





Gestion des vieux arbres et du bois mort

Îlots de sénescence, arbres-habitat et métapopulations saproxyliques

Thibault Lachat* et Rita Bütler**

*Laboratoire des systèmes écologiques

Ecole polytechnique fédérale Lausanne (EPFL)

** Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage

WSL, site de Lausanne

Juillet 2007

Mandat de l'Office fédéral de l'environnement, OFEV

EPFL-ENAC-ECOS

Bâtiment GR, Station 2

CH – 1015 Lausanne

Tel. ++41 21 693 63 36 Fax ++41 21 693 57 60

Thibault.Lachat@epfl.ch, Rita.Buetler@wsl.ch

Table des matières

RESUME	1
1 INTRODUCTION	3
1.1 Cadre et objectifs du projet	3
1.2 Concept de réserve, îlot de sénescence et arbre-habitat	3
2 DÉMARCHE ET METHODES	5
2.1 Démarche générale	5
2.2 Méthode de terrain	6
2.2.1 Choix des sites	6
2.2.2 Inventaire des structures d'habitat sur les arbres des îlots de sénescence	7
2.2.3 Mesure du bois mort	8
3 ETAT DES LIEUX	9
3.1 Réponses aux questionnaires	9
3.2 Exemples de concepts suisses	12
3.3 Exemples internationaux : îlots de sénescence ou de vieillissement	14
3.4 Synthèse des exemples nationaux et internationaux: îlots de vieillissement/sénescence	16
3.5 Exemples internationaux: arbres-habitat	17
4. ÎLOTS DE SENESCENCE	20
4.1 Caractéristiques des îlots de sénescence du Jura et du Plateau	20
4.2 Critère 1 : arbres vivants	21
4.3 Critère 2 : Bois mort	23
4.4 Critère 3 : Structures d'habitat	24
4.4.1 Quel diamètre pour les arbres des îlots de sénescence ?	25
4.5 Critère 4 : Surface des îlots de sénescence	28
4.6 Critère 5: Sécurité	30
4.7 Synthèse : îlot de sénescence	32
5. ARBRES-HABITAT	33
5.2 Sélection des arbres-habitats	33
5.3 Nombre d'arbres-habitat par hectare	34
5.4 Synthèse : arbre-habitat	34
6 METAPODI II ATIONI	25

Vieux arbres et bois mort

	6.1 Sélection des patches potentiels et des patches occupés	36
	6.2 Espèces considérées	36
	6.3 Canton pilote : Vaud	37
	6.3.1 Lucane cerf-volant (Lucanus cervus)	38
	6.3.2: Rosalie des Alpes (Rosalia alpina)	40
	6.4.1 Pic cendré (Picus canus)	42
	6.5.1 Pic mar (Dendrocopos medius)	43
	6.2.8 Conclusions : canton de Vaud	44
	6.4 Canton pilote : Jura	45
	6.4.1 Lucane cerf-volant (Lucanus cervus)	45
	6.4.2 Rosalie des Alpes (Rosalia alpina)	47
	6.4.3 Pic cendré (Picus canus)	48
	6.4.4 Pic mar (Dendrocopos medius)	49
	6.4.5 Conclusions : Canton du Jura	50
7	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	51
8	REMERCIEMENTS	53
9	ANNEXE	54

RESUME

Ce rapport contribue à la conservation des espèces dépendantes des vieux arbres et du bois mort (espèces saproxyliques) dans les forêts suisses. Deux concepts complémentaires aux réserves forestières pour la protection des espèces saproxyliques sont traités dans ce travail: les îlots de sénescence et les arbres-habitat. Ces « stepping stones » améliorent la connectivité du paysage: les îlots de sénescence servent de relais entre les réserves et les arbres-habitat entre les îlots de sénescence.

Le premier objectif était de dresser l'état des lieux des stratégies appliquées pour la conservation des saproxyliques en Suisse et à l'étranger. Au niveau national, un bref questionnaire a été envoyé aux autorités cantonales. Pour la plupart des cantons, le concept de réserves forestières est considéré comme pilier principal de leur stratégie et plus d'un quart des cantons disposent d'un concept pour la mise en place d'îlots de sénescence/vieillissement. Les objectifs futurs (réserves et îlots) se situent en général entre 4 et 7% de la surface forestière.

Les exemples internationaux collectés lors de recherches bibliographiques montrent l'utilisation de deux types d'îlots: les îlots de sénescence et de vieillissement. L'îlot de sénescence est maintenu sans intervention jusqu'à l'écroulement et à la décomposition des arbres, alors que l'îlot de vieillissement est finalement exploité avant que les arbres ne meurent naturellement. Du point de vue écologique, l'îlot de sénescence est préférable.

Le deuxième objectif était de fournir une définition opérationnelle et des critères de qualité pour les concepts d'îlot de sénescence et arbres-habitat. Des inventaires de structures d'habitat et de bois mort ont été réalisés dans des anciennes forêts du Plateau et du Jura, deux régions à grand déficit en bois mort et en vieux arbres et ayant un haut potentiel pour la conservation des espèces saproxyliques. Au total, 22 sites de forêts non-exploitées depuis une quarantaine d'années on été sélectionnés dans les cantons de Vaud et de Neuchâtel. Les observations réalisées sur 4 placettes de chaque site démontrent des quantités de bois mort et des structures d'habitat proches des forêts à caractère naturel d'Europe. Pour les arbres-habitat, les critères de qualité s'appuient sur l'âge et des diamètres minimaux (60 cm sur le Plateau, 70 cm résineux du Jura et 50 cm feuillus du Jura) et sur la présence de structures d'habitat. Cinq catégories de critères ont été établies pour les îlots de sénescence: arbres vivants, bois mort, structures d'habitat, surface et sécurité. Ces critères représentent des aides à la décision lors de la sélection d'arbres-habitat et d'îlots de sénescence par les forestiers et permettent ainsi de garantir une qualité déjà existante ou un haut potentiel en vue de la conservation des espèces saproxyliques. Les îlots peuvent être déterminés soit sur des surfaces de forêts où certains critères sont déjà atteints, soit sur des surfaces ayant le potentiel d'évoluer vers un îlot de sénescence dans un futur proche.

Le troisième objectif était de tester à l'aide d'une approche de modélisation la capacité des réseaux de réserves et d'îlots à maintenir des métapopulations d'espèces saproxyliques dans deux cantons pilotes (Vaud et Jura). Quatre espèces ont été retenues: lucane cerf-volant, rosalie des Alpes, pic cendré et pic mar. Il s'avère que les espèces à mobilité réduite telles que les coléoptères saproxyliques ont plus de peine à se maintenir que les pics plus mobiles et cela même dans des systèmes comportant de nombreux «patches» (îlots de sénescence et réserves). Pour les quatre espèces considérées, les «patches» de grande surface constituent le pilier le plus important. Un réseau de réserves de grande surface est donc indispensable et ne peut pas être remplacé par des îlots de sénescence de petite taille. Dans les deux cantons, des efforts de mise en réseau des réserves actuelles par de nouvelles réserves, des îlots de sénescence et des arbres-habitat sont nécessaires pour garantir le maintien d'espèces saproxyliques

pour lesquelles la qualité de l'habitat au sein des «patches» est également primordiale (présence en continu de vieux arbres et de bois mort).

La conservation des espèces saproxyliques dans les forêts suisses repose donc sur trois concepts complémentaires: les réserves intégrales, les îlots de sénescence et les arbres-habitat. Nous avons démontré par ce travail, que des forêts non-exploitées depuis plusieurs dizaines d'années offrent des quantités de bois mort et de structures d'habitat similaires aux forêts à caractère naturel d'Europe. Il est donc possible et cela à moindre frais d'améliorer les conditions d'habitat des saproxyliques. Par l'étude des métapopulations, il apparaît que l'organisation spatiale des habitats ainsi que leur taille jouent un rôle primordial pour la conservation des espèces. Une planification régionale voire nationale des réseaux d'habitat pour les espèces saproxyliques est donc indispensable pour garantir le succès des mesures prises.

1 INTRODUCTION

1.1 Cadre et objectifs du projet

La conservation de la biodiversité est une priorité de la politique forestière suisse. Elle concerne également le maintien des espèces liées au bois mort et aux vieux arbres (espèces saproxyliques), représentant environ 20% des espèces forestières en Suisse. Les espèces saproxyliques nécessitent la présence d'arbres morts ou de vieux arbres en quantité suffisante pour leur survie. Or, sur le Plateau et dans le Jura en particulier, ces structures sont aujourd'hui largement déficitaires comparés aux forêts naturelles. Il existe cependant dans ces régions un grand potentiel pour le maintien des espèces saproxyliques, pour autant que des mesures en leur faveur soient prises (Bütler et al., 2006¹).

Face à la raréfaction des énergies fossiles, l'émergence du bois énergie en Suisse pourrait menacer sérieusement les espèces dépendantes du bois mort, même en régions de montagne. Les arbres morts de faible dimension ou les rémanents de coupe, parfois les seuls refuges pour les espèces saproxyliques dans les forêts exploitées, pourraient dorénavant trouver une valorisation économique. Dès lors, il est important de mettre en place des mesures concrètes pour une gestion harmonieuse des vieux arbres et du bois mort en tenant compte des besoins de la diversité saproxylique.

Dans la *Stratégie suisse pour le maintien du bois mort et des vieux arbres*, Bütler et al. (2005)² recommandent la mise en place d'îlots de sénescence et le maintien d'arbres-habitat. Ces deux concepts sont néanmoins relativement nouveaux et de nombreuses questions subsistent quant à leur concrétisation et leur efficacité. Cette étude a pour but de combler les lacunes de connaissances et ainsi de contribuer aux efforts entrepris en faveur des espèces saproxyliques dans le cadre des contrats de prestations entre les cantons et la Confédération.

Les objectifs de ce rapport sont: i) de dresser un état des lieux des concepts pour la conservation des espèces saproxyliques en Suisse et à l'étranger; ii) de fournir une définition opérationnelle et des critères de qualité pour les concepts d'îlots de sénescence et d'arbres-habitat et iii) de proposer des recommandations pour un plan d'action dans deux cantons pilote (Vaud et Jura). Pour ce dernier objectif nous avons testé, dans ces deux cantons, la viabilité à long terme des réseaux planifiés de réserves forestières et d'îlots de sénescence pour le maintien des espèces saproxyliques.

1.2 Concept de réserve, îlot de sénescence et arbre-habitat

Le paradigme de la protection de la nature par **la séparation** stricte entre les aires protégées et le reste du territoire, approche principale des années 1970, appartient au passé. Depuis les années 1990, un nouveau paradigme s'est développé, celui-ci visant **l'intégration** des objectifs de protection de la nature dans la gestion de l'ensemble du territoire. Par conséquent, la politique forestière suisse ne veut pas de séparation entre la forêt de production et la forêt pour la conservation de la biodiversité. Elle cherche plutôt à obtenir sur toute la surface une forêt aussi proche que possible de l'état naturel et qui remplisse en même temps toutes les fonctions essentielles, soit une forêt multifonctionnelle. Cette approche se

_

¹ Bütler, R., Lachat, T., Schlaepfer, R. 2006. Saproxlische Arten in der Schweiz: ökologische Potenzial und Hotspots. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen: 157, 6. 208-216.

² Bütler, R., Lachat, T., Schlaepfer, R. 2005. Grundlagen für eine Totholzstrategie der Schweiz. Bericht im Auftrag des BAFU

traduit par exemple par l'élaboration de plans directeurs forestiers avec des objectifs multiples. Or, le principe d'une forêt à buts multiples est en général implémenté à l'échelle du paysage. Il est dès lors opportun de découper la surface forestière en différentes zones, chacune ayant une vocation prioritaire. La conservation de la biodiversité – ou de protection de la nature dans un sens large – se fait ainsi en priorité dans des zones bien définies, mais également dans l'ensemble des zones avec une autre vocation prioritaire, bien que dans une moindre mesure.

Dans sa politique forestière, L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) prévoit précisément cette approche intégrative. D'une part, il a défini des standards écologiques minimaux pour garantir une certaine qualité écologique sur l'ensemble de la surface forestière. Cependant, la sylviculture proche de la nature ne suffit pas pour conserver la diversité biologique à long terme ni pour garantir la dynamique souhaitée. C'est pourquoi, d'autre part, la Confédération achète via ses conventions-programmes, certaines prestations ciblées visant le maintien de la biodiversité dans des zones ayant une signification particulière. Dans un premier temps, la Confédération a encouragé la création de réserves forestières intégrales (sans interventions) et particulières. Au cours des 30 prochaines années, 10% de la surface forestière vont être délimités comme réserves. Cette stratégie prévoit en outre de favoriser tout particulièrement les réserves de plus de 500 hectares, qui sont encore trop peu nombreuses (OFEV, 2001³).

L'établissement de réserves forestières intégrales est sans doute la mesure la mieux connue pour le maintien des espèces dépendant du bois mort et des vieux arbres. Cependant, elle ne parvient pas à assurer la survie à long terme des espèces saproxyliques. Les réserves forestières sont souvent trop éloignées les unes des autres pour permettre un échange entre les populations qu'elles abritent. Nous proposons de combiner les réserves forestières avec d'autres concepts poursuivant le même but: les îlots de sénescence et les arbres-habitat (Figure 1). Ces deux concepts sont complémentaires aux réserves intégrales et ils opèrent à des échelles spatiales différentes : les **réserves forestières** à l'échelle du canton (voire de la Suisse), les **îlots de sénescence** à l'échelle du triage forestier (voire de l'arrondissement) et les **arbres-habitat** à l'échelle du peuplement (voire du massif forestier). Les îlots de sénescence jouent le rôle de relais (en anglais « ecological stepping stones » et en allemand « Trittsteine ») entre les réserves forestières, de même que les arbres-habitat servent de relais entre les îlots de sénescence à une échelle plus locale.

_

http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=fr&msg-id=8290

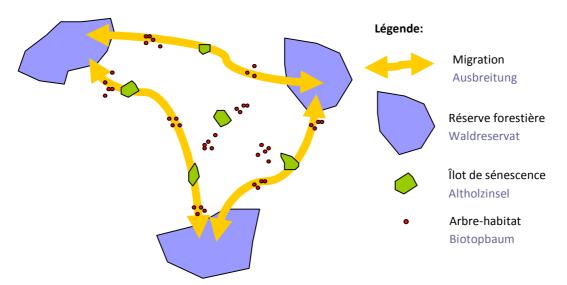


Figure 1: Concept proposé pour la conservation des espèces saproxyliques en Suisse. Combinaison de réserves forestières, d'îlots de sénescence et d'arbres-habitat, chaque type d'objet opérant à une autre échelle spatiale.

Le réseau de réserves – îlots de sénescence – arbres-habitat à lui seul n'est pas suffisant. Il représente les zones avec une signification particulière pour la diversité saproxylique. Pour arriver à un concept d'intégration tel que décrit ci-dessus, elle doit être complétée par une certaine quantité d'arbres morts, sur pied et couchés, de préférence de grand diamètre, sur l'ensemble de la surface forestière.

Quant à la quantité de bois mort, dans les réserves et îlots de sénescence, elle devrait avoisiner celle des forêts naturelles. Sur le reste de la surface forestière la quantité minimale d'arbres morts devrait au moins permettre le maintien d'espèces saproxyliques peu exigeantes.

2 DÉMARCHE ET METHODES

2.1 Démarche générale

Nous avons dressé l'état des lieux concernant des stratégies déjà opérationnelles pour le maintien des espèces saproxyliques en Suisse et à l'étranger. D'une part, une étude bibliographique (littérature et internet) a été menée concernant les concepts « îlot de sénescence » et « arbre-habitat ». D'autre part, nous avons adressé un bref questionnaire aux services compétents de tous les cantons suisses pour savoir s'ils ont une stratégie et, le cas échéant, laquelle.

Le deuxième objectif est de fournir une définition opérationnelle et des critères de qualité pour les deux concepts « îlots de sénescence » et « arbres-habitat ». Pour cela, nous avons cherché à identifier des vieux peuplements sans exploitation depuis une quarantaine d'années, puis de les décrire, afin de connaître leurs caractéristiques en matière de bois mort et d'arbres-habitat, ainsi que de structures

d'habitat. Ces peuplements représentent des objets idéaux pour étudier l'évolution probable de peuplements désignés comme îlots de sénescence à l'avenir. Nous avons entrepris une étude de terrain sur 22 peuplements du Plateau et du Jura des cantons de Vaud et de Neuchâtel. Les résultats permettent de déterminer la qualité écologique de vieux peuplements dans les conditions helvétiques. Des critères de qualité pour les futurs îlots de sénescence peuvent ainsi être déterminés en se basant sur les expériences existantes, ainsi qu'à l'aide de la littérature. Seuls, les critères écologiques sont insuffisants, puisqu'il faut également tenir compte de la faisabilité économique et pratique, ainsi que de différentes contraintes telle la sécurité des utilisateurs de la forêt.

Le dernier objectif est d'élaborer des recommandations pour une stratégie de conservation des espèces saproxyliques dans deux cantons pilotes. Le premier critère de sélection des cantons pilotes était leur appartenance, au moins partielle, au Plateau et/ou au Jura, puisque c'est dans ces régions où les déficits en bois mort et vieux arbres sont le plus marqués. Le deuxième critère était leur potentiel pour les espèces saproxyliques selon Bütler et al. (2005⁴) et Lachat et Bütler (2006⁵). Ce procédé nous a fourni une présélection de 10 cantons à qui nous avons adressé un e-mail. Parmi les cantons intéressés, notre choix s'est finalement porté sur les cantons de Vaud et du Jura, essentiellement pour des questions de disponibilité des données, de contraintes imposées par le canton et de possibilités de cofinancement de l'étude.

2.2 Méthode de terrain

2.2.1 Choix des sites

De nombreuses études se sont déjà penchées sur les forêts naturelles ou à caractère naturel d'Europe. Cependant les données disponibles ne sont pas toujours comparables aux forêts du Jura et du Plateau, vu les différents aménagements et exploitations qu'elles ont subis durant leur histoire. Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés à des forêts dont l'exploitation a été abandonnée depuis plusieurs décennies. Cet abandon d'exploitation peut s'expliquer par un accès limité, par une volonté de protéger une surface particulière ou par certains concours de circonstance.

La localisation des sites s'est effectuée en collaboration étroite avec les forestiers et gardes forestiers, par des sorties de terrain ou par l'intermédiaire de photos aériennes ou de cartes. Au total, 22 sites (Jura : 11 et Plateau : 11, Figure 2) ont été sélectionnés dans des forêts n'ayant plus été exploitées depuis une quarantaine d'années et présentant des signes de sénescence voire de déclin (densité de gros arbres supérieure à la normale pour le type de forêt concerné, gros arbres morts sur pied ou couchés). Les forêts considérées couvrent au minimum 1 hectare. Sur chacun des sites sélectionnés, un inventaire des structures d'habitat potentiel pour les espèces saproxyliques a été effectué dans 4 placettes circulaires de 500 m² (surface horizontale). La disposition du centre des placettes s'effectue en fonction de la forme et de la grandeur de l'îlot tout en respectant une distance régulière inter-centre (distance minimale : 35 m, distance maximale : 50 m).

⁴ Bütler, R., Lachat, T., Schlaepfer, R. 2005. Grundlagen für eine Totholzstrategie der Schweiz. Bericht im Auftrag des BAFU

⁵ Lachat, T., Bütler R. 2006. Erhaltung von saproxylischen Arten unter besonderer Berücksichtigung internationaler Vorgaben. Bericht im Auftrag des BAFU



Figure 2 : Répartition des îlots de sénescence étudiés dans les cantons de Vaud et de Neuchâtel. (Certaines communes comptent plusieurs sites).

