristics of woody cover used by Brown Madtoms and Pirate Perch in Coastal Plain Streams. — *Trans.Am.Fish.Soc.*, vol. 126, p. 165-175.
- MÜHR, (B.)**, 2000 — Das Klima in Baden-Württemberg.— Accès: 29.05.2008 <http://www.klimadiagramme.de/Bawue/bawue.html>
- MÜLLER (J.)**, 2005 — *Waldstrukturen als Steuergröße für Artengemeinschaften in kollinen bis submontanen Buchenwäldern*. — TU München, Weihenstephan — 227 p. (thèse de doctorat).
- NAIMANN (R.J.), BALIAN (E.V.), BARTZ (K.K.), BILBY (R.E.), LATTERELLE (J.J.)**, 2002 — Dead Wood Dynamics in Stream Ecosystems. — Dans : *Proceedings of the Symposium on the Ecology and Management of Dead Wood in Western Forests. USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-181Pages*. — Shea, Patrick (J.), Laudenslayer(W.F.), Jr., Valentine (B.), Weatherspoon(C.P.), Lisle (T. E.) [éd.]. — Albany, Calif. : Pacific Southwest Research Station. — p. 23-48
- NATSCHG BW = NATURSCHUTZGESETZ BADEN-WÜRTTEMBERG**, 2006 — Gesetz zum Schutz der Natur, zur Pflege der Landschaft und über die Erholungsvorsorge in der freien Landschaft. — version du 13. decembre 2005, GBl. — 745 p.
- NEBEL (M.) & PHILIPPI (G.)**, 2000 — *Die Moose Baden-Württembergs Band 1*. — Stuttgart : Ulmer Verlag. — 512 p.

- NILSSON (S. G.), NIKLASSON (M.), HEDIN (J.), ARONSSON (G.), GUTOWSKI (J.M.), LINDER (P.), LJUNGBERG (H.), MIKUSINSKI (G.) & RANIUS (T.), 2002** — Densities of large living and dead trees in oldgrowth temperate and boreal forests. — *Forest Ecology and Management*, vol. 161, p. 189-204.
- PETER (A.), 2003** — Fische lieben Totholz. — *Wasser Energie Luft*, vol. 95, p. 358-359.
- PEYRON (J.-L.), 2005** — Evaluation économique de la conservation du bois mort. — Dans : Vallauri (D.), André (J.), Dodelin (B.), Eynard-Machet (R.), Rambaud (D.) [éd.], — *Bois mort et à cavités. Une clé pour les forêts vivantes*. — Paris : Lavoisier — p. 211-220.
- PIEGAY (H.), LE LAY (Y.-F.), MOULIN (B.), 2005** — Les risques liés aux embacles de bois dans les cours d'eau : état de connaissances et principes de gestion. — Dans : Vallauri (D.), André (J.), Dodelin (B.), Eynard-Machet (R.), Rambaud (D.) [éd.], — *Bois mort et à cavités. Une clé pour les forêts vivantes*. — Paris : Lavoisier — p. 193-202.
- RAUH (J.) & SCHMITT (M.), 1991** — Methodik und Ergebnisse der Totholzforchung in Naturwaldreservaten. — *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, vol. 110, p. 114-127.
- RAUH (J.), 1993** — *Faunistisch-ökologische Bewertung von Naturwaldreservaten anhand repräsentativer Tiergruppen*. — Schriftenreihe Naturwaldreservate in Bayern, vol. 2, Eching :IHW-Verlag.
- REEVES (G.H.), BURNETT (K.M.), MC GARRY (E.V.), 2003** — Sources of large wood in the main stem of a fourth-order watershed in coastal Oregon. — *Can.J.For.Res.*, vol. 33, p. 1363-1370.
- ROBINSON (E.G.) & BESCHTA (R.L.), 1990** — Characteristics of coarse woody debris for several coastal streams of Southeast Alaska, USA. — *Can.J.Fish.Aquat.Sci.*, vol. 47, p. 1684-1693.
- SAUBERER (N.), HOCHBICHLER (E.), MILASOWSKY (N.), PANAGOITIS (B.), SACHSLEHNER (L.), 2007** — *Nachhaltiges Waldbiomassenmanagement im Biosphärenpark Wienerwald*. — Wien : Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. — 150 p.
- SCHABER-SCHOOR (G.), 2007** — *Kleine Gewässer im Wald – Grundlagen für den Erhalt und die Entwicklung naturnaher Bachläufe in bewirtschafteten Wäldern*. — Culterra, vol. 49 — Freiburg i. B. — 247 p. (thèse de doctorat).
- SCHABER-SCHOOR (G.), 2008** — Wieviel Totholz braucht der Wald? — présentation lors d'une colloque de la FVA le 6 mai 2008.
- SCHERZINGER (W.), 1996** — *Naturschutz im Wald*. — Stuttgart : Eugen Ulmer. — 447 p.
- SCHIEGG (K.), 1998** — Totholz bringt Leben in den Wirtschaftswald. — *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, vol. 149, p 784-794.
- SCHIEGG PASINELLI (K.) & SUTER (W.), 2000** — *Lebensraum Totholz. Merkblatt für die Praxis* 33. — Birmensdorf : WSL. — 7 p.
- SCHUHMACHER (A.), 2000** — *Die Ökologie der Moose in mitteleuropäischen Buchenwäldern*. — Stuttgart : Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung. — 176 p.
- SCHWABE-BRAUN (A.), 1979** — Die Pflanzengesellschaften des Bannwaldes „Flüh“. — Dans : *Der Bannwald „Flüh“*. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs - und Forschungsanstalt Baden Württemberg [éd.], Freiburg i. B. — p.1-69.

- SEDELL (J.R.) & FROGGATT (J.L.)**, 1984 — Importance of streamside forests to large rivers : The isolation of the Willamette River, Oregon, U.S.A., from its floodplain by snagging and streamside forest removal. — *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, vol. 22, p. 1828-1834.
- SERVICE CENTRAL DE LEGISLATION**, 2002 — *Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg*, A-n° 36, Régimes d'aides pour la sauvegarde de la diversité biologique. — p. 583-630
- SIITONEN (J.), MARTIKAINEN (P.), PUNTILLA (P.), RAUH (J.)**, 2000 — Coarse woody debris and stand characteristics in mature managed and old-growth boreal mesic forests in southern Finland. — *Forest Ecology and Management*, vol.128, p. 211–225.
- SUANJAK (M.)**, 2008 — *Moosvegetation auf Totholz im Nationalpark Gesäuse*. — Gesäuse : Nationalpark Gesäuse. — 80 p.
- SWANSON (F. J.), BRYANT (M. D.), LIENKAEMPER (G. W.), SEDELL (J. R.)**, 1984 — *Organic debris in small streams of Wales Islan, Southeast Alaska*. — USDA General Technical Report, PNW-166, Portland, Oregon, 12.
- THEVENET (A.)**, 1998 — *Intérêt des débris ligneux grossiers pour les poissons dans les grandes rivières*. — L'université Claude Bernard – Lyon I. — 111 p. (thèse de doctorat).
- THIES (M.)**, 2006 — Vereinfachter Leitfaden zur Bestandesbeschreibung und Planung in den Übungen des Instituts für Waldwachstum, Dans : *Materialien zum Kernblock LB II (66b) „Steuerung des Waldwachstums“*, — Freiburg i.B. : Fakultät für Forst und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i.B. — p. 7-9.
- TOMIALOJC (L.) & WESELOWSKI (T.)**, 1994 — Die Stabilität der Vogelmgemeinschaft in einem Urwald der gemäßigten Zone: Ergebnisse einer 15jährigen Studie aus dem Nationalpark Bialowieza (Polen). — *Orn. Beob.*, vol, 91, p . 73-110.
- URABE (H.) & NAKANO (S.)**, 1998 — Contribution of woody debris to trout habitat modification in small streams in secondary deciduous forest, northern Japan. — *Ecological Research*, vol. 13, p. 335-345.
- URBANEK (B.), HINTERHOFER (M.), KUMMER (H.)**, 1999 — *Totholz in Fließgewässern- Literaturrecherche und Analyse ausgewählter Aspekte*. — Wien : Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserversorgung, Gewässergüte und Fischereiwirtschaft, Abteilung für Hydrologie, Fischereiwirtschaft und Aquakultur. Technical report.
- UTH (J.)**, 2006 — Unsere Bevölkerung – eine neue Nachfragemacht am Holzmarkt. — *AFZ, Der Wald*, vol. 17, p. 933-935.
- VALLAURI (D.) & PONCET (L.)**, 2002 — *Etat de la protection des forêts en France: indicateurs 2002*. —Paris : World Wildlife Fund, 100 p.
- VDP & VHI = VERBAND DEUTSCHER PAPIERFABRIK E.V. & VERBAND DER DEUTSCHEN HOLZWERKSTOFFINDUSTRIE E.V.**, 2006 — Nutzung des Rohstoffes Holz. — *AFZ, Der Wald*, vol. 22, p. 1208-1209.
- VON SIEMENS (M.), HANFLAND (S.), BINDER (W.), HERRMANN (M.), REHKLAU (W.)**, 2005 — *Totholz bringt Leben in Flüsse und Bäche*. — München : Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft et Landesfischereiverband Bayern e.V. [éd.]. — 47 p.
- WALDENSPUHL (T.)**, 1991 — *Waldbiotopkartierungsverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahrensvergleich unter besonderer Berücksichtigung der bei der Beurteilung des Naturschutzwertes verwendeten Indikatoren*. — Freiburg i.B. — Schriftenreihe des Instituts für Landespflege der Universität Freiburg, vol. 17, — 261 p. (thèse de doctorat).

- WALLACE (J.B.), WEBSTER (J.R.) & MEYER (J.L.),** 1995 — Influence of log additions on physical and biotic characteristics of a mountain stream. — *Can. J. of Fish. Aquat. Sci.*, vol. 52, p. 2120-2137.
- WG BW = WASSERGESETZ FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG,** 2005 — version de 20.01.2005 (3. von 3 Fassungen, GBl. 2005 p. 219, ber. p. 404) — dernière changement : 25.04.2007 (2. von 2 Änderungen, GBl. 2007 252 p.).
- WURM (K.),** 2004 — Makrozoobenthon und Gewässergüte von Waldbächen in Südwestdeutschland. — Dans : Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg [éd.]. — *Fließgewässer im Wald, Beiträge und Untersuchungsergebnisse zu ökologischen Funktionen, zur Gewässerstruktur und Gewässerfauna von Waldbächen*, — p. 75-93.
- ZIKA (U.) & PETER (A.),** 2002 — The introduction of woody debris into a channelized stream : effect on trout populations and habitat. — *RiverRes.Applic.*, vol. 18, p. 355-366.