2.2.2 Inventaire des structures d'habitat sur les arbres des îlots de sénescence

Le protocole est conçu pour inventorier d'une manière rapide et efficace les structures d'habitat visibles depuis le sol sur une surface de 500 m² (matériel : boussole, laser-mètre sur mono-pied, compas forestier, GPS, appareil photo, jumelles, clinomètre, chevillière).

Relevés sur tous les arbres sur pied (vivants et morts)

Essence, statut (vivant, mort, renversé), diamètre à hauteur de poitrine DHP (minimum 10 cm), azimut et distance par rapport au centre de la placette.

- Structures d'habitat sur arbres vivants (voir annexe 1 pour illustration). Les arbres morts sur pied sont considérés comme habitat en soi pour les espèces saproxyliques.
- 1. Branches cassées ≥ 20 cm de diamètre et < 50 cm de longueur
- 2. Branches mortes ≥ 20 cm de diamètre et ≥ 50 cm de longueur
- 3. Blessure : surface découverte d'écorce ≥ 600 cm²
- 4. Fente : fissures entrant dans le bois (≥ 2 cm de profondeur ≥ 100 cm de long)

- 5. Cavité de pic : entrée de cavité d'habitation
- 6. Autre cavité: cavité naturelle engendrée par exemple par la décomposition d'une branche cassée
- 7. Cavité dans la souche : nombre de cavités en dessous de 50 cm. Grandeur minimal : 1 poing
- 8. Tronc creux : cavité dans le sens du tronc (≥ 1 m de long)
- 9. Fourche: Division du tronc en deux en dessus de 1.3 m pouvant favoriser l'accumulation d'humus.
- 10. Fourche cassée : une des deux parties cassée
- 11. D'autres structures telles que chancres, polypores, zone de décomposition à la souche, etc. ont été inventoriées. Les données n'ont cependant pas été utilisées dans ce rapport car la fréquence de ces structures était trop faible pour les utiliser dans les analyses.

2.2.3 Mesure du bois mort

Le volume de bois mort au sol a été mesuré par la méthode utilisée par le LFI3 et avec la formule adaptée par Böhl et Brändli (2007⁶) La seule différence est que la longueur horizontale du transect est de 12.62 m dans notre cas. Le calcul du volume à l'hectare étant en fonction de la longueur horizontale du transect, le volume à l'hectare est tout à fait comparable. Le diamètre minimum considéré est de 7 cm.

Variables mesurées sur le bois mort au sol :

- diamètre au point d'interception ≥ 7 cm
- inclinaison par rapport à l'horizontale
- Etat de décomposition : classe de 1 à 5

Le volume des arbres morts sur pied à été évalué en se basant sur le diamètre DHP et sur les tarifs d'aménagement vaudois et neuchâtelois au même titre que les arbres vivants. La hauteur des arbres morts cassés a été estimée pour le calcul du volume.

⁶ J. Böhl, U.-B. Brändli (2007). Deadwood volume assessment in the third Swiss National Forest Inventory: methods and first results. European Journal of Forest Research. 126:449–457.

3 ETAT DES LIEUX

3.1 Réponses aux questionnaires

Nous avons envoyé un bref questionnaire à tous les cantons par e-mail, afin de dresser l'état des lieux concernant les stratégies et mesures existantes pour le maintien des espèces saproxyliques. Le retour des réponses était de 19 sur 24 (79%), un taux élevé qui démontre un intérêt certain de la part des cantons pour la problématique des vieux arbres et du bois mort. La qualité de l'information ainsi récoltée est variable. La synthèse présentée ci-après se base sur les réponses et documents reçus. Nous n'avons pas cherché à vérifier si les réponses obtenues sont exhaustives, voire à compléter des informations lacunaires par d'autres démarches.

a) Question : Les cantons disposent-ils d'une politique/stratégie de conservation des espèces saproxyliques?

- La plupart des cantons signalent leur concept de **réserves forestières** comme **pilier principal** de la stratégie.
- Plus d'un quart des cantons, appartenant tous au Plateau ou au Jura, disposent d'un concept pour la mise en place d'îlots de sénescence/vieillissement. A titre d'exemple, nous mentionnons les cantons d'Argovie⁷ et de Thurgovie⁸ disposant de concepts déjà opérationnels incluant des dédommagements financiers pour les propriétaires (voir Chapitre 3.2). Les deux cantons de Bâle Ville et Campagne ont développé dans un processus participatif et adopté en 2006 une Charte de bois mort⁹.
- Environ un quart des cantons mentionnent l'existence de documents ou textes législatifs de politique forestière durable ou de concepts pour la protection de la nature en forêt dont lesquels des dispositions ou des objectifs qualitatifs concernant le bois mort et/ou les vieux arbres sont incluses.
- Quatre cantons indiquent n'avoir aucune stratégie, dont un qui envisage la mise en place pour 2008.
- Plusieurs cantons, bien que n'ayant pas de stratégie ciblée autre que les réserves forestières, évoquent le maintien de bois mort et de vieux arbres dans la gestion pratique des forêts de protection, pour autant que cela soit compatible avec les objectifs de protection.
- En l'absence de stratégie au niveau cantonal, il existe dans certains cantons des initiatives personnelles de mise en place d'îlots de sénescence/vieillissement, y compris la mention dans les plans directeurs forestiers (Waldentwicklungsplan) ou dans les cartes de peuplements.

b) Question : Quel pourcentage de la surface forestière est actuellement destiné à la conservation des espèces saproxyliques? Et à l'avenir?

Les figures 3 et 4 donnent un aperçu par canton des surfaces qui servent particulièrement à la conservation des espèces saproxyliques, i.e. réserves intégrales, îlots de sénescence et surfaces sans interventions (figure 3 en pourcentages de la surface forestière et figure 4 en hectares).

⁷ http://www.ag.ch/php/vernehmlassungen/index.php?controller=Download&DokId=603&Format=pdf 31.5.2007

^{8 &}lt; http://www.forstamt.tg.ch/documents/Empfehlung_Altholz_und_Totholz_2007_pdf.pdf> 31.5.2007

^{9 &}lt; http://www.baselland.ch/docs/vsd/forstamt/doku/totholz_charta.pdf > 31.5.2007

Sont reportées les surfaces déjà établies par contrats et l'objectif futur que chaque canton s'est fixé. Les objectifs futurs se situent en général entre environ 4 et 7%, au maximum à 10% de la surface forestière.

Certains cantons ont seulement donné une réponse concernant toutes les réserves forestières, y compris les réserves particulières qui ne visent pas forcément la conservation des espèces saproxyliques. Les figures 5 et 6 donnent un aperçu sur l'état actuel et les objectifs futurs par canton.

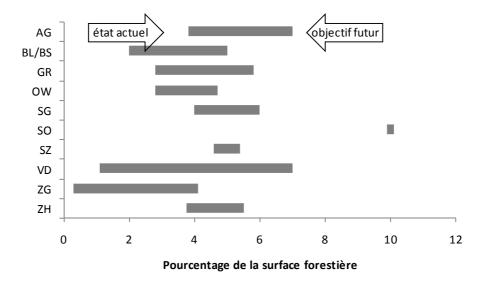


Figure 3 : Réserves intégrales, îlots de sénescence et surfaces sans interventions par canton, en pourcentages de la surface forestière, état actuel et objectif futur.

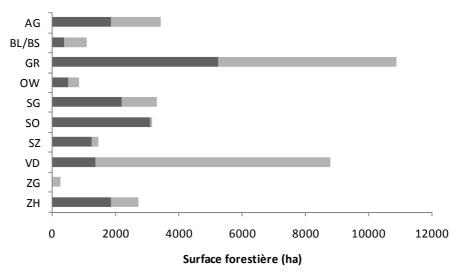


Figure 4: Réserves intégrales, îlots de sénescence et surfaces sans interventions par canton, en hectares. Etat actuel en gris foncé et objectif futur en gris clair.

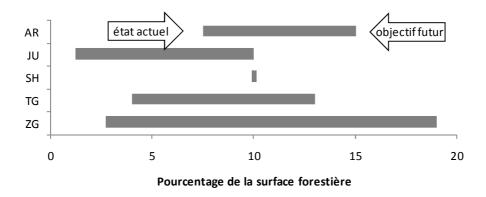


Figure 5 : Réserves forestières (intégrales et particulières) par canton, en pourcentages de la surface forestière, état actuel et objectif futur.

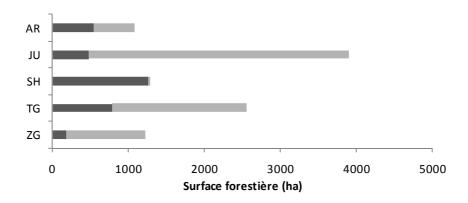


Figure 6 : Réserves forestières par canton, en hectares, état actuel et objectif futur. Etat actuel en gris foncé et objectif futur en gris clair.

Les cantons de BE, FR, GE, LU et NW n'ont pas indiqué de chiffres pour différentes raisons : chiffres pas connus, objectifs non définis, absence de planification, le canton qualifie les objectifs quantitatifs comme peu pertinents ou le canton pratique la promotion du bois mort sur toute la surface forestière.

3.2 Exemples de concepts suisses

Exemple du canton d'Argovie¹⁰

Entre 1989 et 1994 le canton d'Argovie a dressé un inventaire de tous les objets forestiers d'une grande valeur naturelle (WNI Waldnaturschutzinventar). Le but de cet inventaire était de recenser les objets d'importance cantonale et de fournir une base pour la protection des biotopes en forêt. Les critères de recensement utilisés se répartissent en quatre catégories :

- critères du site (associations forestières rares)
- critères structurels (peuplements riches en bois mort et vieux arbres, peuplements dans des stations particulières)
- biotopes d'espèces rares
- éléments particuliers (telle la géomorphologie).

En 1996, sur la base de cet inventaire, le Grand Conseil a conféré un statut de protection à environ 20% de la surface forestière en fixant ces surfaces dans les plans d'aménagement du territoire (Richtplanung). D'après la loi sur l'aménagement du territoire, la protection de la nature représente l'objectif prioritaire pour ces surfaces forestières. La planification forestière doit également tenir compte des priorités ainsi définies. Dans la même année, le Grand Conseil a voté un crédit pour un programme pluriannuel de protection de la nature en forêt, dans lequel des objectifs qualitatifs et quantitatifs ont été fixés. Ce programme bénéficie d'un haut degré d'acceptation à la fois auprès des communes, propriétaires des forêts, gestionnaires forestiers et de la population. Sa mise en œuvre se fait dans un processus participatif, via des contrats avec les propriétaires et inclut un volet important de formation continue des forestiers et bûcherons. Les deux premières étapes du programme sont presque terminées (CHF 5.5 Mio. pour 1996-2001 et CHF 5.82 Mio., dont 2.3 Mio. de la Confédération pour 2002-2007). Une troisième étape nécessitant un crédit de CHF 7.6 Mio. est prévue pour 2008-2013.

Objectifs et état de réalisation :

Sur 10% de la surface forestière du canton la protection de la nature deviendra la priorité à l'horizon 2020, se répartissant en cinq objectifs :

- 5% de réserves intégrales d'une taille minimale de 20 ha avec contrats pendant 50 ans;
- 2% d'îlots de sénescence sans intervention d'une taille comprise entre 2 et 20 ha avec contrats pendant 50 ans;
- 3% de réserves particulières avec interventions en faveur des espèces xéro-thermophiles ;
- 2500 ha chênaies avec contrats;
- 200 km de lisières avec entretien périodique.

Mesures		Objectif 2020 Etat 2007	Etat 2007 en % de	Objectif 2008-2013			
				l'objectif 2020	Total	Par année	
Réserves i	intégrales	2'455 ha (5%)	1'134 ha (23 objets)	46%	611 ha	102 ha	
Îlots de sé	nescence	976 ha (2%)	805 ha (213 objets)	83%	OII IIa	102 Ha	
Réserves p (forêts cla	particulières irsemées)	1'470 ha (3%)	500 ha (132 objets)	34%	235 ha	39 ha	
Chênaies		2500 ha	1'310 ha	52%	565 ha	94 ha	
Liciòres	Premier entretien	– 200 km	145 km	739/	55 km 9 k		9 km
Lisières	Entretien suivant	200 KM	9 km	72% —	60 km	10 km	

En moyenne, le dédommagement financer pour la mise en place d'une réserve intégrale ou d'un îlot de sénescence durant la période 2001-2007 était de CHF 3450.- par hectare pour une durée de 50 ans, montant variable en fonction de la productivité et l'exploitabilité du site, ainsi que de la qualité du bois.

¹⁰ Sources: Zimmerli, S. 1991. Das Wald-Naturschutzinventar im Kanton Aargau. Kriterien und Methoden. Mitt. Aarg. Naturf. Ges. Bd. XXXIII. S.31-72

Departement Bau, Verkehr und Umwelt (BVU). 2007. Naturschutzprogramm Wald, Zwischenbericht 2007. Ziele und Handlungsbedarf dritte Etappe (2008-2013). Kanton Aargau. Aarau, April 2007. Bericht zur Anhörung.

http://www.aq.ch/php/vernehmlassungen/index.php?controller=Download&DokId=603&Format=pdf

Exemple du canton de Thurgovie¹¹

Mise à part son concept de réserves forestières, le canton de Thurgovie dispose d'une stratégie pour le bois mort et les vieux arbres. Cette stratégie prévoit la mise en place d'îlots de vieillissement (parfois sénescence), le maintien de vieux arbres et d'une certaine quantité de bois mort sur l'ensemble de la surface forestière. Le choix des surfaces pour la mise en place d'îlots de sénescence se base, d'une part, sur les plans directeurs régionaux en privilégiant les surfaces forestières dont les fonctions prioritaires sont « biodiversité, écologie et protection de la nature ». D'autre part, le canton dispose d'un Inventaire des objets forestiers dignes de protection (ISOWA Inventar schützenswerter Objekte im Wald) qui recense, entre autres, les vieux peuplements bien structurés.

Objectifs et dédommagement financier :

Le canton a formulé des objectifs quantitatifs concernant différentes mesures et l'entier de la surface forestière. Ces objectifs, bien que formulés *par hectare*, ne doivent pas être atteints sur chaque hectare, mais ils se rapportent à des surfaces moyennes d'au moins 100 hectares.

	Objectif pour sites avec			
Catégorie	Productivité très bonne à moyenne	Productivité faible		
Bois mort couché (>20 cm de DHP)	5-10 m³/ha 10-15 pièces/ha	10-15 m³/ha 15-20 pièces/ha		
Bois mort sur pied (>20 cm de DHP)	2-5 m³/ha 5-7 pièces/ha	5-7 m³/ha 7-10 pièces/ha		
Branches en tas ou andains	Sur chaque coupe	Sur chaque coupe		
Souches hautes (>52 cm de DHP, hauteur 1.3 m)	3-5 pièces/ha	5-8 pièces/ha		
Îlots de vieillissement (> 0.5 ha)	1-3% de la surface forestière	3-5% de la surface forestière		
Vieux arbres individuels (>52 ou 60 cm de DHP)	5-10 pièces/ha	5-10 pièces/ha		

Aucun dédommagement financier n'est prévu pour le maintien de bois mort. Par contre, la mise en place d'îlots de vieillissement ou le maintien de vieux arbres donnent droit à un dédommagement (voir tableau). Dans un premier temps, le montant est versé pour une période de 10 ans. Ensuite, les montants sont déterminés pour la prochaine période de 10 ans. Il est prévu de renouveler les contrats plusieurs fois de suite et ainsi de se rapprocher du concept de l'îlot de sénescence. Les arbres qui meurent pendant la durée du contrat ne peuvent pas être coupés.

Catégorie	Mesure	Montant pour 10 ans	Remarques
Îlot de vieillissement	Aucune exploitation	900- / 1'150 / 1'400 par hectare	Taille minimale : 0.5 ha, montant selon la productivité (carte des peuplements)
Vieux arbres individuels	Aucune exploitation	1-5 arbres, CHF 120 par arbre dès 6 arbres, CHF 90 par arbre	Max. CHF 600/ha et 10 ans Max. CHF 900/ha et 10 ans

Critères de qualité et contrôle:

Le diamètre des arbres dominants d'un îlot de vieillissement doit être >52 cm (sur des sites très maigres >36 cm). Concernant les vieux arbres isolés, le concept distingue deux catégories d'essences d'arbres: le DHP doit être >60 cm pour le hêtre, le frêne, le sapin et l'épicéa ; il doit être >52 cm pour le chêne et les autres essences.

Les îlots de vieillissement s'établissent par un contrat avec le propriétaire forestier. Chaque surface est répertoriée dans un plan au 1:5000, ainsi que dans un Système d'information géographique par triage et arrondissement forestier. Les vieux arbres individuels sont marqués par un symbole en peinture à la base de l'arbre et répertoriés dans une formule en nombre par hectare.

_

Source: Forstamt Kanton Thurgau. 2007. Empfehlung: Totholz und Altholz im Thurgauer Wald. Stand: 14. Februar 2007. http://www.forstamt.tg.ch/documents/Empfehlung_Altholz_und_Totholz_2007_pdf.pdf

3.3 Exemples internationaux : îlots de sénescence ou de vieillissement

Tableau 1 : Exemples internationaux d'application des concepts d'îlots de sénescence ou de vieillissement

	Mecklenburg-Vorpommern (D)	Bourgogne (F)	Québec (Canada)
Définition	Îlots de sénescence	Îlots de sénescence	Îlots de vieillissement
Autres éléments stratégiques pour la biodiversité forestière	 Réserves forestières Maintenir de gros arbres lors de la coupe d'exploitation 	 Maintenir des arbres isolés présentant des micro-habitats 	 8% d'aires protégées 2% de refuges biologiques (= petites réserves forestières totales)
Domaine d'application	Forêt de production		Groupes de production prioritaires
Principe et caractéristiques requises	 Îlots de sénescence : Sans intervention jusqu'à l'écroulement; peuplements mûres constitués par des espèces indigènes; ont atteint au moins 2/3 de l'âge normal d'exploitabilité; structure verticale fermée à légèrement ouverte (degré de fermeture ≥ 0.6); si possible présentent déjà des structures écologiquement importantes telles fourches, cavités, bois mort, etc. (qualité du bois moindre) Gros arbres : les plus grands; essence indigène; faible qualité de bois; présentant des cavités, nids de rapaces, blessures, fentes, champignons, etc. 	Interdiction de toute coupe et autres travaux pendant la période vieillissement.	Laisser vieillir des peuplements jusqu'au début du stade suranné (entre début sénescence et installation d'un nouveau peuplement) a) peuplements équiennes : • l'âge du peuplement retenu se situe entre l'âge de l'exploitabilité et l'âge auquel la récolte sera autorisée (voir « Récolte ») b) peuplement inéquiennes : • surface terrière d'au moins 28 m2/ha • concentrée dans les plus grosses tiges, au minimum 4 m2/ha dans chacune des classes de diamètre (DHP de 10 à 22 cm; 24 à 38 cm; 40 à 48 cm; 50 cm et plus)
Taille	0.2–5.0 ha	De quelques arbres jusqu'à plusieurs hectares	Superficie minimale permettant le maintien d'un régime de perturbations naturelles. En forêt boréale : 100 ha ; en forêt mélangée et feuillue : 50 ha.
Quantité	1% de la surface forestière ; et 2–5 gros arbres par ha	3% de la surface forestière	10% de la superficie des groupes de production prioritaires
Dédommagement	Aucun		
Secteurs privilégiés	Ne pas créer d'îlots de sénescence le long de routes publiques, parcours de VTT, cavaliers, pédestres fléchés ou dans des zones à forte caractère de délassement.	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	

Répartition	Gros arbres en groupes plutôt qu'isolés	 où les coupes programmées sont les plus importantes; en situation d'écotone; en périphérie voire au sein de sites présentant par ailleurs un intérêt écologique. Organisation dans une logique de liaisons et de	Configuration longue et mince à éviter afin de
spatiale	dios arbies en groupes plutot qui soles	corridors écologiques au sein des peuplements de production.	minimiser l'effet de lisière qui pourrait nuire au maintien des conditions de forêts d'intérieur essentielles à plusieurs espèces. Largeur minimale : 500 m.
Gestion	Sélection et marquage des arbres 30-40 ans avant la coupe, afin de les préparer à un ensoleillement et une prise au vent augmentés	Îlots doivent être localisés sur un plan et signalés dans le document de la gestion de la forêt; sur le terrain ils doivent être matérialisés sans ambiguïté pour le gestionnaire, mais sans apparence excessive. Suivi scientifique pour évaluer les apports écologiques.	
Littérature	Landesforst Mecklenburg-Vorpommern. 2002. Richtlinie zur Sicherung von Alt- und Totholzanteilen im Wirtschaftswald. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei, Schwerin. http://www.wald- mv.de/pdf/G1_Alt%20und%20Totholz.pdf	Office National des Forêts. La Bourgogne calcaire. Préservation des forêts, des pelouses et des habitats associés. Bilan du programme Life Forêts et habitats associés de la Bourgogne calcaire. Bourgogne-Champagne Ardenne. Décembre 2003.	Leblanc, M.; Déry, S. et Lévis, C. 2005. Lignes directrices pour l'implantation des îlots de vieillissement rattachées à l'objectif sur le maintien de forêts mûres et surannées — Partie 1: intégration au calcul de la possibilité forestière. Québec, gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune. Direction de l'environnement forestier, 23 p. Déry, S. et Leblanc, M. 2005. Lignes directrices pour l'implantation des îlots de vieillissement rattachés à l'objectif sur le maintien des forêts mûres et surannées — Partie 2: intégration à la planification forestière. Québec, gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune, Direction de l'environnement forestier, 11 p. Rapports téléchargeables sous: http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/consultation/c onsultation-objectifs.jsp

3.4 Synthèse des exemples nationaux et internationaux: îlots de vieillissement/sénescence

Nous présentons une synthèse issue des exemples en provenance d'autres pays (Chapitre 3.3) et des exemples argovien et thurgovien (Chapitre 3.2), en nous focalisant sur plusieurs considérations importantes.

- 1. Il existe deux concepts différents, celui de l'îlot de vieillissement et celui de l'îlot de sénescence. La différence réside dans la gestion finale du peuplement : l'îlot de sénescence est maintenu sans intervention jusqu'à l'écroulement et à la décomposition naturels des arbres, tandis que les arbres composant l'îlot de vieillissement sont finalement exploités, après avoir dépassés l'âge normal d'exploitation d'un certain nombre d'années. Un îlot de sénescence est l'équivalent d'une réserve intégrale de petite surface (sans interventions). Du point de vue écologique, l'îlot de sénescence est clairement à préférer. Si la localisation des îlots change sans cesse, ni la continuité spatiale, ni la continuité temporelle du réseau ne pourront être assurées, caractéristiques pourtant indispensables au maintien de nombreuses espèces.
- 2. La taille des îlots varie fortement d'une région à l'autre, par exemple en fonction des caractéristiques du paysage forestier ou de la faisabilité politique. Le Québec exige une superficie minimale qui permet le maintien d'un régime de perturbations naturelles. En Suisse, le canton d'Argovie prescrit une taille minimale de 2 hectares, taille allant jusqu'à 20 hectares. Audessous d'une certaine taille minimale, un dédommagement financier n'est plus forcément de mise. Du point de vue écologique, une plus grande taille aboutit à un meilleur effet de conservation.
- 3. La proportion de la surface forestière vouée aux îlots est variable. Elle est en relation avec le pourcentage de réserves forestières, et en particulier des réserves sans intervention. En adoptant le concept de l'îlot de sénescence (et non pas celui de vieillissement), on peut raisonner globalement en terme de surface sans intervention. Un objectif de surface forestière sans intervention entre 4 et 7% ressort de notre synthèse suisse (voir également Chapitre 3.1). La question de savoir si cette proportion de surface suffit pour le maintien des espèces saproxyliques est encore à l'étude. Un élément de réponse est donné par notre analyse pour les cantons de Vaud et du Jura, présentée au Chapitre 6. Des études sur la viabilité de métapopulations saproxyliques et d'optimisation du réseau de réserves et d'îlots sont nécessaires pour savoir quel objectif quantitatif de surface est écologiquement valable.
- 4. Le **dédommagement financier** n'est pas prévu partout et, le cas échéant, il peut être fort variable (Tableau 2). Un échelonnement du montant en fonction de la productivité, de la qualité du bois et de l'exploitabilité semble être une bonne solution.

Tableau 2: Exemples de dédommagement financier pour le maintien d'îlots de sénescence ou de vieillissement.

Concept et critère	Pays, région	Période et montant	Equivalences pour 50 ans
Îlot de sénescence	Suisse, Argovie	Pour 50 ans:	CHF 3450 ha ⁻¹
≥ 2 ha		CHF 3450ha ⁻¹ en moyenne	
Îlot de vieillissement	Suisse, Thurgovie	Pour 10 ans :	CHF 4500 à 7000 ha ⁻¹
> 0.5 ha		CHF 900 à 1400 ha ⁻¹	
Îlot de sénescence	France, Bourgogne ^a	Pour 30 ans :	CHF 13'750 à 17'250 ha ^{-1 b}
		€ 5500 à 6900 ha ⁻¹	

^a Office National des Forêts. La Bourgogne calcaire. Préservation des forêts, des pelouses et des habitats associés. Bilan du programme Life Forêts et habitats associés de la Bourgogne calcaire. Bourgogne-Champagne Ardenne. Décembre 2003. Les chiffres présentés sont issus d'expertises réelles de calculs d'indemnités dans le cadre d'un projet LIFE en Bourgogne. Ces évaluations financières permettent au propriétaire de connaître l'impact économique de la mise en place des îlots.

5. Les **secteurs privilégiés** pour la création d'îlots sont :

- les secteurs qui ont pu conserver une partie de la biodiversité liées aux vieilles forêts (secteurs riches en bois mort);
- en périphérie voire au sein de sites présentant par ailleurs un intérêt écologique;
- en situation d'écotone;
- où les coupes programmées sont les plus importantes ;

6. Les secteurs à éviter sont :

- le long de routes publiques, de parcours de VTT, de cavaliers, de chemins pédestres fléchés ou dans les zones à forte caractère de délassement;
- 7. Une **organisation spatiale** dans une logique de connectivité et de corridors écologiques au sein des peuplements de production est à privilégier. Les distances maximales ou optimales entre les îlots dépendent des espèces et sont souvent encore inconnues.
- 8. Afin de garantir la pérennité des îlots, l'établissement d'un contrat avec le propriétaire de forêt est une bonne solution. Chaque surface doit en outre être localisée sur un plan et signalée dans un document de gestion forestière. Quant au marquage sur le terrain, les îlots doivent être matérialisés sans ambiguïté pour le gestionnaire, mais sans apparence excessive.
- 9. Il est souhaitable de mettre en place un suivi scientifique. Si ce n'est pas possible, au moins un suivi des surfaces dans un système d'information géographique devrait être fait.

3.5 Exemples internationaux: arbres-habitat

Le concept des arbres-habitat et sa définition sont présentés au Chapitre 5. Les exemples internationaux (Tableau 3), ainsi que celui du canton de Thurgovie (Chapitre 3.2) illustrent plusieurs aspects :

- 1. Les arbres-habitat sont un élément parmi d'autres pour le maintien de la biodiversité saproxylique dans la forêt de production.
- 2. Les arbres de préférence de mauvaise qualité d'un point de vue économique sont conservés jusqu'à leur décomposition naturelle. Ils sont marqués par un symbole pour garantir leur pérennité.

b 1 € = 1.5 CHF

- 3. Ils sont maintenus de préférence en petits groupes. Selon la définition adoptée (par exemple le diamètre minimum), un nombre indicatif par hectare peut être recommandé : 5—10 arbres par hectare dans les exemples cités.
- 4. Pour le maintien de vieux arbres avec une exigence quant au diamètre minimal, un dédommagement financer est parfois prévu (Tableau 4).

Tableau 3: Exemples internationaux d'application du concept d'arbre-habitat

-	Niedersachsen (D)	Bayarisches Farstamt Bathanhuch (D)
D (California		Bayerisches Forstamt Rothenbuch (D)
Définition	Arbres-habitat	Arbres-habitat
Autres éléments	16% de la surface forestière de l'Etat en	Maintenir ou créer 5-10 arbres à
stratégiques pour la	aires protégées	biotope par ha
biodiversité forestière	 Arbres à habitats et gros arbres morts sur 	 Maintenir arbres de mauvaise
biodiversite forestiere	pied en petits groupes	qualité dans le peuplement
	hier en herre 9. cahen	quanto auno so pouproment
Domaine d'application	Forêt de production	
Principe et	Arbres à préserver jusqu'à leur décomposition	Arbres à préserver jusqu'à leur
caractéristiques	naturelle.	décomposition naturelle.
requises		
	 très vieil arbre 	 Arbre avec cime cassée ou arbre
	 arbre avec aire d'oiseau 	à fourche
	 arbre à cavité ou avec fentes etc. 	 Arbre partiellement mort
	 arbre couvert de mousses, lichens ou lierre 	 Arbre partiellement cassé
		 Arbre creux
		 Arbre à champignons
		 Arbre avec cavités naturelles ou
		cavités à pic
		 Arbre avec tronc fondu
		 Arbre avec aire d'oiseau
		 Arbre gigantesque
Namelone	Dating and the same	5.40 salvas à bistana angles desales
Nombre	Petits groupes ou couvrant de petites surfaces	5-10 arbres à biotope par ha ; tous les
	(≥0.1 ha)	arbres de mauvaise qualité
	En moyenne 5 arbres par ha	
Répartition spatiale	Réseau continu d'arbres à habitats et de gros	
	arbres morts sur pied, en petits groupes	
Gestion	Arbres doivent être marqués par un symbole.	Arbres à biotope doivent être
		marqués par un symbole. Arbres de
	Arbres morts >30 cm dhp et arbres à habitats	mauvaise qualité maintenus pour
	sont relevés dans l'inventaire par placette.	autant qu'ils ne concurrencent pas un
	- F - F	arbre de grande valeur et qu'ils
		n'empêchent pas la régénération
Littérature	Niedersächsische Landesforsten. 2000.	Rothenbucher Totholz- und
	Habitatbäume und Totholz im Wald, Merkblatt	Biotopbaum-Konzept. Bayerisches
	Nr. 38. Niedersachsen.	Forstamt Rothenbuch, Schlossplatz 3,
	http://www.landesforsten.de/index.php?id=125	D-63860 Rothenbuch.

Tableau 4: Exemples de dédommagements financiers pour le maintien de vieux arbres individuels.

Vieux arbres individuels	Pays, région	Période et montant	Maximum	Equivalences pour 10 ans
>52 cm (chêne et autres) >60 cm (hêtre, frêne, sapin, épicéa)	Suisse, Thurgovie	Pour 10 ans:	CHF 600/ha et 10 ans	Max. CHF 600/ha
		1-5 arbres CHF 120 /arbre	CHF 900/ha et 10 ans	Max. CHF 900/ha
		Dès 6 arbres CHF 90 /arbre		
≥60 cm (chêne, hêtre)	Grand-Duché du	Pour 5 ans :	40 m3/ha	
≥7 pièces par ha Luxembou	Luxembourg ^a	6.25 €/m3 (hêtre)	250 €/ha et 5 ans	Max. CHF 750/ha 2)
		10 €/m3 (chêne)	400 €/ha et 5 ans	Max. 1200/ha ^b
≥50 cm	Autriche, Vorarlberg ^c	Pour 1 an : 5€/arbre	2 arbres/ha 100 €/ha et 10 ans	CHF 75/arbre CHF 150/ha

^a Memorial Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg. Recueil de Législation A - N° 36. 4 avril 2002. Régimes d'aides pour la sauvegarde de la diversité biologique. http://www.legilux.public.lu/leg/a/archives/2002/0360404/0360404.pdf#page=2 <25.06.2007>

^{ັ 1 € = 1.5} CHF

c Natura 2000. Richtlinien der Vorarlberger Landesregierung für die Gewährung von Beiträgen zur Erhaltung und Verbesserung des Zustandes und der Vielfalt der Wälder in Natura 2000 Gebieten. 1. April 2003. http://www.vorarlberg.at/pdf/forstwirtschaft_natura200.pdf <25.06.2007>

4. ÎLOTS DE SENESCENCE

Alors que de nombreux exemples cantonaux et internationaux illustrent la mise en place d'îlots de vieillissement ou de sénescence pour la conservation des espèces saproxyliques (Chapitre 3), ces concepts sont nouveaux pour la foresterie suisse. Nous proposons dans ce rapport une définition de ce concept ainsi que quelques critères de qualité basés sur des inventaires réalisés dans des vieilles forêts du canton de Vaud et de Neuchâtel (Chapitre 2).

Dans l'optique de protéger les espèces saproxyliques, nous privilégierons le concept d'îlot de sénescence par rapport à l'îlot de vieillissement. Pour ces deux concepts, l'âge optimum économique auquel le sylviculteur récolte le bois est dépassé. Cependant, le bénéfice écologique est maximisé par les îlots de sénescence qui prévoient le maintien des arbres jusqu'à leur mort et leur décomposition sur pied puis à terre. Les îlots de vieillissement, quant à eux, ne sont qu'un report de l'exploitation. Les arbres ne meurent pas et ne se décomposent pas sur place. Le gain écologique reste donc minime voire même négatif, car des populations d'espèces saproxyliques peuvent être anéanties alors qu'elles venaient de s'installer.

4.1 Caractéristiques des îlots de sénescence du Jura et du Plateau

Comme toutes les surfaces étudiées n'ont plus été exploitées depuis une quarantaine d'années, elles sont en mesure de servir de surface de référence en matière de structures de sénescence et de bois mort. Les données présentées dans les chapitres suivants ne sont pas des critères de sélection strictes pour les îlots de sénescence, mais des valeurs cible permettant d'apprécier la qualité des îlots de sénescence potentiels avant leur désignation officielle dans les plans de gestion ou lors de suivis scientifiques.

La finalité des îlots de sénescence étant avant tout d'assurer la conservation des espèces saproxyliques, il est donc indispensable que certaines des caractéristiques recensées dans les îlots de sénescences déjà matures y soient représentées. Ces caractéristiques permettent de mettre en évidence la qualité déjà atteinte ou le potentiel d'un futur îlot de sénescence et par conséquent sa contribution à la conservation des saproxyliques. Nous avons regroupé ces caractéristiques sous quatre critères :

Critère 1 : arbres vivants

• Critère 2 : bois mort

Critère 3 : structures d'habitat

Critère 4 : surface des îlots de sénescence

Critère 5 : sécurité

Dans les chapitres suivants, nous présentons les résultats obtenus dans des vieilles forêts du Jura et du Plateau concernant les critères 1 à 4. Une sélection des caractéristiques pour chaque critère est présentée à la fin du chapitre (Tableau 9).

4.2 Critère 1 : arbres vivants

Au total, 1799 arbres avec un DHP ≥ 10 cm ont été mesurés sur 22 sites comprenant 4 placettes chacun. 1576 étaient des arbres vivants, 198 des arbres morts sur pied et 25 des arbres renversés.

Le nombre moyen d'arbres vivants par hectare est plus élevé sur les sites du Jura $(403 \pm 18 \text{ arbres}^{12})$ comparé aux sites du Plateau $(313 \pm 14 \text{ arbres})$ (Tableau 5 et Figure 7). Les arbres vivants de gros diamètre (DHP \geq 80 cm) se rencontrent majoritairement sur le Plateau (Figure 7). A titre de comparaison, les forêts tempérées naturelles ou proches de l'état naturel d'Europe ont un volume sur pied d'arbres vivants situé entre 527 et 780 m³/ha et présentent entre 5 à 23 très gros arbres/ha (DHP \geq 80 cm) (Koop and Hilgen 1987¹³, Leibundgut 1993¹⁴, Smejkal 1997¹⁵, Tabaku 2000¹⁶, Oheimb, 2005¹⁷).

Tableau 5 : Arbres des îlots de sénescence étudiés du Jura et du Plateau. Moyenne à l'hectare ± erreur standard pour les arbres ≥ 10 cm DHP.

Caractéristiques	Jura	Plateau	
Nombre d'arbres vivants	403 ± 18	313 ± 14	
Diamètre dominant des 100 plus gros arbres (DDOM)	60 ± 2 cm	63 ± 3 cm	
Volume d'arbres vivants	578 ± 27 m ³ ha ⁻¹	583 ± 32 m ³ ha ⁻¹	
Diamètre moyen	35 ± 1 cm	38 ± 1 cm	
Nombre d'arbres ≥ 50 cm (DHP)	95 ± 6 ha ⁻¹	90 ± 8 ha ⁻¹	
Nombre d'arbres ≥ 60 cm (DHP)	48 ± 6 ha ⁻¹	53 ± 5 ha ⁻¹	
Nombre d'arbres ≥ 70 cm (DHP)	20 ± 4 ha ⁻¹	26 ± 4 ha ⁻¹	
Nombre d'arbres ≥ 80 cm (DHP)	5 ± 2 ha ⁻¹	11 ± 2 ha ⁻¹	

_

¹² Moyenne ± erreur standard

¹³ Koop, H., Hilgen, P. 1987. Forest dynamics and regeneration mosaic shifts in unexploited beech (*Fagus sylvatica*) stands at Fontainebleau (France), *For. Ecol. Manage.* **20** (1987), pp. 135–150.

¹⁴ Leibundgut, H. 1993. Europäische Urwälder, Haupt Bern, Stuttgart (1993).

¹⁵ Smejkal, G.M., C. Bindiu and D. Visoiu-Smejkal. 1997 Banater Urwälder. Ökologische Untersuchungen in Rumänien, Mirton Verlag, Temeswar.

¹⁶ Tabaku, V. 2000 Struktur von Buchen-Urwäldern in Albanien im Vergleich mit deutschen Buchen-Naturwaldreservaten und - Wirtschaftswäldern. Cuvillier

¹⁷ Oheimb, G., Tempel, H., Westphal, C. Härdtle, W. 2005. Structural characteristics of a near-natural beech (Fagus sylvatica L.) forest (Serrahn, northeast Germany).- Forest Ecology and Management 212: 253-263.

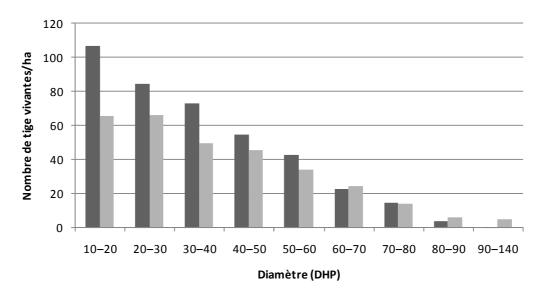


Figure 7 : Nombre d'arbres vivants à l'hectare par classe de diamètre dans les îlots de sénescence du Jura (gris foncé) et du Plateau (gris clair).

Les proportions des essences dominantes (Figure 8) confirment la dominance du hêtre autant dans le Jura (38%) que sur le Plateau (58%). L'épicéa et le sapin blanc sont principalement présents dans le Jura, alors que le chêne, frêne et charme se rencontrent presque uniquement sur la Plateau.

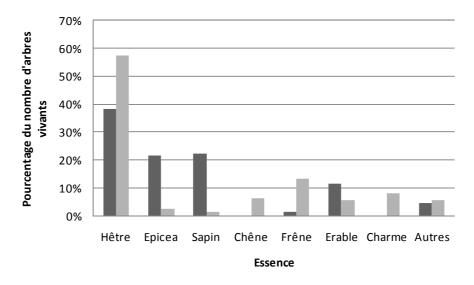


Figure 8 : Proportion des essences dominantes pour les placettes d'îlots de sénescence du Jura (gris foncé) et du Plateau (gris clair).