Liste des contacts

Bernhard Baumann, forestier de la région Obersimonswald

Hauptstraße 15a

79183 Waldkirch

+ 49 7681/4938241

forstrevier-obersimonswald@gmx.de

Ralph Kärcher, chargé de projet « réserve forestière intégrale » à la FVA

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Wonnhalde 4

79100 Freiburg

+ 49 761/4018213

Ralph.Kaercher@forst.bwl.de

Martin Nebel, expert sur le thème des mousses

Staatliches Museum für naturkunde Stuttgart

Schloß Rosenstein, Gewinn 1

70191 Stuttgart

+49 711/8936208

mnebel@gmx.de

Regina Ostermann, conseillère en écologie forestière, spécialiste de la végétation forestière

Planungsbüro für Wald- und Landschaftsökologie

Rheinstraße 36

77974 Meissenheim

+ 49 782/4661381

regina.ostermann@freenet.de

Schaber-Schoor, chargé de projet « l'eau et forêt » à la FVA

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Günterstalstr. 61

79100 Freiburg

+ 49 761/4018167

Gerhard.Schaber-Schoor@forst.bwl.de

Karl Wurm, expert sur la qualité d'eau

Gewässerökologisches Labor

Tulpenstraße 4

72181 Starzach

+ 49 7483/912179

glw.k.wurm@t-online.de

Annexes

Table des Annexes

- Annexe I : Tableaux des espèces rigoureusement xylophages et des espèces probablement xylophages
- Annexe II : Tableau résumant les aspects positifs et négatifs des sites d'études potentiels, avant et après l'inspection du terrain
- Annexe III : Fiche du terrain pour la description verbale du peuplement forestier
- Annexe IV : Définition du terme bois mort
- Annexe V : Fiche de relevé de bois mort
- Annexe VI : Clé de cartographie d'éléments de bois mort
- Annexe VII : Graphique sur les différents stades de décomposition
- Annexe VIII : Liste des questions pour l'entretien avec M. Nebel
- Annexe IV : Catalogue des questions pour les observations sur le terrain des mousses
- Annexe X : Répartition de bois mort dans les différentes zones
- Annexe XI : La zone de chablis dans le site d'étude « Zweribach »

Annexe I : Tableaux des espèces rigoureusement xylophages et des espèces probablement xylophages (HOFFMANN & HERING 2000)

Table 3. Central European aquatic macroinvertebrate species with obligate xylophagy. Column "habitat": a = aquatic species; r = riparian species occurring in wood in terrestrial environments and also found in aquatic habitats. For species listed data on gut content analyses or laboratory experiments were available, or xylophagy is known from a large number of literature references.

species	order	family	habitat	source of data	references
<i>Lyse phaeopa</i> STEPHENS	Trichoptera	Psychoomyiidae	a	rearing	MOOG 1995, WIERG-LARSEN 1995, SPANHOFF <i>et al.</i> 2000
<i>Lyse reducta</i> HAGEN	Trichoptera	Psychoomyiidae	a	gut content	CHERGUI and PATTEE 1991, Wierg-LARSEN 1995, SPANHOFF <i>et al.</i> , 2000, WARMEKE and HERING 2000
<i>Macronychus quadrinervulatus</i> MULLER	Coleoptera	Elmintiidae	a	field observation?	STEFFAN 1979, MOOG 1995
<i>Potamophilus acuminatus</i> F.	Coleoptera	Elmintiidae	a	field observation?	STEFFAN 1979, MOOG 1995
<i>Brillia flavifrons</i> JOHANNSEN	Diptera	Chironomidae	a	?	WIEDERHOLM 1983
<i>Brillia modesta</i> (MEIGEN)	Diptera	Chironomidae	a	field observation	CRANSTON 1982
<i>Glyptotendipes glaucus</i> (MEIGEN)	Diptera	Chironomidae	a	field observation	BURTT 1940, WIEDERHOLM 1983
<i>Glyptotendipes gripekoveni</i> (KIEFFER)	Diptera	Chironomidae	a	field observation	CRANSTON 1982, WIEDERHOLM 1983
<i>Glyptotendipes pallens</i> (MEIGEN)	Diptera	Chironomidae	a	?	MOOG 1995, WIEDERHOLM 1983
<i>Stenochironomus gibbus</i> (F.)	Diptera	Chironomidae	a	?	MOOG 1995, WIEDERHOLM 1983
<i>Symposiocladius lignicola</i> (KIEFFER)	Diptera	Chironomidae	a	gut content	WIEDERHOLM 1983, ANDERSON 1989, CRANSTON 1982, WARMEKE and HERING 2000
<i>Lipsothrix escuillata</i> (EDWARDS)	Diptera	Limoniidae	r	gut content	WARMEKE and HERING 2000
<i>Lipsothrix errans</i> (WALKER)	Diptera	Limoniidae	r	gut content	WARMEKE and HERING 2000
<i>Lipsothrix nobilis</i> (LOEW)	Diptera	Limoniidae	r	gut content	WARMEKE and HERING 2000
<i>Lipsothrix remota</i> (WALKER)	Diptera	Limoniidae	r	gut content	WARMEKE and HERING 2000

Table 4. Central European aquatic macroinvertebrate species which are probably xylophagous. Column "habitat": a = aquatic species; r = riparian species occurring in wood in terrestrial environments and also found in aquatic habitats.