4.3 Critère 2 : Bois mort

Le bois mort est reconnu comme un indicateur de « naturalité » pour les forêts européennes (MCPFE 2003¹⁸) et sa présence est considérée comme indispensable à la conservation des espèces saproxyliques. De grandes quantités de bois mort peuvent donc être une mesure pour localiser les îlots de sénescence de qualité.

La quantité de bois mort au sol est supérieure dans les îlots de sénescence du Jura comparé à ceux du Plateau (Tableau 6) et les arbres morts sur pied sont également plus nombreux dans le Jura (Tableau 6, Figure 9). Le volume de bois mort total qui en résulte (bois mort au sol et arbre mort sur pied) atteint 131 ± 21 m³/ha dans le Jura et 71 ± 8 m³/ha sur le Plateau. La proportion moyenne de bois mort sur la quantité totale de bois (vivant et mort) s'élève à $19\% \pm 3$ dans le Jura et à $11\% \pm 2$ sur le Plateau. Dans les hêtraies naturelles d'Europe, cette proportion peut atteindre 25% avec plus de 240 m³/ha (Korpel, 1995^{19}).

Tableau 6: Quantité de bois mort dans les îlots de sénescence du Jura et du Plateau (moyenne en m^3 /ha \pm erreur standard) et pourcentage du total en ().

Caractéristiques	Jura	Plateau	
Volume arbres morts sur pied	58 ± 14 (44%)	24 ± 5 (34%)	
Volume de bois mort au sol	73 ± 15 (56%)	47 ± 7 (66%)	
Volume de bois mort (total)	131 ± 21 (100%)	71 ± 8 (100%)	
Arbres morts sur pied ≥ 30 cm (DHP)	18 ± 5	8 ± 2	
Arbres morts sur pied ≥50 cm (DHP)	9 ± 3	3 ± 1	

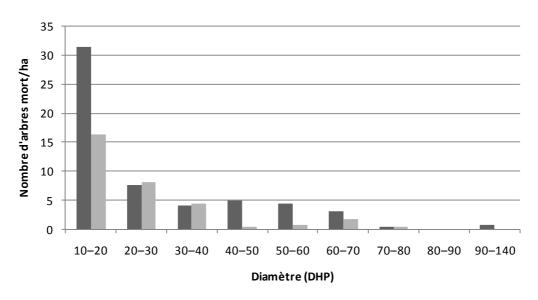


Figure 9 : Nombre d'arbres morts sur pied par classe de diamètre pour les placettes d'îlot de sénescence du Jura (gris foncé) et du Plateau (gris clair).

⁹ Korpel, S. 1995. Die Urwälder der Westkarpaten, Stuttgart, Fischer, 310 pp.

MCPFE, 2003. Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management: as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting 7-8 October 2002, Vienna, Austria.

Le volume de bois mort sur pied atteint $41 \pm 5\%$ du volume total de bois mort dans les îlots de sénescence du Jura et $33 \pm 5\%$ dans ceux du Plateau. Ces valeurs confirment les résultats obtenus dans une étude menée dans les hêtraies européennes mises en réserve où la proportion des arbres morts sur pied oscille entre 25 et 45% (Christensen et al. 2005^{20}). La conservation des espèces saproxyliques requiert un certain équilibre entre les quantités de bois mort au sol et sur pied. Par exemple, de nombreuses espèces d'insectes et de champignons montrent une forte préférence pour les arbres morts sur pied exposés au soleil et les pics en dépendent directement.

Après une quarantaine d'années de non exploitation, des quantités importantes de bois mort peuvent donc être observées dans les forêts du Jura et du Plateau. La répartition spatiale du bois mort au sein des îlots de sénescence est très hétérogène, ce qui entraîne une grande variabilité des quantités de bois mort autant dans le Jura que sur le Plateau. Cette observation est également connue des forêts naturelles. Par conséquent, plusieurs répétitions doivent être effectuées pour déterminer la quantité de bois mort présente dans un îlot (4 placettes dans notre cas).

4.4 Critère 3 : Structures d'habitat

Au total 116 ± 13 structures d'habitat présentes sur 81 ± 7 arbres ont été recensées à l'hectare dans les îlots de sénescence du Jura et 183 ± 14 présentes sur 116 ± 10 arbres sur le Plateau (Tableau 7). Cette différence s'explique par la proportion de résineux (épicéa et sapin blanc) plus élevée dans les forêts du Jura que dans celles du Plateau (Figure 8). Les résineux étant de par leur architecture moins favorables aux structures d'habitat, ces dernières sont moins fréquentes dans les forêts du Jura. Par exemple, le nombre de branches mortes (≥ 20 cm de diamètre) est de trois fois plus élevé sur le Plateau que dans le Jura. Cette observation nous pousse à encourager les îlots de sénescence dans des peuplements mixtes ou de feuillus plutôt que dans des forêts de résineux.

Cependant, même si la contribution aux structures d'habitat des résineux reste modeste (Jura : 14% et Plateau : <1%), ils servent d'habitat à de nombreuses espèces saproxyliques spécialisées une fois mort (Dodelin 2006²¹). Leur maintien est donc également souhaité, même si de leur vivant, ils ne représentent qu'un potentiel d'habitat limité.

²⁰ Christensen et al. 2006. Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. Forest Ecology and Management. 267-282.

²¹ Dodelin B. 2006. Ecologie des coléoptères saproxyliques dans les forêts de l'étage montagnard des Alpes du nord françaises. Annales de la Société entomologique de France 42: 231-243.

Tableau 7 : Caractéristiques des îlots de sénescence étudiés du Jura et du Plateau. Mesure à l'ha ± erreur standard et pourcentage du total en ().

Caractéristiques	Jura Plateau	
Tronc creux	6 ± 3 (5%)	1 ± 1 (1%)
Cavité de pic	1 ± 1 (1%)	2 ± 1 (1%)
Cavité naturelle	6 ± 2 (5%)	10 ± 3 (5%)
Cavité à la souche	17 ± 4 (15%)	20 ± 3 (11%)
Branche morte	21 ± 5 (18%)	67 ± 6 (37%)
Branche cassé	20 ± 4 (17%)	38 ± 5 (21%)
Fourche	22 ± 4 (19%)	31 ± 5 (17%)
Fourche cassée	1 ± 1 (1%)	2 ± 1 (1%)
Blessure ≥ 600cm ²	15 ± 2 (13%) 10 ± 2 (5%	
Fente ≥ 100cm	7 ± 2(6%) 2 ± 1 (1%)	
Total des structures d'habitat	116 ± 13 (100%)	183 ± 14 (100%)
Nombre d'arbres avec structures d'habitat	81 ± 7	116 ± 10

Les observations des structures d'habitat mettent en évidence la fréquence des structures visibles depuis le sol. Trois catégories de structures d'habitat basées sur leur fréquence apparaissent :

- Structures d'habitat fréquentes (> 10 structures par hectare): cavités à la souche, branches mortes et cassées, fourches, blessures ≥ 600 cm² (Jura)
- Structures d'habitat peu fréquentes (3–10 structures par hectare) : tronc creux (Jura), cavités naturelles, Blessure ≥600 cm2 et fente ≥ 100 cm (Jura)
- Structures d'habitat rares (< 3 structures par hectare): troncs creux (Plateau), cavités de pic, fourches cassées, fentes de plus de 100 cm (Plateau). Les structures qui n'ont pas été considérées dans cette étude en raison de leur fréquence trop faible appartiennent également à cette catégorie.

La rareté de certaines structures peut s'expliquer par la difficulté de les observer depuis le sol (par exemple les cavités de pic dans la couronne). Cependant, une attention particulière devra être vouée aux structures d'habitats peu fréquentes et rares car leur présence dans les îlots de sénescence serait souhaitable. Ainsi, le gestionnaire ne devrait pas hésiter à agrandir de quelques ares la surface d'un îlot de sénescence pour englober de telles structures.

4.4.1 Quel diamètre pour les arbres des îlots de sénescence ?

Les inventaires de structures d'habitat requièrent beaucoup de temps et les forestiers n'ont pas les ressources nécessaires (temps, finances) pour réaliser de tels inventaires sur des surfaces potentielles pour les îlots de sénescence. Certains indicateurs sont donc nécessaires. Le diamètre (DHP) montre une corrélation significative et positive avec toutes les structures d'habitat considérées à l'exception des troncs creux et des fourches cassées. Pour le Jura et le Plateau, deux « diamètres optimum » pour les

structures d'habitat on étés déterminés. Le diamètre optimum est le diamètre à partir duquel la probabilité que l'arbre porte des structures d'habitat dépasse 100% ou atteint son maximum.

Sur le Plateau, à partir de 60 cm de diamètre (DHP), la probabilité de rencontrer au moins une structure d'habitats dépasse les 100% et continue d'augmenter pour les arbres de diamètre supérieur pour atteindre plus de 2.5 structures d'habitat par arbre de plus de 90 cm DHP (Figure 10). L'augmentation du nombre de structures d'habitat par arbre est due à la dominance des grands chênes et hêtres très riches en structures d'habitat. Le diamètre optimum pour les structures d'habitat se situe donc à 60 cm DHP sur le Plateau.

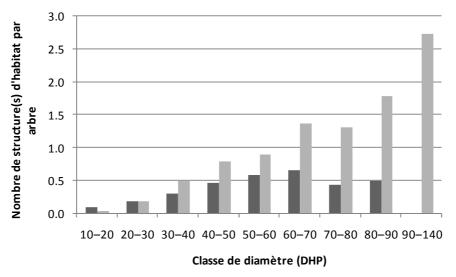


Figure 10: Nombre de structures d'habitat par arbre pour le Jura (gris foncé) et pour le Plateau (gris clair).

Dans le Jura, le nombre de structures d'habitat atteint son maximum avec 57% dans la classe de diamètre 60–70 cm (Figure 10). Contrairement au Plateau, le nombre de structures par arbre ne dépasse pas 1 et redescend pour les arbres de plus grande taille. Cette baisse des structures d'habitat à partir de 70 cm de DHP est due à la proportion de sapin blanc, pauvre en structures, qui dépasse les 75% du nombre de tiges pour les classes de diamètre supérieures.

Cette observation met en évidence l'importance des essences de feuillus dans la perspective de protection des espèces saproxyliques. Les structures d'habitat des résineux sont rares et atteignent uniquement 0.26 structure/arbre pour un diamètre de 70–80 cm (Figure 11). Pour les essences de feuillus du Jura, le nombre de structures d'habitat dépasse 1 à partir d'un diamètre de 50 cm (Figure 12). Le diamètre optimum pour les structures d'habitat se situe donc à 50 cm DHP pour les feuillus et à 70 cm pour les résineux dans le Jura.

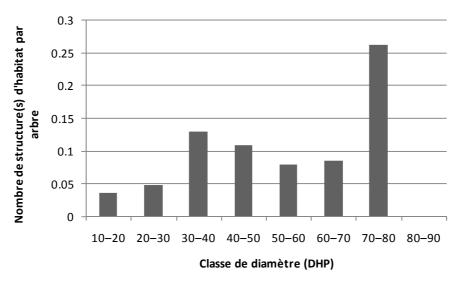


Figure 11: Nombre de structures d'habitat par arbre (résineux uniquement) pour le Jura.

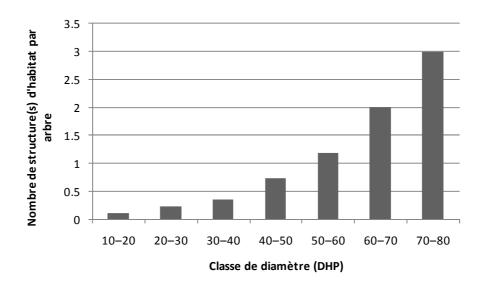


Figure 12 : Nombre de structures d'habitat par arbre (feuillus uniquement) pour le Jura.

Sur le Plateau, 53 ± 5 arbres par hectare dépassent 60 cm de DHP (Tableau 5). En sachant que les 183 ± 14 structures d'habitat se retrouvent sur 116 ± 10 arbres (Tableau 7), nous en déduisons que la présence de 50 à 60 arbres par hectare de plus de 60 cm DHP (Tableau 1), assure la présence de la moitié des structures d'habitat. Par conséquent, l'autre moitié des structures d'habitat se retrouve sur des arbres < 60 cm DHP, ce qui est confirmé par la répartition normale du total des structures de d'habitat (Figure 13).

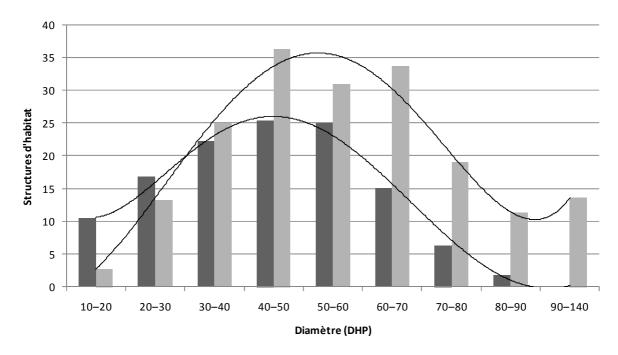


Figure 13 : Total des structures d'habitats par rapport aux classes de diamètres pour le Jura (gris foncé) et le Plateau (gris clair).

Dans le Jura, le nombre total du nombre de résineux \geq 70 cm DHP et du nombre de feuillus \geq 50 cm DHP atteint 45 arbres par hectare (18 résineux et 27 feuillus). Sachant que les 116 \pm 13 structures d'habitat du Jura se retrouvent sur 81 \pm 7 arbres dans le Jura (Tableau 7), nous en déduisons que la présence de 40 à 50 arbres (résineux \geq 70 cm et feuillus \geq 50 cm DHP) assure la présence de la moitié des structures d'habitat.

Dans les îlots de sénescence où toutes les phases du développement de la forêt sont présentes, nous supposons que si 50 à 60 arbres/ha ≥ 60 cm (Plateau) et que 40-50 arbres/ha (résineux et feuillus, Jura) sont présents, les arbres à plus petits diamètres sont également présents, donc la totalité des structures d'habitat devraient également s'y retrouver.

Le critère du diamètre optimum pour les structures d'habitat ne peut cependant pas être utilisé seul pour la sélection d'îlot de sénescence, mais dans un vieux peuplement, il peut servir à confirmer la présence d'un maximum de structures d'habitat.

4.5 Critère 4 : Surface des îlots de sénescence

La surface des îlots de sénescence ne joue pas uniquement un rôle important pour la capacité de métapopulation à l'échelle du paysage (voir Chapitre 6), mais elle est également primordiale pour la capacité de conservation des espèces saproxyliques en assurant en continu la présence d'une quantité importante de vieux arbres et de bois mort.

Par défaut, toutes les surfaces trop petites pour être placées en réserve forestière intégrale peuvent être considérées comme îlots de sénescence pour autant qu'elles soient vouées à la conservation des espèces saproxyliques. La limite supérieure de la surface se situe donc à 20 ha, surface à partir de laquelle la forêt pourrait être placée sous le statut de réserve intégrale. La question de la surface minimale reste cependant ouverte. La pratique montre que généralement plus les objets sont petits, plus l'acceptance

par les propriétaires est grande et leur mise en place aisée. Si ces arguments sont fondés d'un côté pragmatique, les aspects écologiques ne peuvent pas être ignorés.

Afin d'assurer un continu au niveau de la production de bois mort et d'offrir ainsi un habitat durable aux saproxyliques, un îlot de sénescence devrait présenter en continu toutes les phases de succession de la mosaïque sylvatique. Cinq phases sylvigénétiques peuvent être généralement considérées (d'après Gilg 2004²²):

- 1. Phase de régénération
- 2. Phase d'accroissement
- 3. Phase optimale
- 4. Phase de sénescence
- 5. Phase de déclin

Pour la conservation des espèces saproxyliques, les phases de sénescence et de déclin sont indispensables.

D'après Carbiener (1996²³), Blandin (1995²⁴), Schnitzler (1996²⁵) et Rolstad (2001²⁶) la surface des îlots de sénescence et leur capacité à fournir en continu du bois mort et des vieux arbres sont étroitement liés :

- Une surface de quelques dizaines d'ares permet temporairement le maintien d'une phase de sénescence ou de déclin (conservation ponctuelle de quelques arbres sénescents).
- Une surface de 1 hectare permet le maintien en permanence de bois mort et d'arbre mort sur pied.
- Une surface de quelques dizaines d'hectares permet de conserver et d'entretenir les 5 phases de la sylvigenèse.
- Une surface de quelques centaines d'hectares permet d'entretenir et de conserver toute la panoplie de diversité des 5 phases fondamentales de la sylvigenèse.

Une **éco-unité** est définie comme une surface où à un moment donné un développement de végétation a commencé. C'est l'emplacement libéré par la mort d'un ou de plusieurs arbres simultanément. En considérant des éco-unités avec un diamètre de 15 à 50 m (un seul grand arbre à un groupe d'arbres) (Gilg 2004²⁰) et en tenant compte de la proportion de temps des phases produisant des vieux arbres et du bois mort (sénescence et déclin), nous obtenons un ordre de grandeur pour les surfaces des îlots de sénescence (Tableau 8).

Il faut préciser que cette évaluation de la surface des îlots de sénescence reste un modèle théorique idéal. La différence d'âge entre les éco-unités est telle qu'elles sont uniformément réparties dans le temps, afin d'assurer la succession des phases de sénescence/déclin sans interruption. De telles situations ne se rencontrent que très rarement dans des forêts à caractère naturel d'autant plus lorsque leur surface est restreinte. Afin d'assurer une quantité de bois mort minimale, 10 éco-unités au stade producteur de bois mort (sénescence et déclin) ont été considérées dans les calculs.

 $^{^{22}}$ Gilg, O. 2004. Forêt à caractère naturel. Caractéristiques, conservation et suivi. GIP ATEN, Montpellier (2004), 97 p.

²³ Carbiener, D. 1996. Pour une gestion écologique de la forêt européenne. CE, 29, 19-38.

²⁴ Blandin P., 1995. Les forêts : développement ou conservation durable ? CE, 25, 47-52.

²⁵ Schnitzler A., 1996. Les forêts primaires tempérées d'Europe, mythes et réalités. *La Recherche*.

²⁶ Rolstad, J., Gjerde, I., Gundersen V.S., Sætersdal, M. 2001.Use of Indicator Species to Assess Forest Continuity: a Critique. Conservation Biology. 16: 1. 253-257.

Tableau 8: Surface des les îlots de sénescence considérant un minimum de 10 éco-unités au stade de sénescence/déclin par îlot de sénescence. Eco-unité minimale de \varnothing 15m (1 arbre), éco-unité maximale de \varnothing 50m (groupe d'arbres).

Proportion en temps des phases de sénescence et de déclin	Nombre minimal d'éco- unités pour assurer la présence des phases de sénescence/déclin dans l'îlot	Surface minimum d'îlot de sénescence assurant une phase de sénescence/déclin [ha]		
par rapport au cycle complet		pour éco-unité Ø 15 m	pour éco-unité Ø 50 m	
1/2	2	0.4	3.9	
1/3	3	0.5	5.9	
1/4	4	0.7	7.9	
1/5	5	0.9	9.8	
1/10	10	1.8	19.6	
1/20	20	3.5	39.3	

Dans le cas ou les phases produisant des vieux arbres et du bois mort représentent la moitié du temps d'un cycle (par exemple 200 ans si le cycle complet dure 400 ans), une surface de 0.4 hectare semble assurer la surface minimale pour plusieurs éco-unités au stade de sénescence/déclin pour autant que l'arbre soit considéré comme éco-unité, ce qui suppose un dynamisme doux, comme dans les forêts tempérées d'Europe.