species	order	family	habitat	source of data	references
<i>Bithynia tentaculata</i> (L.)	Gastropoda	Bithyniidae	a	field observation	own data
<i>Viviparus viviparus</i> (L.)	Gastropoda	Viviparidae	a	field observation	FELD and PUSCH in press, own data
<i>Chaetogammarus ischnus</i> STEBBING	Amphipoda	Gammaridae	a	?	MOOG 1995
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i> EICHW.	Amphipoda	Gammaridae	a	?	MOOG 1995, SCHMEDITJE and COLLING 1996
<i>Dikerogammarus villosus</i> SOW.	Amphipoda	Gammaridae	a	?	MOOG 1995, SCHMEDITJE and COLLING 1996
<i>Gammarus fossarum</i> (KOCH)	Amphipoda	Gammaridae	a	?	MOOG 1995, SCHMEDITJE and COLLING 1996
<i>Gammarus lacustris</i> SARS	Amphipoda	Gammaridae	a	?	MOOG 1995, SCHMEDITJE and COLLING 1996
<i>Gammarus pulex</i> (L.)	Amphipoda	Gammaridae	a	?	MOOG 1995, SCHMEDITJE and COLLING 1996
<i>Gammarus roeselii</i> (GERVAIS)	Amphipoda	Gammaridae	a	field observation	own data, MOOG 1995, SCHMEDITJE and COLLING 1996
<i>Capnia bifrons</i> (NEWMAN)	Plecoptera	Capniidae	a	field observation	own data
<i>Nemoura cinerea</i> RETZIUS	Plecoptera	Nemouridae	a	field observation	own data
<i>Crunoecia kempnyi</i> MORTON	Trichoptera	Lepidostomatidae	a	?	MOOG 1995
<i>Adicella reducta</i> MACLACHLAN	Trichoptera	Leptoceridae	a	field observation	DITTMAR 1955, own data
<i>Anabolia laevis</i> ZETTERSTEDT	Trichoptera	Limnephilidae	a	field observation	KRAWANY 1933
<i>Hydatophylax infumatus</i> MCLACHLAN	Trichoptera	Limnephilidae	a	field observation	WALLACE 1991
<i>Stenelmis canaliculata</i> (GYLLENHAL)	Coleoptera	Elminthidae	a	field observation ?	STEFFAN 1979, MOOG 1995
<i>Atherix ibis ibis</i> (F.)	Diptera	Athericidae	a	?	SCHMEDITJE and COLLING 1996
<i>Atherix ibisia marginata</i> (F.)	Diptera	Athericidae	a	?	SCHMEDITJE and COLLING 1996
<i>Brillia longifurca</i> KIEFFER	Diptera	Chironomidae	a	field observation	CRANSTON 1982
<i>Metriocnemus hygropetricus</i> (KIEFFER)	Diptera	Chironomidae	a	field observation	CRANSTON 1982
<i>Microspectra notescens</i> (WALKER)	Diptera	Chironomidae	a	field observation	CRANSTON 1982
<i>Polypedilum pedestre</i> (MEIGEN)	Diptera	Chironomidae	a	field observation	CRANSTON 1982
<i>Austrolimnophila ochracea</i> (MEIGEN)	Diptera	Limoniidae	r	field observation	BRINEMANN 1991
<i>Dictenidia bimaculata</i> (L.)	Diptera	Limoniidae	r	field observation	BRINEMANN 1991
<i>Epiphragma ocellare</i> (L.)	Diptera	Limoniidae	r	field observation	BRINEMANN 1991, NOLL 1985
<i>Limonia macrostigma</i> (SCHUMMEL)	Diptera	Limoniidae	r	field observation	BRINEMANN 1991, NOLL 1985
<i>Limonia nubeculosa</i> MEIGEN	Diptera	Limoniidae	r	field observation	BRINEMANN 1991, DITTMAR 1955
<i>Limonia trimaculata</i> MEIGEN	Diptera	Limoniidae	r	field observation	DITTMAR 1955
<i>Neolimonia dumetorum</i> (MEIGEN)	Diptera	Limoniidae	r	field observation	BRINEMANN 1991
<i>Nephrotoma quadrifaria</i> (MEIGEN)	Diptera	Limoniidae	r	field observation	BRINEMANN 1991
<i>Ormosia haemorrhoidalis</i> ZETTERSTEDT	Diptera	Limoniidae	r	field observation	DITTMAR 1955
<i>Phylidorea ferruginea</i> (MEIGEN)	Diptera	Limoniidae	r	field observation	BRINEMANN 1991
<i>Rhipidia duplicata</i> (DOANE)	Diptera	Limoniidae	r	field observation	BRINEMANN 1991
<i>Rhypholophus varius</i> (WIEDEMANN)	Diptera	Limoniidae	r	field observation	BRINEMANN 1991
<i>Tipula fascipennis</i> MEIGEN	Diptera	Tipulidae	r	field observation	DITTMAR 1955
<i>Tipula flavolineata</i> MEIGEN	Diptera	Tipulidae	r	field observation	BRINEMANN 1991
<i>Tipula irrorata</i> MACQUART	Diptera	Tipulidae	r	field observation	BRINEMANN 1991
<i>Tipula oleracea</i> (L.)	Diptera	Tipulidae	r	?	SCHMEDITJE and COLLING 1996
<i>Tipula signata</i> STAEGER	Diptera	Tipulidae	r	field observation	BRINEMANN 1991
<i>Tipula staegeri</i> NIELSEN	Diptera	Tipulidae	r	field observation	BRINEMANN 1991, DITTMAR 1955
<i>Tipula vittata</i> MEIGEN	Diptera	Tipulidae	r	field observation	DITTMAR 1955

(Source : Hoffmann & Hering 2000)

Annexe 1a : Tableaux des espèces probablement xylophages

Annexe II : Tableau résumant les aspects positifs et négatifs des sites d'études potentiels, avant et après l'inspection du terrain

Arguments pour/contre une sélection de ruisseau pour l'étude				
	avant l'inspection		après l'inspection	
	Pour	Contre	Pour	Contre
Réserve forestière intégrale <i>cours d'eau potentiel</i>				
Schmalegger Tobel <i>Feuertobelbach</i> <i>Küblerbach</i>	élargissement de surface	régulièrement éclaircie faible de la ripisylve	<u>Feuertobelbach</u> peuplement correspond au peuplement caractéristique de la station	des seuils artificiels constants le long du cours d'eau un chemin consolidé
	preuve ancienne de bois mort	un des deux ruisseaux avec des seuils artificiels constants	<u>Küblerbach</u>	présence de bois mort issu de la gestion
	cours d'eau en majorité à l'état naturel	peu d'information concernant la gestion passée	lit naturel du cours d'eau	jeune peuplement, similaire à une forêt gérée peuplement loin de l'état naturel
Zweribach <i>Zweribach</i> <i>Hirschbach</i>	beaucoup d'informations précises	prélèvement d'eau sur le plateau --> pas d'écoulement naturel	peuplement proche de l'état naturel	<u>Zweribach</u> :écoulement altéré à cause du barrage
	listes de champignons de 1975 et 1986	des chemins le long du cours d'eau	dynamique naturelle de la forêt	<u>Hirschbach</u> : peuplement souvent jeune
	quantité de bois mort importante	présence des parties non boisées le long du cours d'eau	lit très largement intact	
Stürmesloch <i>Gütersbächle</i>		50 % du peuplement : l'épicéa		ancienne piste de débarcadage proche du cours d'eau
	le long du ruisseau: <i>Luzulo-Fagetum</i>	peu d'information concernant la présence de bois mort auparavant ne déclaré qu' en 1994	dynamique naturelle de la forêt	cours d'eau périodiquement sec

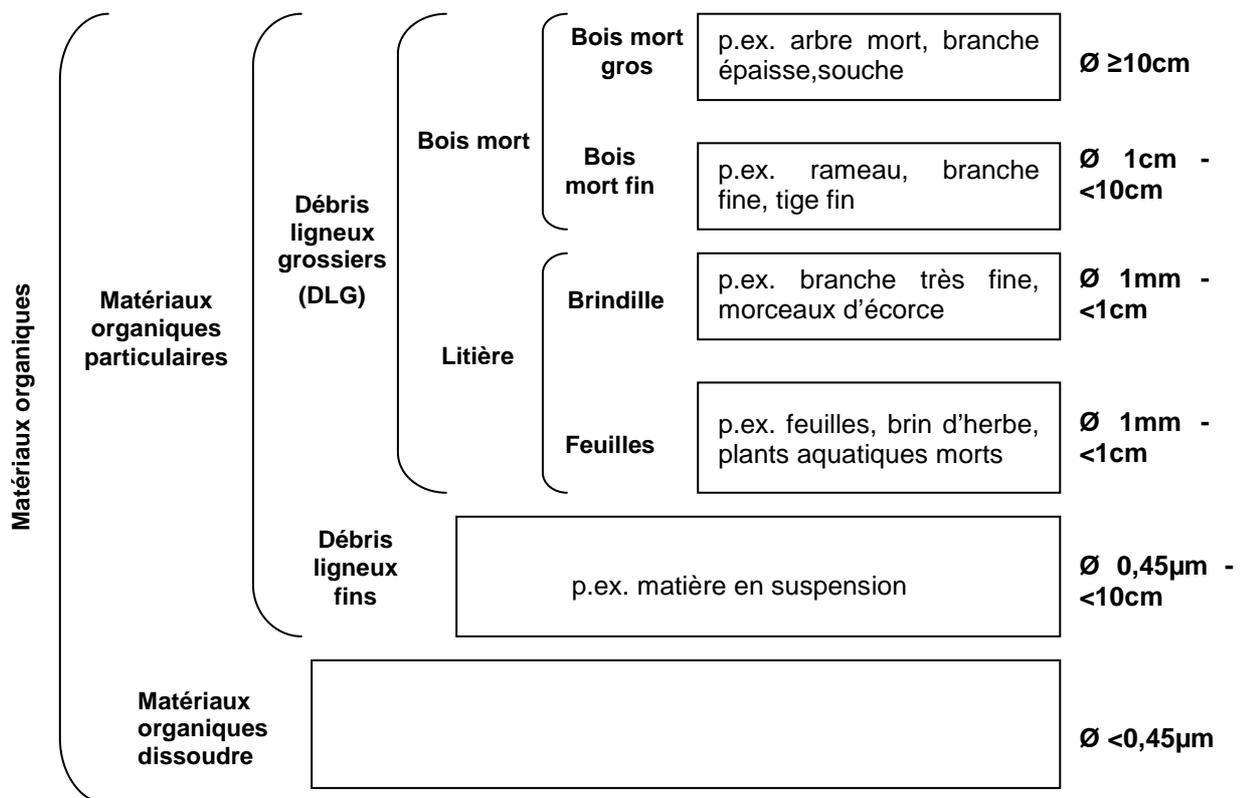
		Arguments pour/contre une sélection de ruisseau pour l'étude			
		avant l'inspection		après l'inspection	
		Pour	Contre	Pour	Contre
Réserve forestière intégrale					
	<i>cours d'eau potentiels</i>				
Flüh					
	<i>Schneckenbach</i>			<i>Schneckenbach</i>	peuplement loin de l'état naturel, partiellement en taillis
	<i>Grenzbach</i>	listes de champignons de 1976 et 1995	peuplement hétérogène: - proche de l'état naturel à boisé avec épicéas - jeunes à vieux	<i>Grenzbach</i>	grande partie du ruisseau rectifiée
				peuplement proche de l'état naturel	peuplement pas très âgé, pas de caractère de forêt vierge visible
				l'écoulement naturel	
Haldenwald		quantité de bois mort importante	surface de la réserve très petite --> cours d'eau très court		plutôt un marais qu'un cours d'eau
	<i>Kötach</i>	autre type de cours d'eau (pas siliceux comme les autres)	ne déclaré qu'en 2004		cours d'eau rectifié