Deux types d'îlots de sénescence pourraient donc être considérés:

- Les îlots de sénescence permanents: îlot de grande taille restant au même endroit. Les stades de sénescence et/ou déclin sont présents en permanence assurant ainsi en continu la présence de vieux arbres et de bois mort à tous les stades de décomposition.
- Les îlots de sénescence itinérants: îlot de petite taille ne pouvant assurer la persistance de vieux arbres et de bois mort après la phase de déclin. Une fois la totalité des arbres tombés et partiellement décomposés, l'îlot doit être déplacé.

Il en revient donc au forestier de constater si l'îlot de sénescence en question présente des phases de sénescence ou de déclin en permanence. Dans le cas contraire, il devrait opérer au déplacement (dans un périmètre de 1000 m) ou à l'agrandissement de l'îlot, afin qu'il puisse perpétrer sa fonction pour la conservation des saproxyliques.

4.6 Critère 5: Sécurité

La sécurité est un thème récurrent lorsque la question des vieux arbres et du bois mort apparaît. Dans la mesure du possible, une distance de 30 mètres devrait séparer les îlots de sénescence des routes et chemins fréquentés. Cependant, tous les chemins forestiers ne peuvent pas être considérés comme tels. De plus, la proximité des zones de loisirs devrait être évitée ou alors, le publique doit être informé des dangers potentiels.

Le cas de la réserve intégrale de Sauvabelin (Lausanne) est remarquable et prouve que les vieux arbres et le bois mort ne sont pas incompatibles avec une zone de détente et de loisir et la proximité de routes et chemins fréquentés. Par une gestion appropriée (surveillance et abattages des arbres de lisières menaçants), et grâce à une bonne information (installation de panneaux d'information autour de la réserve, marquage physique de la bordure de la réserve), il est tout à fait possible, malgré le danger

potentiel que peut représenter une telle forêt, de planifier des îlots de sénescence dans des secteurs critiques. L'effet didactique d'un tel objet est également important. Cependant, de tels objets doivent être bien suivis et les dangers potentiels éliminés à temps.

Tableau 9 : Résumé des différents critères pour la sélection des îlots de sénescence. Les valeurs sont à comprendre comme des valeurs cible

Catégo	ories Critères	Jura	Plateau	Oui	Non
Arbres vivants	DDOM ¹	60 ± 2cm	63 ± 3cm		
	Volume	578 ± 27 m³/ha	583 ± 32 m³/ha		
Arb	Nombre d'arbres ≥ 80 cm DHP ²	5 ± 2	11 ± 2		
	Essences forestières dominantes adaptées à la station				
t	Volume au sol	$73 \pm 15 \text{ m}^3/\text{ha}$	47 ± 7 m³/ha		
Bois mort	Volume sur pied	58 ± 14 m³/ha	$24 \pm 5 \text{ m}^3/\text{ha}$		
ois	Nombre d'arbres \geq 30 cm DHP ²	18 ± 5/ha	8 ± 2/ha		
8	Nombre d'arbres ≥50 cm DHP ²	9 ± 3/ha	3 ± 1/ha		
	Structures d'habitat fréquentes ³	95 ± 4/ha	156 ± 4/ha		
Structures d'habitat	Structures d'habitat peu fréquentes ⁴	19 ± 1/ha	20 ± 2/ha		
	Structures d'habitat rares ⁵	2 ± 1/ha	7 ± 1/ha		
tru d'ha	DHP ² optimum pour les	40–50 arbres:	50–60 arbres		
5	structures d'habitat	Résineux ≥ 70cm	≥ 60cm		
		Feuillus ≥ 50 cm	4.1		
S S	Surface minimale (evtl. itinérant)	0.4 ha-			
Surface	Surface moyenne	1 ha-!	5 ha		
าร	Surface grande	≥ 5 ha			
,e,	Distance aux routes ou chemins	≥ 30	0 m		
l rit	fréquentés				
Sécurité	Signalisation pour les utilisateurs dans les zones récréatives ⁶				
Total					•

¹DDOM : diamètre moyen des 100 arbres les plus grands par ha

²DHP : diamètre à hauteur de poitrine

³ Structures d'habitat fréquentes: cavités à la souche, branches mortes et cassées, fourches, blessures de plus de 600 cm² (Jura)

⁴ Structures d'habitat peu fréquentes : tronc creux (Jura), cavités naturelles, Blessure ≥ 600 cm² et fente ≥ 100 cm (Jura)

⁵ Structures d'habitat rares : troncs creux (Plateau), cavités de pic, fourches cassées, fentes de plus de 100 cm (Plateau)

⁶ Place de pique-nique, parcours vita, itinéraires pédestre, vtt, équestre...

4.7 Synthèse : îlot de sénescence

Définition : Surface de forêt où l'on renonce à toute exploitation et sur laquelle les arbres sont laissés jusqu'à leur décomposition complète en vue de favoriser la conservation des espèces dépendantes des vieux arbres et du bois mort.

Les critères du tableau 9 devraient être positifs (oui) pour au moins un objet par catégorie.

L'objectif des îlots de sénescence étant avant tout d'assurer la conservation des espèces saproxyliques, il est indispensable que certaines des caractéristiques recensées dans les îlots de sénescences déjà matures y soient présentes ou au moins potentiellement présentes. Deux approches peuvent donc être considérées pour la sélection des îlots de sénescence :

- 1. Sélection des îlots de sénescence dans les forêts où les valeurs cible sont atteintes (critères du tableau 9)
- 2. Sélection des îlots de sénescence dans les forêts où les valeurs cible représentent un potentiel pas encore réalisé, mais qui seront atteintes dans un futur proche.

Deux types d'îlots de sénescence peuvent être considérés :

- 1. Les îlots de sénescence permanents: l'îlot reste au même endroit car les stades de sénescence et/ou déclin sont présents en permanence, donc la présence de vieux arbres et de bois mort à tous les stades de décomposition est garantie en continu dans l'îlot.
- 2. Les îlots de sénescence itinérants: îlot de petite taille ne pouvant assurer la persistance de vieux arbres et de bois mort après la phase de déclin. Une fois la totalité des arbres tombés et partiellement décomposés, l'îlot doit être déplacé.

5. ARBRES-HABITAT

Jusqu'à présent, le concept d' « arbre-habitat » fut véhiculé sous la notion d' « arbre biotope », issue de la traduction de l'allemand « Biotopbaum ». Cependant, la traduction littérale « arbre biotope » n'est pas satisfaisante, le biotope étant une composante d'un écosystème constitué par ses dimensions physicochimiques et spatiales. La notion d'arbre-habitat semble mieux appropriée, car l'habitat correspond au lieu où vit une espèce et à son environnement immédiat à la fois biotique et abiotique (Ramade, 1993²⁷).

Les structures d'habitat potentiel suivantes sont reconnues internationalement comme critères pour la détermination des arbres-habitat (voir également Annexe 1 pour illustration):

- Très vieux arbres ou arbres gigantesques
- Arbre partiellement mort ou partiellement cassé
- Arbres avec aire d'oiseau
- Arbre avec tronc fendu, arbre foudroyé etc.
- Arbre avec cime cassée ou arbre à fourche
- Arbre à cavité (cavité de pic, naturelle, tronc creux)
- Arbres à champignons (polypores)

Les arbres morts sur pied appartiennent au bois mort et n'entrent pas dans la catégorie des arbres habitats. A notre avis, les arbres morts sur pied doivent tous être maintenus en forêt à l'exception de dangers physiques ou phytosanitaires.

5.2 Sélection des arbres-habitats

Les arbres-habitat comprennent entre autres tous les arbres très vieux ou gigantesques mais aussi ceux présentant des structures d'habitat potentiel pour la flore et la faune tels que cavité, zone en décomposition, blessures, branches cassées etc. Toutefois, les observations de structures d'habitat requièrent beaucoup de temps et ne peuvent pas être menées sur la totalité de la surface forestière. Si les structures d'habitat font défaut ou ne sont pas visibles, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) peut apporter un soutien à la sélection des arbres. En se basant sur la même réflexion que celle faite pour les arbres des îlots de sénescence (voir Chapitre 4) nous recommandons les diamètres suivants pour la sélection d'arbres-habitat lorsque les structures d'habitats ou arbres particuliers (arbres très vieux ou gigantesques) font défaut :

Plateau : ≥ 60 cm DHP

• Jura: résineux ≥ 70 cm DHP et feuillus ≥ 50 cm DHP

²⁷ Ramade, F. 1993. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Ediscience international, Paris.

D'autres critères tels que l'esthétisme, l'architecture, la symbolique peuvent également être considérés pour la sélection des arbres-habitat. La définition de ces critères reste cependant du ressort et de la subjectivité personnelle des forestiers.

5.3 Nombre d'arbres-habitat par hectare

Dans les îlots de sénescence du **Jura**, 81 ± 7 arbres/ha peuvent être considérés comme arbres-habitat (porteur d'au moins une structure d'habitat, Tableau 7). En y ajoutant les très gros arbres (≥ 80 cm DHB), nous obtenons 85 ± 7 arbres-habitats/ha.

Sur le Plateau, 116 ± 10 arbres/ha (arbres ≥ 80 cm inclus) peuvent être considérés comme arbres-habitats dans les ilots de sénescence. Le nombre d'arbres-habitat n'augmente pas en y associant les très gros arbres, car tous les très gros arbres sont porteurs de structures d'habitat.

Considérant l'objectif de l'Union mondiale pour la nature de placer sous protection effective au moins 10% de la surface de chaque pays (Soulé and Sanjayan, 1998²⁸), nous pouvons retenir ces 10% pour la conservation des arbres-habitat dans les forêts non protégées. Nous estimons qu'en dehors des réserves et des îlots de sénescence au moins 8 arbres-habitat/ha devraient être maintenus dans le Jura et 12 arbres-habitat/ha sur le Plateau.

5.4 Synthèse : arbre-habitat

Définition : Arbre vivant non exploité jusqu'à décomposition complète et présentant des structures servant d'habitat à différents organismes (faune et flore)

Critères :

- Arbre très vieux
- Arbre gigantesque
- Arbres avec structure(s) d'habitat
- DHP ≥ 60 cm (Plateau)*
- DHP ≥ 70 (résineux, Jura)*
- DHP ≥ 50 cm (feuillus, Jura)*
- Arbre particulier (esthétique, architecture, symbolique, ...)

(*si aucune structure d'habitat n'est visible)

Nombre d'arbres-habitat à l'hectare :

- Jura : ≥ 8 arbres-habitat
- Plateau : ≥ 12 arbres-habitat

²⁸ Soulé, M.E., Sanjayan, M.A. 1998. Conservation Targets: Do They Help? Science 279, 2060-2061.

6 METAPOPULATION

Les cantons de Vaud et du Jura ont été retenus comme cantons pilotes pour une première étude des métapopulations des espèces saproxyliques et de leur viabilité à long terme. Une métapopulation est un groupe de populations d'une même espèce séparées spatialement les unes des autres et qui interagissent entre elles.

Les deux cantons retenus font partie des cantons prioritaires pour la conservation des espèces saproxyliques au niveau suisse (Bütler et al. 2006²⁹). Jusqu'à présent, les efforts pour la conservation des espèces saproxyliques (création de réserves forestières) étaient surtout orientés en fonction de la phytosociologie et d'opportunité. Cependant, leur organisation au niveau du paysage ne tient pas compte des exigences spatiales des nombreuses espèces animales organisées en métapopulations dépendantes du bois mort et des vieux arbres. Si pour certaines espèces de petite taille et peu mobiles une population peut se résumer à un arbre ou à un groupe d'arbres, d'autres espèces nécessitent de très grandes surfaces pour établir une population. C'est pourquoi le dernier but de cette étude était de tester la viabilité à long terme des réseaux planifiés de réserves forestières et d'îlots de sénescence pour le maintien de telles espèces.

Nous nous appuyons sur le modèle de métapopulation élaboré par Hanski et Ovaskainen (200030). Ce modèle d'incidence utilise la notion de « patch » qui sous-entend ici toutes les surfaces forestières (réserves, îlots de sénescence) pouvant accueillir une espèce. Il se base sur l'organisation spatiale des patches potentiels (matrice des distances inter-patches), sur les surfaces des patches ainsi que sur leur occupation par l'espèce étudiée. La distance spécifique moyenne de dispersion, le taux de colonisation (c) et d'extinction (e) (c et e pour 1 km2) doivent également être connus ou évalués pour chaque espèce. La capacité de métapopulation, la contribution de chaque patch ainsi que la résolution du système livrent des informations indispensables à l'étude des métapopulations ainsi qu'à l'évaluation de leur durabilité.

La capacité de métapopulation est la somme des contributions des patches du système qui participent au maintien d'une métapopulation. Cette valeur mesure l'impact de la structure paysagère, de la quantité d'habitat et de sa configuration spatiale sur la persistance de la métapopulation (Hanski et Ovaskainen 200026). Pour un paysage donné, la capacité de métapopulation augmente avec la distance de migration de l'espèce considérée. La capacité de métapopulation pour une espèce (distance de migration constante) permet une comparaison directe de paysages fragmentés rendant ainsi possible leur classification en termes de capacité de maintien d'une métapopulation.

Le modèle utilisé étant spécifique pour les habitats fragmentés, les patches sont considérés comme isolés en dehors desquels aucune ressource n'est disponible pour les espèces saproxyliques. Les patches proposés par les cantons sont supposés fournir les conditions nécessaires au maintien des espèces saproxyliques, c'est-à-dire que les quantités de vieux arbres et de bois mort sont suffisantes pour la conservation de l'espèce étudiée.

_

²⁹ Bütler, R., Lachat, T., Schlaepfer, R. 2006. Saproxylische Arten in der Schweiz: ökologische Potenzial und Hotspots. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen: 157, 6. 208-216.

³⁰ Hanski, I., Ovaskainen, O. 2000. The metapopulation capacity of a fragmented landscape. Nature: 404. 755-758.

Dans le cadre de ce rapport, nous testons la viabilité du système de réserves ou d'îlots de sénescence prévu par le canton. Un seul scénario est présenté par espèce. Un deuxième scénario est proposé lorsque le premier scénario n'est pas favorable à l'espèce. De plus amples analyses seraient nécessaires pour une utilisation des résultats en vue d'un plan d'action spécifique et pour tester d'autres scénarios.

6.1 Sélection des patches potentiels et des patches occupés

Les patches situés dans l'habitat potentiel des espèces considérées on été déterminés en superposant les patches potentiels fournis par les cantons avec l'habitat potentiel de chaque espèce. L'habitat potentiel est la région où les facteurs éco-géographiques sont favorables à l'espèce considérée. L'habitat potentiel a été obtenu par une approche de modélisation avec le programme BioMapper (Hirzel et al. 2002³¹, Bütler et al. 2006³²). Une région est considérée comme favorable pour une espèce si la valeur de la viabilité de l'habitat est ≥ 50%.

Les patches sont considérés comme occupés lorsqu'ils coïncident avec les zones où la viabilité de l'habitat est ≥ 90% ou lorsqu'ils coïncident avec une observation. Lorsque des observations se situent en dehors de l'habitat potentiel modélisé, ce dernier est agrandi.

Une zone tampon de 1.5 km a été installée autour des régions potentielles et des observations pour les coléoptères et un tampon de 5 km a été considéré pour les oiseaux. Cette zone tampon représente la zone accessible par les espèces considérées en partant soit du centre d'un habitat potentiel ou du centre d'une zone occupée.

6.2 Espèces considérées

Nous avons sélectionné 4 espèces pour l'étude des métapopulations saproxyliques issues de la proposition d'un programme d'action soumis à la Confédération pour la conservation de la biodiversité en forêt par les deux cantons pilotes (VD et JU). Une carte de l'habitat potentiel et des régions occupées est présentée pour chaque espèce au début de chaque chapitre concernant les espèces.

- Lucane cerf-volant (Lucanus cervus)
- Rosalie des Alpes (Rosalia alpina)
- Pic cendré (Picus canus)
- Pic mar (Dendrocopos medius)

³¹ Hirzel, A.H., Hausser, J., Chessel, D., Perrin, N., 2002. Ecological-niche factor analysis: How to compute habitat- suitability maps without absence data? Ecology 83, 2027-2036.

³² Bütler, R., Lachat, T., Schlaepfer, R. 2006. Saproxylische Arten in der Schweiz: ökologische Potenzial und Hotspots. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen: 157, 6. 208-216.

6.3 Canton pilote: Vaud

Dans le canton de Vaud, 132 patches potentiels appartenant à la priorité 1 et 2 du classement du Centre de conservation de la faune et de la nature (CCFN) et/ou de Pro Natura ont été retenus pour les espèces saproxyliques. Cette liste est constituée de réserves forestières existantes, de réserves Pro Natura en forêt et des projets de futures réserves (données fournies par P. Fouvy).

Les réserves potentielles et actuelles du canton de Vaud (priorité CCFN et/ou Pro Natura 1 et 2) couvrent au total 5'544 ha, ce qui représente 5.3% de la surface totale des forêts du canton de Vaud (98'400 ha, IFN³³). La grandeur moyenne des patches atteint 42 ha. Cependant, la médiane se situe à 13 hectares. Ce résultat montre que la majorité des patches potentiels est composée de patches de taille moyenne à petite. Plus de 60% des patches ne dépassent pas la limite de 20 ha fixée comme surface inférieure pour les réserves.

Parmi les 132 patches retenus, aucun n'a une surface inférieure à 1 ha. Des îlots de sénescence de petite taille pourraient être ajoutés aux 132 patches potentiels afin de resserrer le maillage et d'améliorer ainsi la mise en réseau.

٠

³³ Inventaire forestier national suisse: http://www.lfi.ch/resultate/kantone-f.php

6.3.1 Lucane cerf-volant (Lucanus cervus)

6.3.1.1 Scénario 1

Dans un premier scénario, les 15 patches coïncidant avec les chênaies de grande valeur (Mühlethaler et al., 200734) ont été retenus.

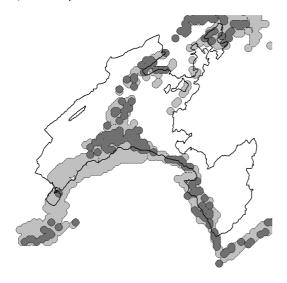


Figure 14: Habitats potentiels (gris clair) et habitats occupés (gris foncé) pour le lucane cerf-volant.

Nombre de patches	15
Nombre de patches	7
occupés	
Distance de migration	1.5 km
Colonisation	0.2
Extinction	0.05
Capacité de	0.38
métapopulation	
Nombre de patches	4
contribuant	

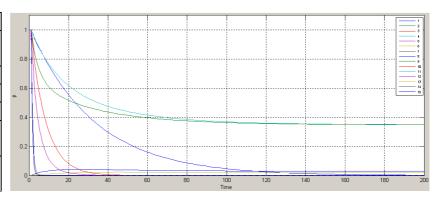


Figure 15: Modèle de métapopulation pour le lucane cerf-volant dans le canton de Vaud considérant les patches potentiels situés en chênaies de grande valeur. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

³⁴ Mühlethaler U, Reisner Y, Rogiers N, 2007. Potenzielle Eichenwuchsgebiete und wertvolle Eichenwälder in der Schweiz. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, Zollikofen. 95 S.

6.3.1.2 Scénario 2

Dans un deuxième scénario, toutes les chênaies de grande valeur situées dan la zone d'habitat potentiel du lucane cerf-volant ont été considérées (73 patches).