Annexe III : Fiche du terrain pour la description du peuplement forestier

Fiche de relevé "description verbale du peuplement"	
date	point de GPS
ruisseau	nom du tronçon
Description verbale du peuplement (Droite+Gauche) ou Gauche	
<p>Degré fermeture: compact, fermé, entrouvert, ouvert, espacé, clairié</p> <p>Formule Essences :</p> <p>Classe de Diam : Semis, Fourré, Gaulis, perchis, petits/moyens/gros/vieux bois</p> <p>Type de mélange : pied à pied, par bouquets, par parquet, autre</p> <p>Structure: monoétage, deux étages distincts, étagé <input type="checkbox"/> irrégulier</p> <p>Régénération (% couvert)</p> <p>Régénération (essences)</p> <p>Remarque</p>	<p>Droite</p> <p>Degré fermeture: compact, fermé, entrouvert, ouvert, espacé, clairié</p> <p>Formule Essences :</p> <p>Classe de Diam : Semis, Fourré, Gaulis, perchis, petits/moyens/gros/vieux bois</p> <p>Type de mélange : pied à pied, par bouquets, par parquet, autre</p> <p>Structure: monoétage, deux étages distincts, étagé <input type="checkbox"/> irrégulier</p> <p>Régénération (% couvert)</p> <p>Régénération (essences)</p> <p>Remarque</p>
Topographie/Structure du ruisseau	
Largeur (m)	Pente Gauche
Type de vallée : <input type="checkbox"/> encaissée en V <input type="checkbox"/> encaissée avec semelle d'érosion <input type="checkbox"/> à fond large en U.	Droite

Annexe IV : Définition du terme bois mort

(KAIL & GERHARD 2003, modifié et traduit par Anke Hellbach)



Annexe V : Fiche de relevé de bois mort

Fiche de relevé du débris ligneux grossier

nom du cours d'eau: _____ point de GPS: _____ date: _____
 nom du compartiment: _____ nom du tronçon: _____ page: _____

1 N°	2 élément de bois mort	3 dimension		4 Ø (m)	5 berge gauche			6 localisation (%)			7 zone 2	8 berge droite		9 classe de dé-composition	10 remarque	11 N° photo
		longueur (m)			zone 3	zone 1	zone 2	zone 3	zone 3							
1	A 1.1	4,5		0,35	-	-	-	-	-	30	70	3	sur frontière	-		
2	C3	4,5		0,3	-	100	-	-	-	-	60	-		1		
2	C3	1		0,1	-	-	-	-	-	-	-	-		1		
2														1		
3																
4				0,1	100	-	-	-	-	-	-	2		-		
5	A 1.1	2		0,6	-	-	-	-	-	-	100	1	décroissance forte	-		
												-	sur limite	-		

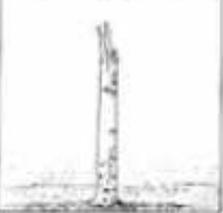
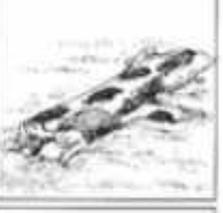
Annotations:

- Sp. 1: Numérotation continu
- Sp. 2: code d'élément d'après la clé de cartographie
- Sp. 3: longueur d'élément unique, longueur des trois arêtes
- Sp. 4: diamètre moyen d'élément
- Sp. 5-9: selon la zone: le pourcentage du volume total par zone, zone 3 est divisée en berge droite et gauche
- Sp. 9: la classe de décomposition est notée pour les éléments dans la zone 3
- Sp. 10: espace pour noter des particularités, le pourcentage d'air des accumulations
- Sp. 11: numéro de la photo

Annexe VI : Clé de cartographie d'éléments de bois mort

L'élément unique	A
L'élément tombé.....	A 1
L'arbre tombé.....	A 1. 1
La branche tombée.....	A 1. 2
Le bois mort debout.....	A 2
L'arbre entier.....	A 2.1
Le volis... ..	A 2.2
L'élément parallèle à l'écoulement.....	A 3
Le piègeur.....	A 4
Le piègeur avec accumulation	B
Le piègeur avec une petite accumulation.....	B 1
Le piègeur avec une grande accumulation.....	B 2
L'accumulation	C
L'accumulation des feuilles.....	C 1
L'accumulation d'éléments intermédiaires.....	C 2
L'accumulation de bois mort grossier.....	C 3
Les résidus	D
Le bois d'une coupe sanitaire.....	D 1
Le bois brisé.....	D 2
Les rémanents.....	D 3
La souche.....	D 4
Divers	E

Annexe VII : Les différents stades de décomposition de bois mort

Typ d'élément	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4
Arbre entier				
Volis				
Arbre tombé				
Pièce d'un arbre, couchées				
Bois mort fin				

Stade 1 écorce et branches encore au tronc, nécrosé pendant les 2 dernières années

Stade 2 l'écorce se décompose ou est absente, le bois est encore assez dur, pourriture de coeur inférieure à 1/3 du diamètre

Stade 3 l'aubier est mou, le duramen partiellement dur, pourriture de coeur supérieur à 1/3 du diamètre

Stade 4 l'amollissement du bois continu, en marchant s'écroulant, contours vagues

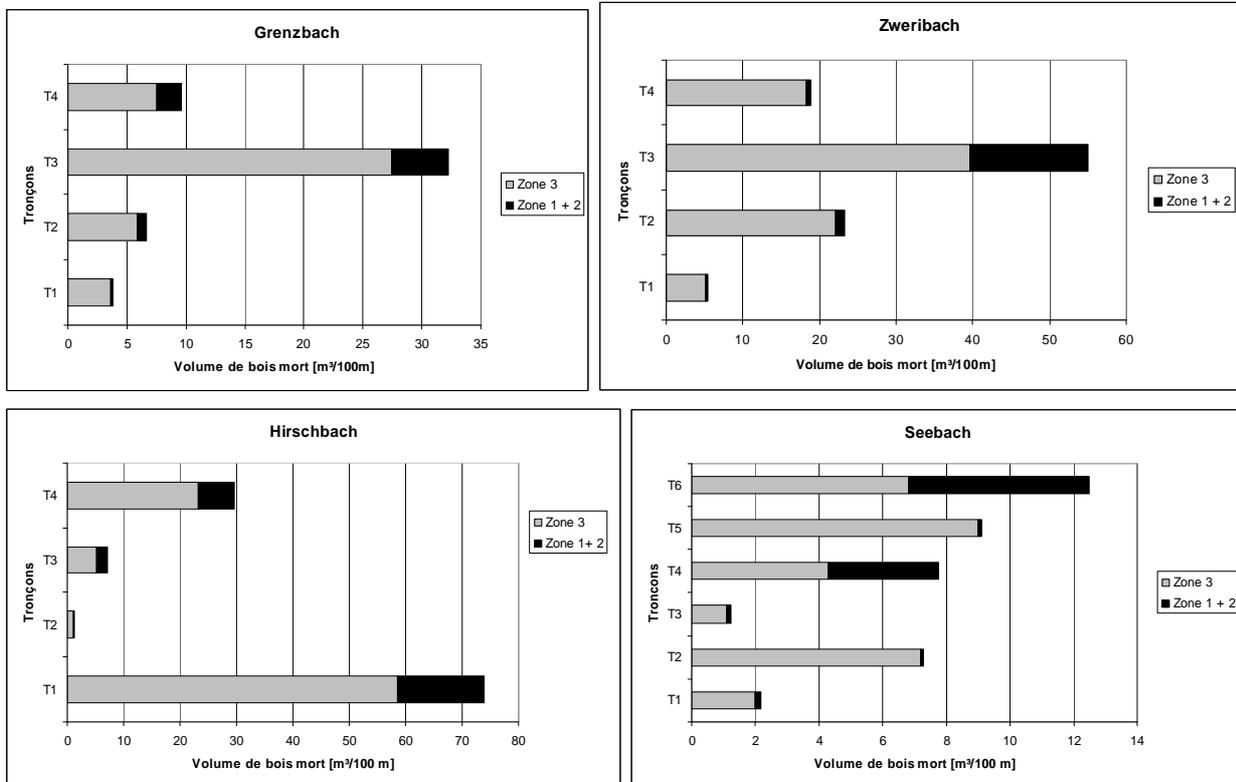
Annexe VIII : Liste complète des questions posées lors d'entretien avec M. Nebel

- Combien des différentes espèces existent-ils en Bade-Wurtemberg?
- Est-ce qu'il existe une liste des espèces inféodée au bois mort ?
- Quel pourcentage d'espèces de mousses est inféodé au bois mort ?
- Est-ce que le pourcentage des espèces qui sont plus au moins indépendantes du type de substrat, tel que les espèces qui colonisent par exemple le bois mort, le sol aussi bien que les roches, est très important ?
- Est-ce que les ubiquistes sont totalement indépendants du substrat ?
- Il existe plusieurs espèces qui peuvent coloniser le sol, les roches et le bois mort : est-ce qu'ils s'agit des ubiquistes ?
- Est-ce qu'il existe beaucoup des espèces utilisant le sol comme substrat ?
- Comment est-ce qu'il se passe la colonisation des roches par les mousses ?
- De quelle manière est-ce que les mousses exploitent le bois mort ?
- Est- ce qu'il existe une différence entre les essences, les résineuse ou feuillus pour la colonisation ?
- Est-ce qu'on peut parler des différents individus et si oui, comment on peut le savoir d'ou ils commencent et d'où ils finissent?
- Est- ce que le stade de décomposition influence la colonisation par les mousses ?
- Est-ce qu'il est vrai que le bois mort frais, de stade 1, n'est pas colonisé par les mousses ?
- Principalement vous avez dit que le bois mort est toujours coloniser par des mousses. Quand est-ce que le bois mort n'est pas colonisé par des mousses ?
- Le bois mort passe plusieurs stades de décomposition et constitue pour cette raison non seulement un substrat mais plusieurs substrats. Est-ce qu'on peut affirmer de manière général que le bois mort entraîne une diversité en espèces plus grands que des roches ?
- Est-ce que le diamètre du bois mort est un facteur déterminant pour la colonisation par des mousses ?
- Quelles espèces colonisent exclusivement du bois mort d'un grand diamètre ?
- Est-ce qu'il faut un diamètre minimal de bois mort pour la colonisation ?
- Est-ce que la répartition spatiale du substrat joue un rôle pour la migration et la reproduction des mousses ?
- Est- ce qu'une humidité élevée favorise la colonisation du bois mort ?
- Est-ce que vous connaissez des espèces qui ont besoin une humidité atmosphérique très importante et qui dans ces conditions sont capables de coloniser des substrats différents ?
- Quelles espèces et sur quelle substrat sont présent uniquement à proximité des cours d'eau ? Est-ce qu'il existe des espèces inféodée au bois mort proche du cours d'eau ?
- Est-ce que le microclimat du cours d'eau influence de façon positive la colonisation du bois mort par les mousses ?
- Est-ce qu'on peut supposer que des espèces de mousses qui colonisent les roches proche du cours d'eau sont capable aussi de coloniser le bois mort ?
- Est- ce qu'on peut trouver les mêmes espèces sur le bois mort proche du cours d'eau ainsi que éloigné des cours d'eau dans des station qui ne sont pas influencées par l'écosystème du cours d'eau ?
- Quelles influences du cours d'eau sur la dynamique de la colonisation existent t'ils ?
- Est-ce que vous pensez que le bois mort le long du cours d'eau comporte plus des espèces de la liste rouge que du bois mort éloigné des cours d'eau ?
- Pouvez vous me décrire vos expériences en ce qui concerne la thématique : les mousses, le bois mort et les cours d'eau ? Est- ce que vous connaissez de la littérature ou des projets concernant ce sujet ?