Nombre de patches	73
Nombre de patches	13
occupés	
Distance de migration	1.5 km
Colonisation	0.2
Extinction	0.05
Capacité de	0.81
métapopulation	
Nombre de patches	17
contribuant	

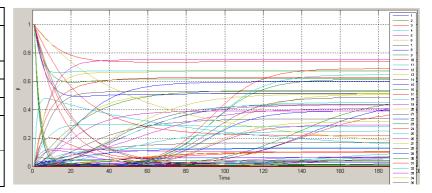


Figure 16: Modèle de métapopulation pour le lucane cerf-volant dans le canton de Vaud considérant les chênaies de grande valeur. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

6.3.1.3 Discussion: Lucane cerf-volant

Considérant la faible distance de dispersion moyenne du Lucane cerf-volant (1.5 km) et l'organisation spatiale des chênaies de grande valeur, le système de patches en chênaie a une faible capacité de métapopulation (0.38). De plus, seulement 4 patches contribuent à la capacité de métapopulation. La résolution du système (graphique en fonction du temps et de la probabilité d'occupation d'un site (Figure 2) montre que les patches occupés ne se maintiennent pas.

Comparé au premier scénario, le deuxième scénario est nettement plus favorable au lucane. De nombreux patches occupés se maintiennent et d'autres non occupés au départ sont colonisés. Cependant, bien que la capacité de métapopulation ait plus que doublé, elle reste faible et uniquement 17 patches du système contribuent à la capacité de métapopulation. De nombreux patches restent vides ou voient leur population s'éteindre en raison du manque de connectivité.

6.3.2: Rosalie des Alpes (Rosalia alpina)

6.3.2.1 Scénario 1

Le premier scénario considère tous les patches situés dans l'habitat potentiel de la rosalie des Alpes (59 patches).

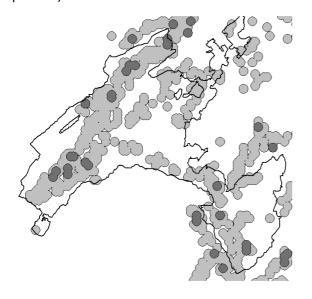


Figure 17: Habitats potentiels (gris clair) et habitats occupés (gris foncé) pour la rosalie des Alpes.

Nombre de patches	59
Nombre de patches	5
occupés	
Distance de migration	1.5 km
Colonisation	0.2
Extinction	0.05
Capacité de	0.38
métapopulation	
Nombre de patches	7
contribuant	

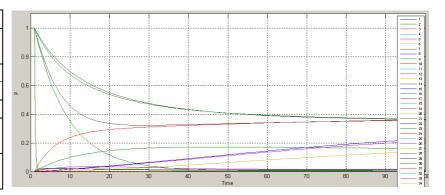


Figure 18: Modèle de métapopulation pour la rosalie des Alpes dans le canton de Vaud considérant les patches potentiels. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

6.3.2.2 Scénario 2

Le scénario 2 prévoit un doublement de la surface des réserves pour la rosalie, cependant le nombre de patches reste constant (59 patches).

Nombre de patches	59
Nombre de patches	5
occupés	
Distance de migration	1.5 km
Colonisation	0.2
Extinction	0.05
Capacité de	1.56
métapopulation	
Nombre de patches	8
contribuant	

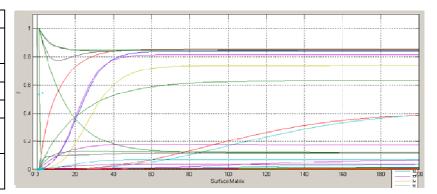


Figure 19: Modèle de métapopulation pour la rosalie des Alpes dans le canton de Vaud considérant les patches potentiels (doublement de la surface). Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

6.3.2.3 Discussion : Rosalie des Alpes

La comparaison des deux scénarios met en évidence le rôle de la grandeur des patches. Le doublement de la surface permet une nette augmentation de capacité de métapopulation (de 0.38 à 1.56). Cependant, le nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation reste similaire (7 et 8 patches). Cette observation met en évidence le fait que pour des espèces dont la distance moyenne de déplacement est restreinte, la capacité de métapopulation est influencée par la surface des patches et leur organisation spatiale, alors que pour des espèces plus mobiles, seule la surface joue un rôle important. D'autres scénarios prévoyant une augmentation des patches de petite surface devraient également être testés.

6.4.1 Pic cendré (Picus canus)

6.4.1.1 Scénario 1

Tous les patches situés dans l'habitat potentiel du pic cendré sont considérés.

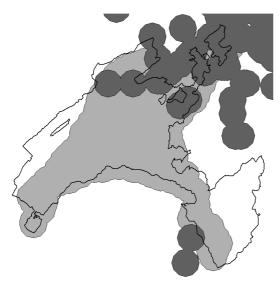


Figure 20: Habitats potentiels (gris clair) et habitats occupés (gris foncé) pour le pic cendré.

Nombre de patches	81
Nombre de patches	15
occupés	
Distance de migration	10 km
Colonisation	0.3
Extinction	0.2
Capacité de	3.22
métapopulation	
Nombre de patches	58
contribuant	

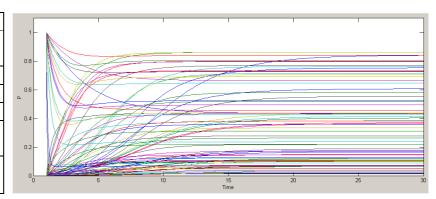


Figure 21: Modèle de métapopulation pour le pic cendré dans le canton de Vaud considérant les patches situés dans l'habitat potentiel de cette espèce. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

6.4.1.2 Discussion: Pic cendré

Avec une distance de dispersion de 10 km et une zone d'habitat potentiel très étendue, le pic cendré semble pouvoir se maintenir sans difficulté dans le canton de Vaud. Il faut cependant remarquer que les surfaces trop petites ne peuvent pas servir d'habitat à une telle espèce, à moins qu'elles forment un réseau bien connecté.

6.5.1 Pic mar (Dendrocopos medius)

6.5.1.1 Scénario 1

Le pic mar étant une espèce inféodée aux chênaies, nous considérons dans un premier scénario les patches situés en chênaies de grande valeur.

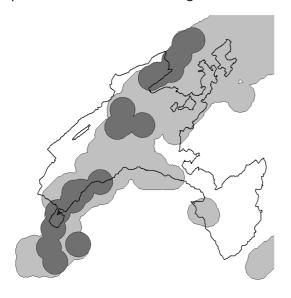


Figure 22: Habitats potentiels (gris clair) et habitats occupés (gris foncé) pour le pic mar.

Nombre de patches	17
Nombre de patches	7
occupés	
Distance de migration	6 km
Colonisation	0.3
Extinction	0.2
Capacité de	0.92
métapopulation	
Nombre de patches	11
contribuant	

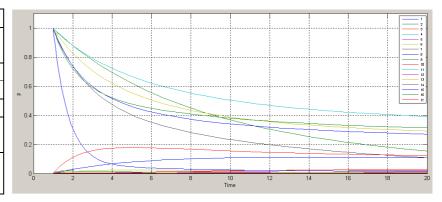


Figure 23: Modèle de métapopulation pour le pic mar dans le canton de Vaud considérant les patches potentiels situés en chênaies de grande valeur. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

6.5.1.2 Scénario 2

Dans le deuxième scénario, nous considérons toutes les chênaies de grande valeur situées dans l'habitat potentiel du pic mar.

Nombre de patches	87
Nombre de patches	35
occupés	
Distance de migration	6 km
Colonisation	0.3
Extinction	0.2
Capacité de	6.81
métapopulation	
Nombre de patches	65
contribuant	

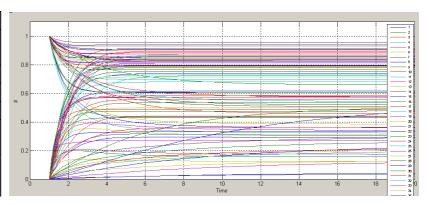


Figure 24: Modèle de métapopulation pour le pic mar dans le canton de Vaud dans les chênaies de grande valeur. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

6.5.1.3 Discussion: Pic mar

Le premier scénario pour le pic mar ne permet qu'une conservation très limitée de cette espèce. La capacité de métapopulation est basse ainsi que le nombre de patches y contribuant. La comparaison avec le deuxième scénario met en évidence le potentiel pour cette espèce si toutes les chênaies de grande valeur étaient considérées comme des habitats potentiels.

6.2.8 Conclusions: canton de Vaud

Considérant le réseau actuel de patches potentiels pour la conservation des saproxyliques, les 4 espèces considérées peuvent se maintenir dans le canton de Vaud. Cependant, leur maintien se fait parfois sur un nombre de patches très limité et la capacité de métapopulation du système reste faible. Seul le pic cendré semble pouvoir se maintenir et même coloniser de nombreux patches si ces derniers offrent des conditions d'habitat favorables. Pour les autres espèces, une amélioration du système de patches est fortement recommandée. Pour les espèces liées aux chênaies (lucane cerf-volant et pic mar), un réseau constitué des chênaies de grande valeur augmente considérablement la capacité de métapopulation et le nombre de patches y contribuant. Pour la conservation de la rosalie des Alpes, un réseau de patches au maillage plus serré devrait être mis en place. Le doublement de la surface des patches améliore certes la capacité de métapopulation, mais le nombre de patches y contribuant reste faible. De plus amples scénarios (entre autre avec un maillage plus serré d'îlot de sénescence de petite taille) devraient être réalisés.

6.4 Canton pilote: Jura

Dans le canton du Jura, 676 patches sont considérés comme habitats potentiels pour les espèces saproxyliques. Les 676 patches sont issus du cumul des réserves actuelles, des projets en cours de réalisation, des projets liés à la N16, des projets dit « Lothar » et du potentiel nature et paysage des forêts jurassiennes (données fournies par N. Buchwalder). La surface totale atteint 3'100 ha ce qui correspond à 8.3% de la surface de forêt du Jura (37'364 ha, 35 IFN). La grandeur moyenne des patches atteint 4.57 ha, cependant la médiane est de 0.52 ha, ce qui met en évidence la prédominance des petites surfaces. 95% des patches ont une surface inférieure à 20 ha et près de la moitié des patches est inférieure à 1 ha. La liste des 676 objets peut donc être considérée comme un concept de réserves forestières et d'îlots de sénescence.

6.4.1 Lucane cerf-volant (Lucanus cervus)

6.4.1.1 Scénario1

Dans un premier scénario, tous les patches situés dans l'habitat potentiel du lucane cerf-volant ont été considérés.

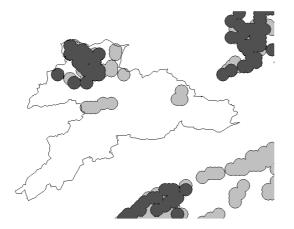


Figure 25: Habitats potentiels (gris clair) et habitats occupés (gris foncé) pour le lucane cerf-volant.

Nombre de patches	151
Nombre de patches	83
occupés	
Distance de migration	1.5 km
Colonisation	0.2
Extinction	0.05
Capacité de	0.08
métapopulation	
Nombre de patches	10
contribuant	

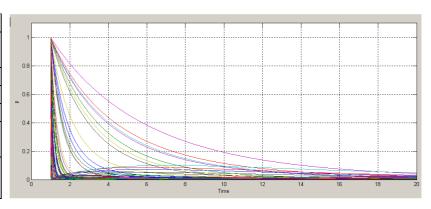


Figure 26: Modèle de métapopulation pour le lucane cerf volant dans le canton du Jura considérant les patches situés dans l'habitat potentiel de cette espèce. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

³⁵ Inventaire forestier national suisse: http://www.lfi.ch/resultate/kantone-f.php

6.4.1.2 Scénario 2

Dans le deuxième scénario, nous considérons toutes les chênaies de grande valeur situées dans l'habitat potentiel du lucane cerf-volant (21 patches).

Nombre de patches	21
Nombre de patches	10
occupés	
Distance de migration	1.5 km
Colonisation	0.2
Extinction	0.05
Capacité de	0.25
métapopulation	
Nombre de patches	10
contribuant	

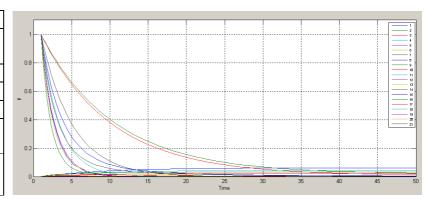


Figure 27: Modèle de métapopulation pour le lucane cerf volant dans le canton du Jura considérant toutes les chênaies de grande valeur situées dans l'habitat potentiel de cette espèce. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

6.4.1.3 Discussion: Lucane cerf-volant

Aucun des deux scénarios (patches dans l'habitat potentiel et chênaies de grande valeur) n'est en mesure de maintenir l'espèce dans le canton du Jura. Bien que la capacité de métapopulation augmente dans le deuxième scénario, elle ne dépasse pas le ratio extinction/colonisation. Ce seuil est considéré comme la valeur limite pour le maintien d'une métapopulation à long terme (Hanski et Ovaskainen, 2000³⁶). De plus le nombre de patches contribuant à la conservation de cette espèce est faible (10 patches pour les deux scénarios). Le lucane ayant une distance de migration de 1.5 km et ses habitats potentiels étant souvent distants les uns des autres, un resserrement du maillage est indispensable pour maintenir cette espèce.

D'autres modélisations de métapopulation devraient considérer toutes les chênaies du Jura afin d'affiner l'habitat potentiel de cette espèce.

³⁶ Hanski, I., Ovaskainen, O. 2000. The metapopulation capacity of a fragmented landscape. Nature: 404. 755-758.

6.4.2 Rosalie des Alpes (Rosalia alpina)

6.4.2.1 Scénario 1

Tous les patches situés dans l'habitat potentiel de la rosalie des Alpes sont considérés (576 patches).

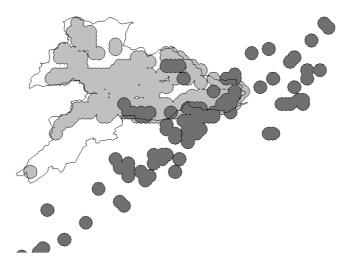


Figure 28: Habitats potentiels (gris clair) et habitats occupés (gris foncé) pour la rosalie des Alpes.

Nombre de patches	576
Nombre de patches	81
occupés	
Distance de migration	1.5 km
Colonisation	0.2
Extinction	0.05
Capacité de	0.48
métapopulation	
Nombre de patches	15
contribuant	

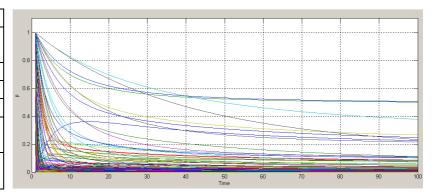


Figure 29: Modèle de métapopulation pour a rosalie des Alpes dans le canton du Jura considérant les patches situées dans l'habitat potentiel de cette espèce. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

6.4.2.2 Discussion : Rosalie des Alpes

Alors que 576 patches se trouvent dans l'habitat potentiel de la rosalie des Alpes, seuls 15 contribuent à la capacité de métapopulation de cette espèce. Par conséquent, la capacité de métapopulation reste faible. Cependant, l'espèce peut tout de même se maintenir dans ce système, mais à très faible densité et elle reste très rare. Le facteur limitant de cette espèce étant avant tout sa capacité à se déplacer (distance moyenne de migration = 1.5 km), un maillage plus serré de patches même de petite taille améliorerait certainement considérablement la conservation de cette espèce. D'autres scénarios devront donc être réalisés.

6.4.3 Pic cendré (Picus canus)

6.4.3.1 Scénario 1

Tous les patches situés dans l'habitat potentiel du pic cendré sont considérés (676 patches).

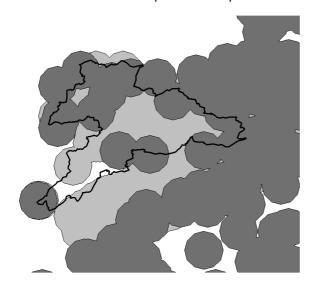


Figure 30: Habitats potentiels (gris clair) et habitats occupés (gris foncé) pour le pic cendré.

Nombre de patches	676
Nombre de patches	448
occupés	
Distance de	10 km
migration	
Colonisation	0.3
Extinction	0.2
Capacité de	4.35
métapopulation	
Nombre de patches	210
contribuant	

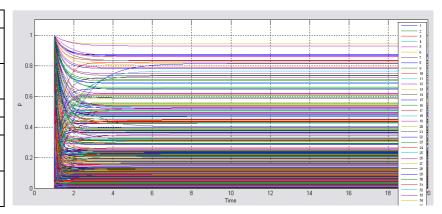


Figure 31: Modèle de métapopulation pour le pic cendré dans le canton du Jura considérant tous les patches situés dans l'habitat potentiel de cette espèce. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

6.4.3.2 Discussion: Pic cendré

Tous les patches potentiels du canton du Jura se trouvent dans l'habitat potentiel du pic cendré. Pour une espèce mobile comme le pic cendré les distances du réseau de patches jurassiens ne sont pas un obstacle. C'est donc la grandeur des habitats et leur qualité qui deviennent les facteurs limitant.

Pour d'autres modélisations, le nombre de patches occupés pourrait être revu à la baisse, soit en sélectionnant uniquement les patches à partir d'une certaine surface, soit en réduisant la zone tampon autour des observations.

6.4.4 Pic mar (Dendrocopos medius)

6.4.4.1 Scénario 1

Dans un premier scénario, nous avons considéré tous les patches situés dans l'habitat potentiel du pic mar (575 patches).

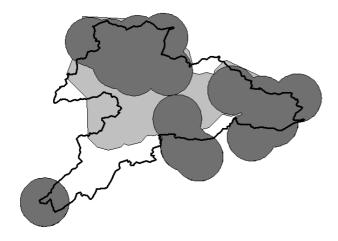


Figure 32: Habitats potentiels (gris clair) et habitat occupé (gris foncé) pour le pic mar.

Nombre de patches	575
Nombre de patches	408
occupés	
Distance de migration	6 km
Colonisation	0.3
Extinction	0.2
Capacité de	2.42
métapopulation	
Nombre de patches	143
contribuant	

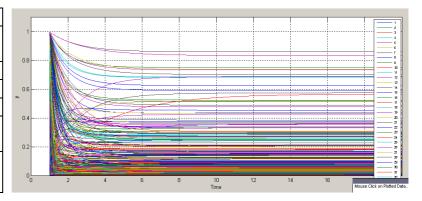


Figure 33: Modèle de métapopulation pour le pic mar dans le canton du Jura dans tous les patches situés dans l'habitat potentiel de cette espèce. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

6.4.4.2 Scénario 2

Le pic mar préférant les forêts dont la surface dépasse 20 ha, seuls les patches de plus de 20 ha sont considérés. Cependant, le facteur « chênaies de grande valeur » n'est pas pris en compte car seuls 10 patches dont 6 sur la commune mixte de Bonfol résultent de la superposition de ces deux couches.

Nombre de patches	28
Nombre de patches	22
occupés	
Distance de migration	6 km
Colonisation	0.3
Extinction	0.2
Capacité de	2.24
métapopulation	
Nombre de patches	8
contribuant	

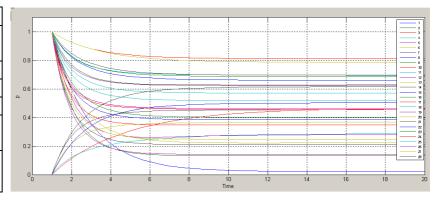


Figure 34: Modèle de métapopulation pour le pic mar dans le canton du Jura dans toutes les chênaies de grande valeur situées dans l'habitat potentiel de cette espèce. Paramètres d'entrée, capacité de métapopulation et nombre de patches contribuant à la capacité de métapopulation (à gauche). Résolution du système : probabilité d'occupation des patches (p) en fonction du temps (time) (à droite).

6.4.4.3 Discussion: Pic mar

Le premier scénario prend en compte tous les patches situés dans l'habitat potentiel du pic mar. Il en résulte un vaste réseau de patches potentiels et occupés. Dans le deuxième scénario, le nombre de patches potentiels et occupés est limité par une surface minimum de 20 ha. Dans les deux cas la capacité de métapopulation reste presque identique (2.42 et 2.24), même si le nombre de patches contribuant à la capacité passe de 143 à 8. Cette observation met en évidence le rôle primordial des grands patches (ici ≥20 ha) pour des espèces ayant une distance de migration élevée.

6.4.5 Conclusions: Canton du Jura

Les espèces dotées d'une capacité de dispersion limitée (1.5 km : lucane cerf-volant et la rosalie des Alpes) montrent des difficultés à maintenir des métapopulations dans le canton du Jura. Leur capacité de métapopulation est faible, le nombre de patches y contribuant est bas et la résolution du modèle présente des pentes négatives pour la majorité des patches. Le réseau potentiel proposé par le canton du Jura n'est donc pas en mesure de maintenir ces deux espèces sur le long terme (plus particulièrement pour le lucane cerf-volant). De plus amples scénarios doivent être testés pour ces deux espèces, entre autre en densifiant le réseau de patches potentiels. Les projets d'îlots de sénescence permettront certainement d'améliorer l'habitat de ces espèces en servant de « stepping stone » entre les patches de plus grande taille.

Les deux espèces de pics ne rencontrent pas les mêmes difficultés que les coléoptères saproxyliques. Plus mobiles, ces deux espèces sont moins influencées que les coléoptères par les distances séparant les patches potentiels. Le facteur limitant reste la grandeur et la qualité des patches. Cependant, il est envisageable qu'une espèce s'installe dans des patches de petites tailles dont la connectivité permet aux individus de se déplacer d'un à l'autre. D'autres scénarios devraient encore être testés pour ces deux espèces.

7 CONCLUSIONS FT PERSPECTIVES

La contribution de ce rapport se veut principalement pragmatique et les résultats obtenus devraient être directement utilisables par les gestionnaires et les praticiens pour la conservation des espèces saproxyliques. Les concepts d'îlot de sénescence et d'arbre-habitat sont définis et des critères de qualité ont été déterminés en se basant sur des observations de terrain. D'un point de vue de l'efficacité des mesures pour la conservation des saproxyliques, le concept d'îlot de sénescence exigeant le maintien des arbres jusqu'à leur décomposition complète est à préférer au concept d'îlot de vieillissement (exploitation des arbres après un certain dépassement de l'âge normal d'exploitation).

Les critères de qualité définis pour les îlots de sénescence et les arbres-habitat sont, d'une part, des aides à la décision. Le but étant d'assurer une certaine qualité des objets placés sous protection en vue de dédommagements financiers. Nous espérons pouvoir ainsi répondre aux nombreuses questions posées par les forestiers concernant les îlots de sénescence et les arbres-habitat. D'autre part, ces critères peuvent également être utilisés lors du suivi scientifique de l'évolution d'îlots de sénescence.

Les résultats des relevés effectués dans des forêts non-exploitées depuis plusieurs dizaines d'années sont encourageants. Les quantités de bois mort et de structures d'habitat sont comparables aux forêts à caractère naturel d'Europe. Le laisser faire semble donc être une méthode efficace pour restaurer des écosystèmes forestiers exploités, afin d'assurer des habitats potentiels pour les espèces dépendantes des vieux arbres et du bois mort.

Notre travail s'est concentré sur les structures d'habitat potentiel pour les saproxyliques. Cependant, la seule existence d'habitats ne garantit pas encore la présence d'une espèce particulière, d'autant plus que leur organisation spatiale joue un rôle primordial dans la recolonisation. Les résultats obtenus par l'analyse des métapopulations de quatre espèces saproxyliques pour les cantons de Vaud et du Jura mettent en évidence la complexité de la conservation des métapopulations. Dans le canton du Jura, le maintien de métapopulations de coléoptères saproxyliques à mobilité restreinte semble plus difficile que dans le canton de Vaud, et cela malgré un réseau de patches plus dense dans tout le canton (Tableau 10). Cependant, le système proposé par le canton du Jura est composé de nombreux patches de petite taille dont la contribution à la capacité de métapopulation reste faible voire nulle s'ils sont mal connectés. Dans le canton de Vaud, la situation pour les deux espèces de coléoptère est également critique et la conservation de ces espèces repose sur un petit nombre de patches. Des améliorations du système de patches sont donc nécessaires dans les deux cas.

La conservation des espèces plus mobiles (par exemple les pics) est plus aisée, car dans ce cas, seule la grandeur des patches influence la capacité de métapopulation. Les analyses concernant deux espèces de pic sont donc plus favorables, bien que des améliorations doivent encore être faites au niveau de la qualité de l'habitat et de la grandeur des patches. Il résulte également de l'analyse des métapopulations que plus la taille d'un patch est grande, meilleur est l'effet de conservation. Les grands patches représentent la colonne principale pour le maintien d'une espèce et, par conséquent, une grande réserve ne peut pas être remplacée par un grand nombre d'îlots de petite taille.

Dans les deux cantons pilotes, de très nombreux patches n'apportent aucune contribution à la capacité de métapopulation, résultat d'une mauvaise connectivité entre les patches et/ou d'une surface trop restreinte. Le pourcentage de la surface forestière qui est en réserves ou îlots de sénescence, leur taille et l'organisation spatiale de ces surfaces sont des facteurs déterminants pour le maintien des saproxyliques. Mais un grand pourcentage (Jura) ne suffit pas si les patches sont (trop) petits.

Tableau 10: Comparatif du système de patches potentiels pour les espèces saproxyliques dans les cantons de Vaud et du Jura

Patches	Vaud	Jura
Taille moyenne des patches	42 ± 7 ha	4.6 ± 1 ha
Taille médiane des patches	13 ha	0.52 ha
Pourcentage de la surface forestière en réserves/îlots	5.3%	8.3%
Patches <20 ha	> 60%	95%
Patches <1 ha	0%	50%

D'autres études sur la viabilité de métapopulations saproxyliques et d'optimisation du réseau de réserves/îlots sont nécessaires pour savoir quel objectif quantitatif de surface, quelle taille des patches et quelle organisation spatiale sont écologiquement valables. Une étude plus approfondie est déjà en cours dans le canton du Jura.

A l'heure actuelle, la Suisse dispose de trois concepts pour la conservation des espèces saproxyliques : réserves intégrales, îlots de sénescence et arbres-habitat. Les conditions conceptuelles sont donc réunies pour la mise en place d'un réseau visant la conservation de ces espèces menacées. Cependant, la faisabilité, les contraintes financières et la percée du bois énergie risquent de mettre un sérieux bémol à la protection des saproxyliques, d'où l'importance d'agir de manière ciblée et scientifique.

8 REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout particulièrement toutes les personnes qui ont participé d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail

- Markus Bolliger, OFEV
- Prof. Alexandre Buttler et Prof Rodolphe Schlaepfer, EPFL
- Séverine Vuilleumier et Marc Pellaud, EPFL
- Patrik Fouvy, Service des forêts, de la faune et de la nature du Canton de Vaud
- Noël Buchwalder, Office jurassien des forêts
- Les chefs d'arrondissement et les gardes forestiers vaudois et neuchâtelois
- Florian Meyer, Bois de chêne, Genolier
- Sylvain Meyer, Arboretum, Aubonne
- Marcel Murri, Service des forêts, Canton d'Argovie
- Toutes les personnes qui ont pris le temps de répondre au questionnaire sur la conservation des espèces saproxyliques.

9 ANNEXE

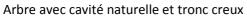




Arbre vétéran

Arbre vétéran







Arbre avec cavité de pic



Arbre avec blessure



Arbre avec grandes branches mortes



Arbre avec cavité de souche



Arbre avec trou



Arbre sur échassesrbre avec cavité de souche



Arbre à cavité avec du bois humifié



Arbre avec fourche



Arbre avec fourche



Arbre avec couronne secondaire



Arbre avec couronne secondaire

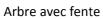


Arbre à champignons



Arbre à champignons



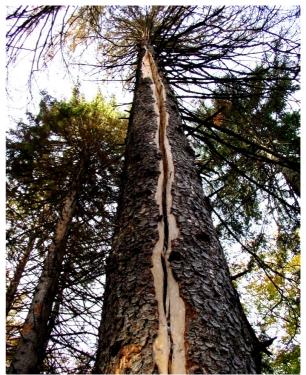




Arbre avec fente



Arbre avec cancer



Arbre foudroyé

Arboretum (595 m, 518126 /151978)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	35	1	1
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	426	±	36
Vol. bois mort total [m³ha-1]	73	±	38
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-¹]	8	±	5
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha-1]	0	ŧ	0
# total de structures d'habitat [ha-1]	155	±	17
# arbres à habitat [ha-1]	100	÷	8



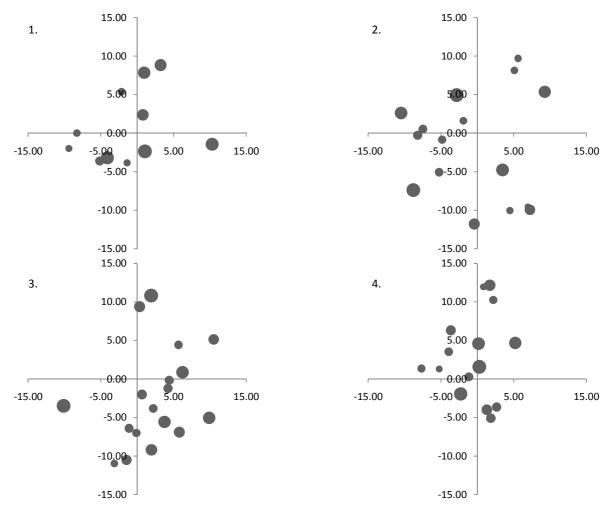


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Ballaigues (960m, 520288 / 177016)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	41	1	4
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	837	±	129
Vol. bois mort total [m³ha·1]	86	ż	50
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	67	±	44
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha-¹]	15	ž	10
# total de structures d'habitat [ha-1]	50	±	25
# arbres à habitat [ha·1]	40	*	16



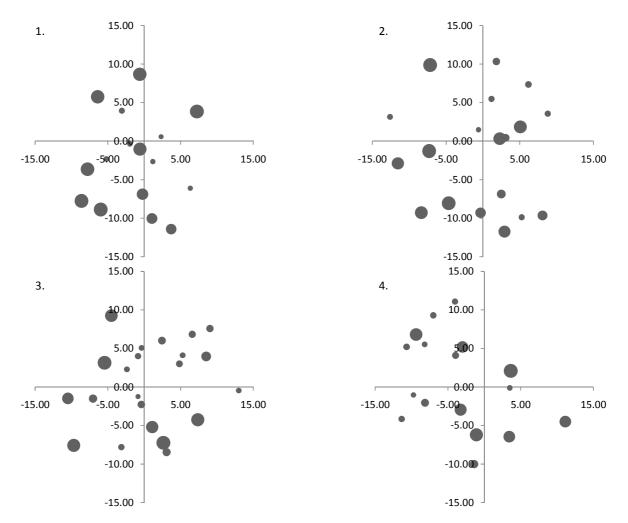


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Bois de chêne (555 m, 507503/143775)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	32	*	1
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	406	±	71
Vol. bois mort total [m³ha-1]	71	1	21
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	64	±	20
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha ⁻¹]	15	*	5
# total de structures d'habitat [ha-1]	225	±	54
# arbres à habitat [ha-1]	135	<u>±</u>	26



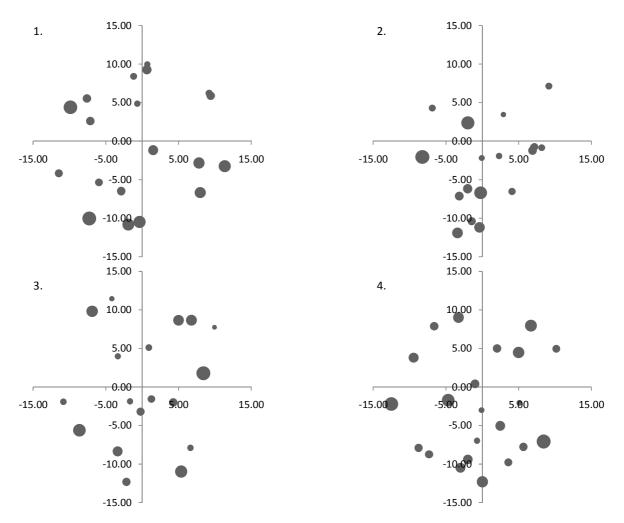


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Chatel (1300 m, 517354/ 163946)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	41	+	2
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	538	±	43
Vol. bois mort total [m³ha-¹]	148	±	82
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	16	±	8
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha ⁻¹]	10	1	6
# total de structures d'habitat [ha-1]	130	±	17
# arbres à habitat [ha-1]	95	1	13



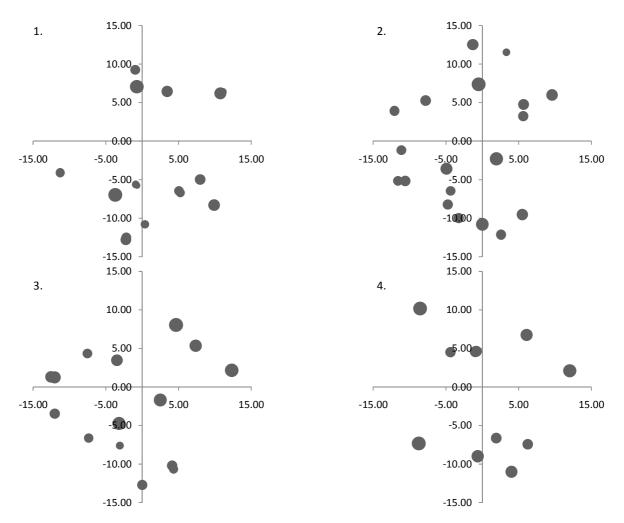


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Colombier (535 m, 555530/ 202830)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	37	±	2
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	540	±	68
Vol. bois mort total [m³ha-1]	116	ŧ	59
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	105	±	61
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha	¹] 15	ŧ	10
# total de structures d'habitat [ha-1]	100	±	28
# arbres à habitat [ha-1]	80	+	0



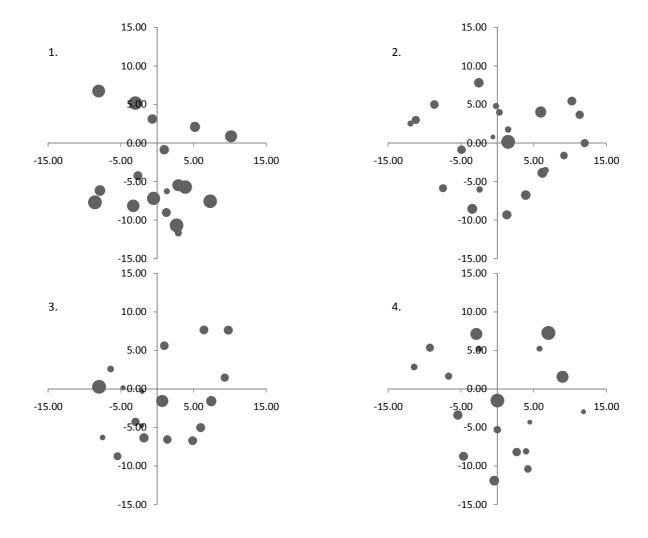


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Combe Biosse (1100 m, 567339/ 217250)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	37	±	4
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	516	±	40
Vol. bois mort total [m³ha-¹]	56	ż	12
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	19	±	10
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha ⁻¹]	5	±	5
# total de structures d'habitat [ha-1]	245	±	62
# arbres à habitat [ha-1]	140	*	24



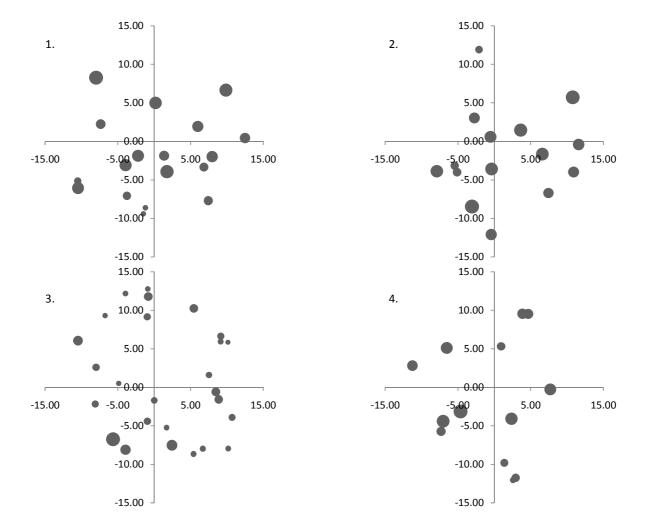


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Cossonay (500 m, 529150/ 162690)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	35	*	4
Vol. arbres vivants [m³ha-¹]	646	±	135
Vol. bois mort total [m³ha¹]	102	1	25
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	41	±	31
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha¹]	20	1	14
# total de structures d'habitat [ha-1]	200	±	65
# arbres à habitat [ha-1]	130	2	51



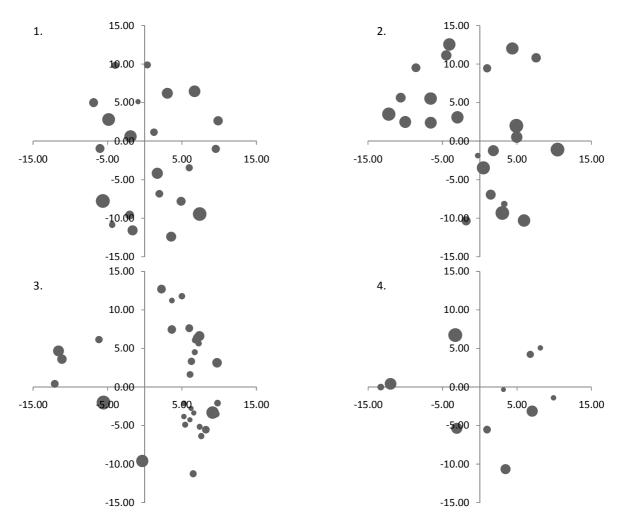


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Crassier (470 m, 502450/135650)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	37	±	3
Vol. arbres vivants [m³ha⁻¹]	793	±	182
Vol. bois mort total [m³ha¹]	31	±	15
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	1	±	1
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha¹]	0	+	0
# total de structures d'habitat [ha-1]	135	±	41
# arbres à habitat [ha-1]	90	*	29



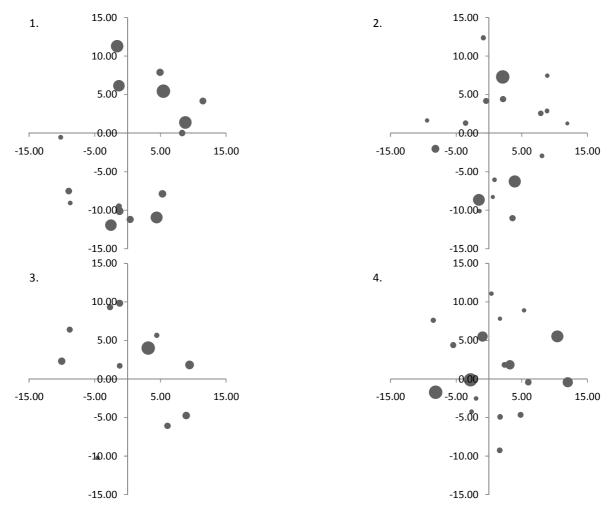


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Creux du van (1220 m, 545400/ 198486)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	28	±	1
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	375	±	118
Vol. bois mort total [m³ha-¹]	235	±	154
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	158	±	131
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha-1]	60	±	54
# total de structures d'habitat [ha-1]	35	±	21
# arbres à habitat [ha-1]	30	*	19