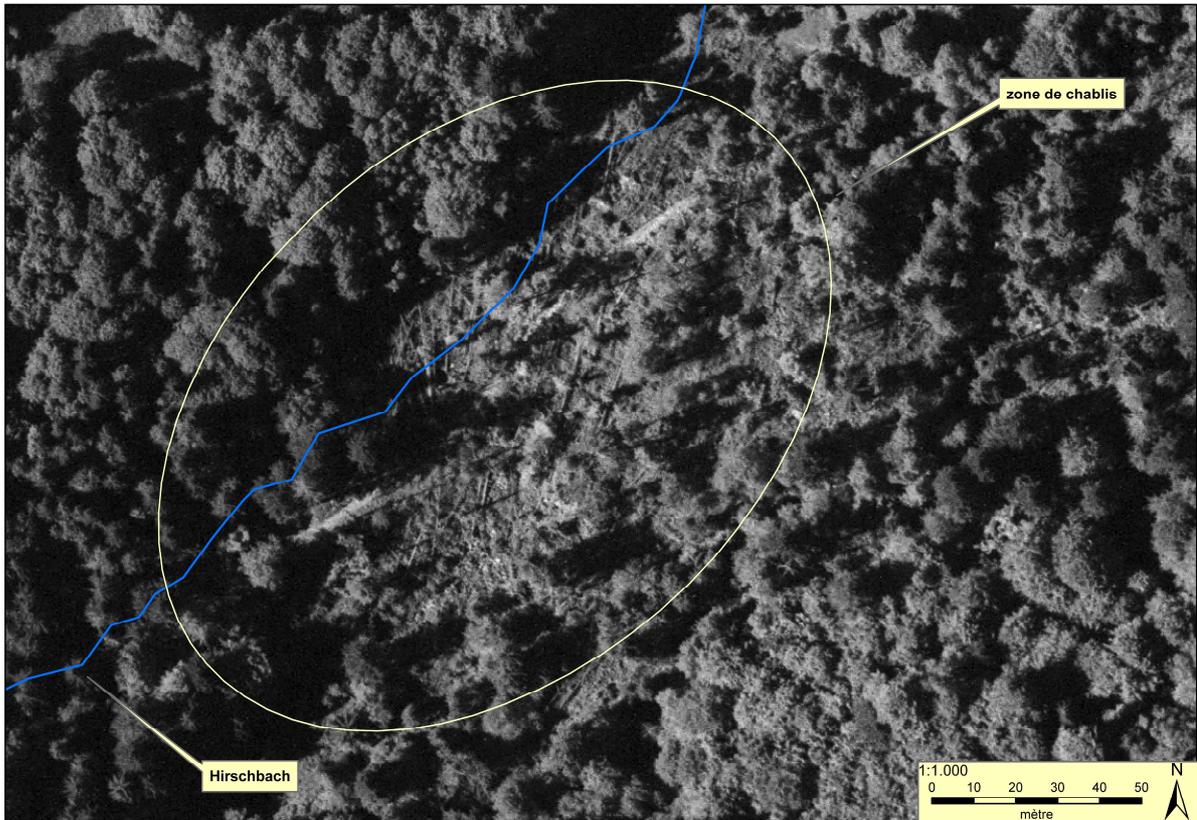
Annexe IX : Catalogues des questions pour les observations sur le terrain concernant les mousses

- Quel genre de bois mort est colonisé par les mousses (diamètre) ?
- De quelle manière s'effectue la colonisation de bois mort (tout autour, seulement la coté dirigé vers le ciel, coté soleil, coté ombre) ?
- Est-ce que tout sort de bois mort est colonisé par les mousses ?
- Est-ce qu'il existe une colonisation spécifique pour les accumulations ?
- À quelle condition est-ce que le bois mort est colonisé dans le lit ?
- Comment est-ce qu'il se passe la colonisation des éléments composée de plusieurs pièces, agrées horizontalement ?
- Comparaison d'un tronc volumineux moussu dans/proche du cours d'eau avec un tronc volumineux moussu éloigné du cours d'eau

Annexe X : Proportion de bois mort dans les zones 1 et 2 par rapport à la zone trois



Annexe X : Proportion de bois mort dans les zones 1 et 2 par rapport à la zone trois : pour la plupart des tronçons on peut observer que, s'ils sont équipés plus en bois mort par rapport au volume dans la zone de pente, il se trouve en même temps plus de bois mort dans les zones 1 et 2.

Annexe XI : La zone de chablis dans le site d'étude « Zweribach »

Annexe XI : L'orthophoto illustrant la zone de chablis dans le site d'étude Zweribach : il est bien visible que le Hirschbach traverse la zone de chablis

Résumé

Le bois mort constitue un élément essentiel des cours d'eau, la survie de nombreuses espèces dépendant de sa présence et de sa composition. Lors de ce projet, la présence de bois mort en quantité et en qualité dans des cours d'eau en réserve forestière intégrale et en forêt gérée en Forêt-Noire a été étudiée. L'importance du bois mort pour les mousses dans et à proximité du cours d'eau a été de plus analysée dans le cadre de cette étude, il n'a cependant pas été possible d'obtenir des résultats clairs. D'autres enquêtes devront être menés à ce sujet.

Concernant la présence de bois mort, on a pu constater que la quantité de bois mort dans le cours d'eau en forêt gérée est 1 à 3 fois plus petite que celle relevée dans les réserves forestières intégrales. En outre, les deux types d'éléments de bois mort dominants du site géré, souches et rémanents résineux, ont un faible intérêt écologique pour le cours d'eau. Ces faits, combiné avec le manque d'éléments de gros diamètre, notamment d'arbres tombés, constaté dans le cours d'eau en forêt gérée, influencent probablement de façon négative la diversité en espèces inféodées au bois mort.

Compte tenu de ce fait, différentes mesures concernant la gestion de la forêt riveraine, ayant pour but l'amélioration de la présence de bois mort dans les cours d'eau en forêt, sont proposées.