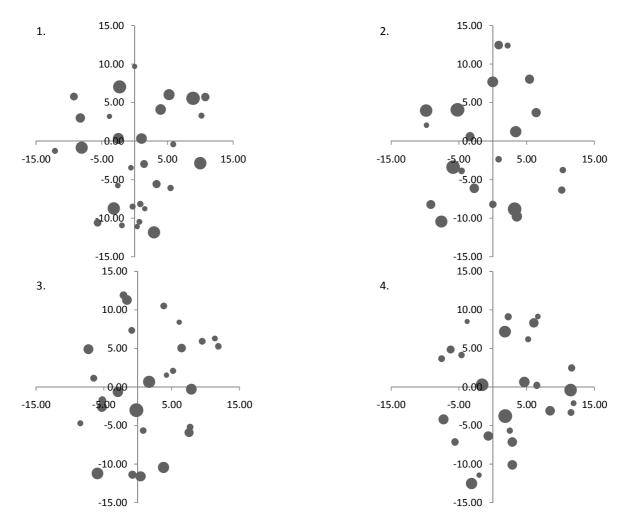


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Daillens (495 m, 531958/165378)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	43	1	4
Vol. arbres vivants [m³ha-¹]	804	±	129
Vol. bois mort total [m³ha¹¹]	71	±	20
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	18	±	4
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha-1]	10	ż	6
# total de structures d'habitat [ha-1]	165	±	75
# arbres à habitat [ha·1]	111	±	55



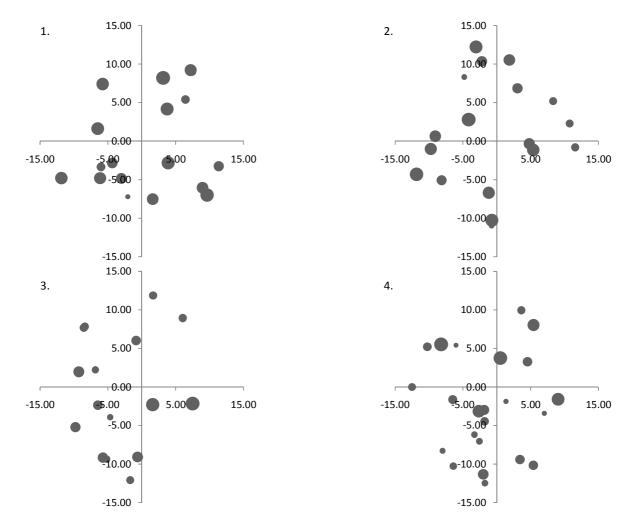


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Ferreyres (550 m, 526520/ 167200)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	34	÷	3
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	589	±	53
Vol. bois mort total [m³ha-¹]	98	ŧ	22
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	14	±	3
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha¹]	5	1	5
# total de structures d'habitat [ha-1]	290	±	39
# arbres à habitat [ha-1]	170	±	26



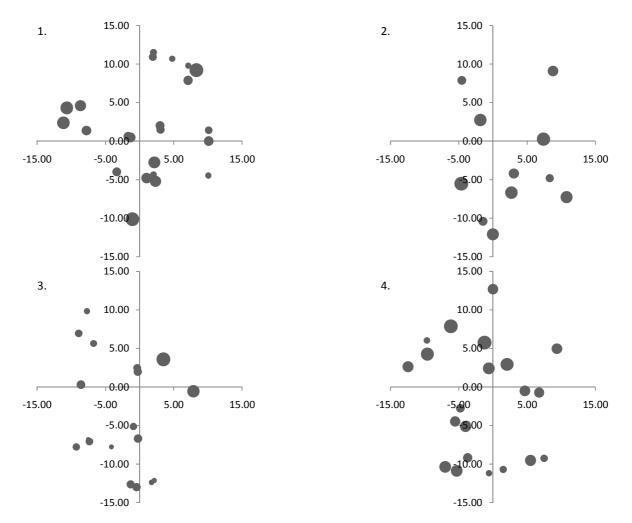


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Gorges de Covatan (790 m, 530731/ 185340)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	42	*	2
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	733	±	57
Vol. bois mort total [m³ha¹]	181	±	124
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	27	±	22
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha¹]	10	*	10
# total de structures d'habitat [ha-1]	180	±	43
# arbres à habitat [ha-1]	125	Ł	19



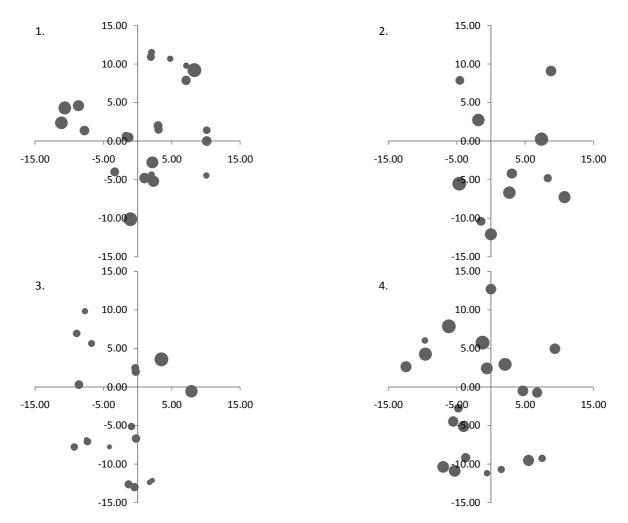


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

La Chaille (1330 m, 548076/198440)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	30	±	1
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	541	±	49
Vol. bois mort total [m³ha-1]	80	ŧ	51
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	36	±	17
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha·1]	10	*	6
# total de structures d'habitat [ha-1]	130	±	52
# arbres à habitat [ha-1]	105	1	35



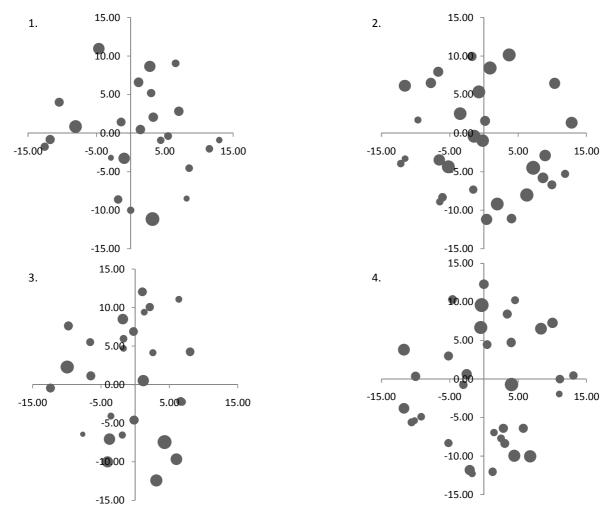


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

La Chaux (600 m, 524970/165178)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	37	±	3
Vol. arbres vivants [m³ha-¹]	618	±	47
Vol. bois mort total [m³ha¹]	37	±	24
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	5	±	2
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha¹]	0	ż	0
# total de structures d'habitat [ha-1]	185	±	38
# arbres à habitat [ha-1]	115	ŧ	25



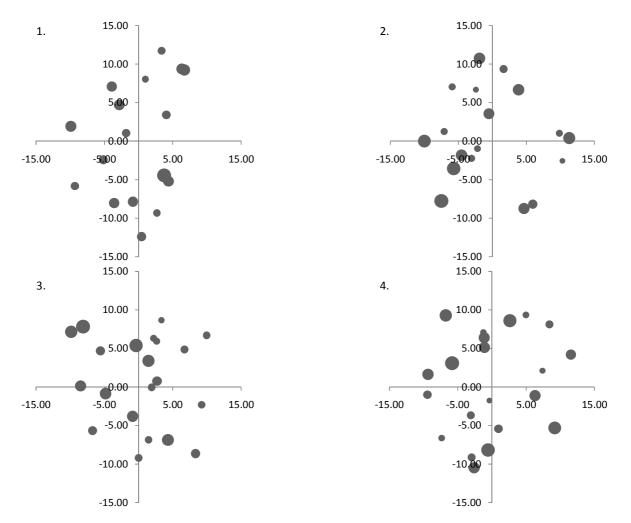


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

La Serine (560 m, 508260/145067)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	34	•	1
Vol. arbres vivants [m³ha-¹]	437	±	57
Vol. bois mort total [m³ha⁻¹]	130	+	26
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	25	±	14
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha¹]	10	+	10
# total de structures d'habitat [ha-1]	230	±	26
# arbres à habitat [ha 1]	175	2	25



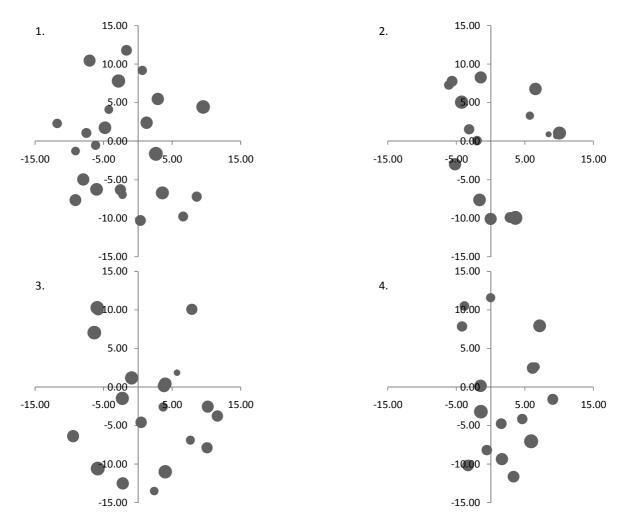


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Le Moulinet (450 m, 529955/160360)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	43	•	4
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	588	±	97
Vol. bois mort total [m³ha-¹]	27	±	9
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	11	±	10
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha ⁻¹]	5	ŧ	5
# total de structures d'habitat [ha-1]	110	±	31
# arbres à habitat [ha-1]	7 5	ŧ	22



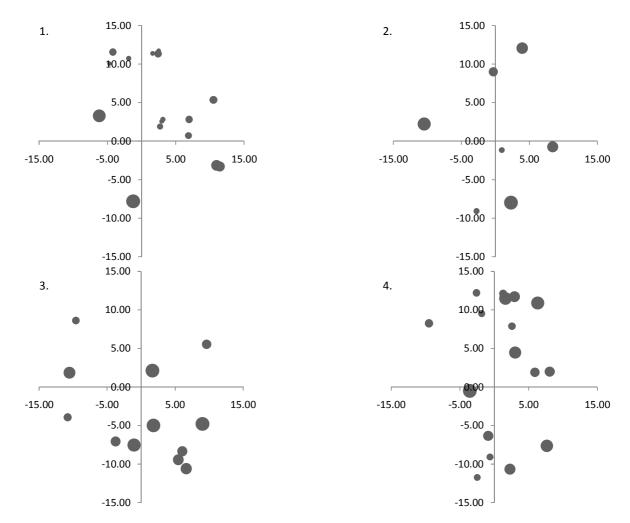


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Le Pont (1135 m, 515184/169766)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	27	ż	2
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	523	±	60
Vol. bois mort total [m³ha-¹]	212	±	61
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	76	±	25
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha-1]	35	ŧ	13
# total de structures d'habitat [ha-1]	75	±	10
# arbres à habitat [ha-1]	70	±	10



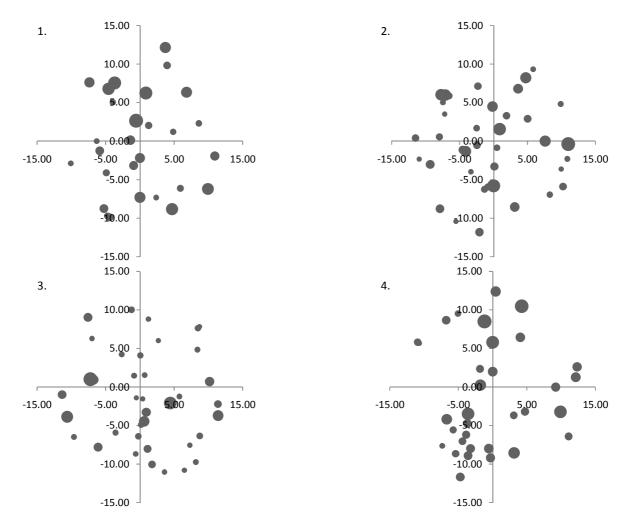


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Montricher (1075 m, 517095/162686)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	33	1	2
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	629	±	85
Vol. bois mort total [m³ha-¹]	82	ż	35
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	10	±	5
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha¹]	0	±	0
# total de structures d'habitat [ha-1]	145	±	46
# arbres à habitat [ha·1]	85	ŧ	25



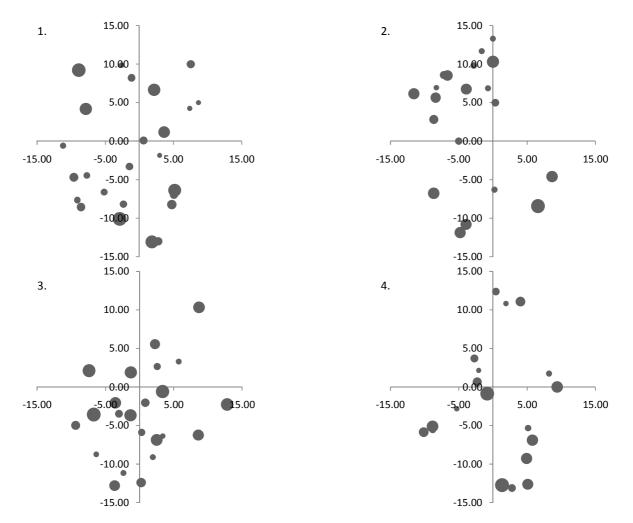


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Morrens (650 m, 537069/158632)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	51	1	7
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	590	±	69
Vol. bois mort total [m³ha-1]	57	ŧ	21
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	28	±	22
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha·1]	15	1	10
# total de structures d'habitat [ha-1]	225	±	38
# arbres à habitat [ha·1]	110	Ł	19



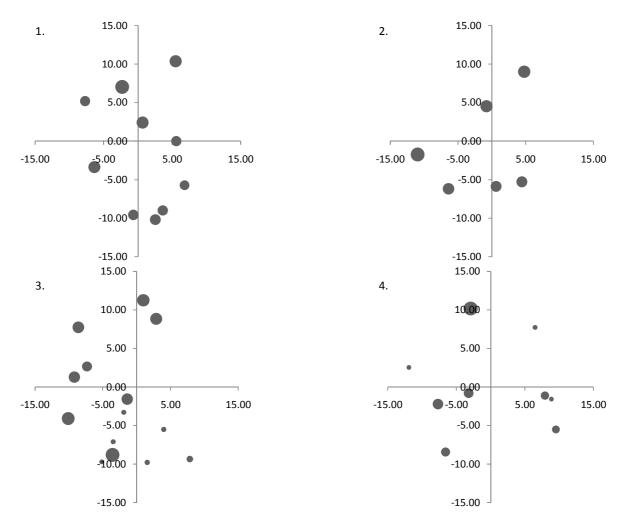


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

Sauvabelin (650 m, 538540/154670)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	39	•	7
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	524	±	72
Vol. bois mort total [m³ha-¹]	87	±	26
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	55	±	32
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha ⁻¹]	10	+	6
# total de structures d'habitat [ha-1]	110	±	24
# arbres à habitat [ha-1]	65	1	13



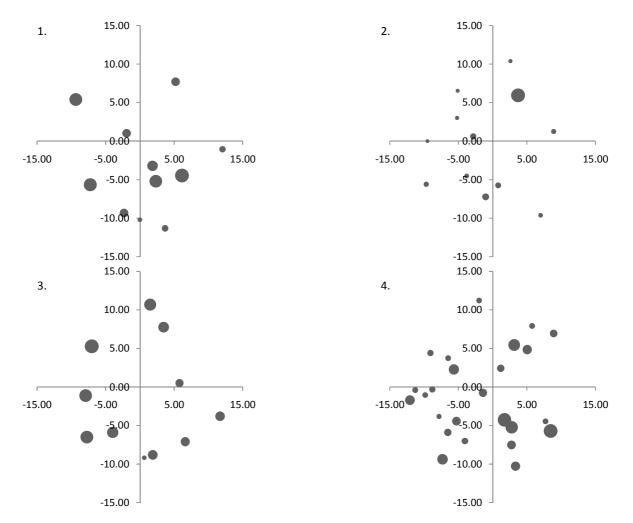


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

St-Cergue I (1365 m, 498260/144277)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	35	Ł	2
Vol. arbres vivants [m³ha-1]	523	±	73
Vol. bois mort total [m³ha-1]	148	Ł	29
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-¹]	81	±	18
# arbres morts sur pied DHP \geq 30 cm [ha ⁻¹]	30	.	6
# total de structures d'habitat [ha-1]	65	±	17
# arbres à habitat [ha-1]	70	±	17



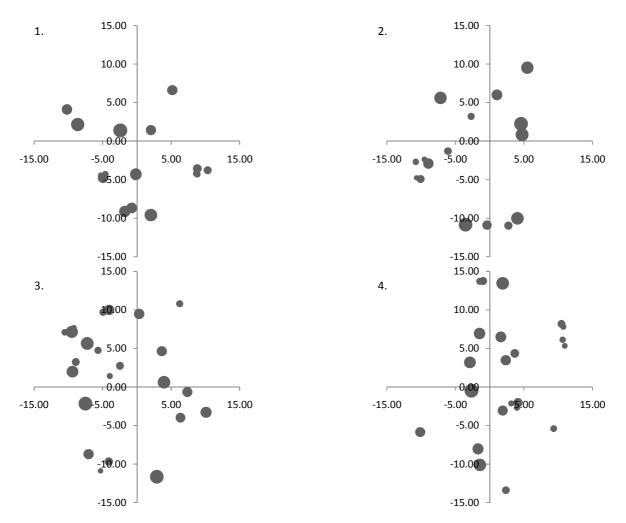


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes

St-Cergue II (880 m, 502764/144185)

Caractéristique	Moyenne	±	SE
DHP moyen [cm]	31	ŧ	2
Vol. arbres vivants [m³ha-¹]	603	±	52
Vol. bois mort total [m³ha¹¹]	93	±	28
Vol. arbres morts sur pied [m³ha-1]	48	±	34
# arbres morts sur pied DHP ≥ 30 cm [ha ⁻¹]	10	Ł	10
# total de structures d'habitat [ha-1]	130	±	31
# arbres à habitat [ha·1]	100	*	14



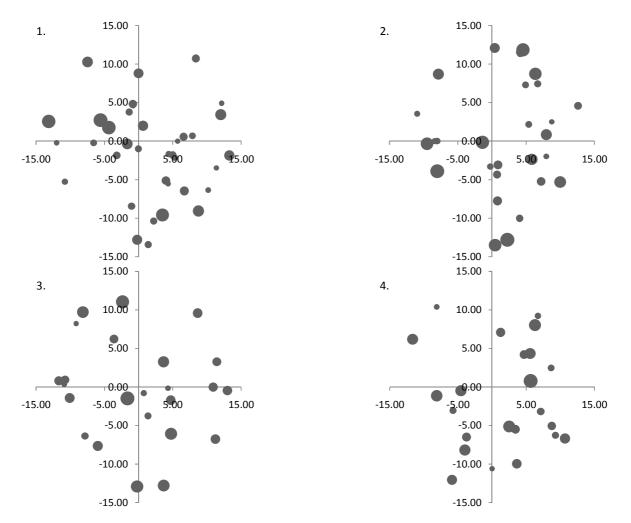


Figure 1–4: Organisation spatiale des arbres sur les placettes