Ministère de l'Écologie, de l'Énergie,
du Développement durable et de la Mer
en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat

Présent pour l'avenir

BIO 2
BIOMASSE ET BIODIVERSITÉ FORESTIÈRES

Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière : implications pour la biodiversité et les ressources naturelles

Coordination scientifique : Guy Landmann, Frédéric Gosselin et Ingrid Bonhême

ECOFOR
ECOSYSTEMES FORESTIERS

Rapport réalisé sous la coordination du GIP Ecofor

à la demande du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Rapport de la subvention n° 000 1120

Juillet 2009

BIO 2

BIOMASSE ET BIODIVERSITÉ FORESTIÈRES

Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière : implications pour la biodiversité et les ressources naturelles

Coordination scientifique : Guy Landmann, Frédéric Gosselin et Ingrid Bonhême

Ministère de l'écologie du développement durable et de la mer
Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature
Direction de l'Eau et de la Biodiversité,
Sous-direction des Espaces Naturels,
Bureau de l'Intégration de la Biodiversité dans les Territoires
Grande Arche Paroi Sud
92055 LA DEFENSE cedex
Tél. 01 40 81 30 72

GIP Ecofor
42, rue Scheffer
75116 Paris
Tél. 01 53 70 21 41
secretariat@gip-ecofor.org

Juillet 2009

Citation conseillée :

Landmann G., Gosselin F., Bonhême I. (coord.), 2009. Bio2, Biomasse et biodiversité forestières. Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière : implications pour la biodiversité et les ressources naturelles. Paris, MEEDDM-Ecofor, 210 p. (www.gip-ecofor.org)

Pour faciliter la lecture :

- les passages importants sont signalés en gras,
- les astérisques (*) signalent les termes définis dans le glossaire (annexe 3),
- les sigles sont explicités dans l'annexe 4.

Maquette : Hego communication

Mise en forme, relectures : Hego Communication, Guénaëlle Couderc

© GIP Ecofor, Paris, 2009
ISBN : 978-2-914770-00-2

PRÉFACE

Mettre à disposition des acteurs de l'environnement et du monde forestier un premier état des connaissances sur les liens possibles entre une utilisation accrue de biomasse forestière et l'évolution de la biodiversité, afin de nourrir les débats dans ce domaine, tel était l'objectif premier assigné à cette étude par le ministère chargé de l'écologie. Très impliqué sur ce même dossier pour mieux asseoir la récolte de bois dans la forêt française par rapport à sa croissance ligneuse et à sa biodiversité, le ministère chargé des forêts s'est naturellement associé à cette initiative.

Les enjeux internationaux

Les deux principales conventions internationales contraignantes concernant, entre autres milieux, les forêts portent sur le changement climatique pour l'une, sur la diversité biologique pour l'autre ; une production accrue de biomasse peut se justifier aussi bien au titre de l'adaptation aux changements climatiques, par une régulation des stocks de bois sur pied, qu'à celui de la lutte contre ces changements grâce à une séquestration active de carbone et à une économie de ressources fossiles ; travailler aux relations entre biomasse et biodiversité, c'est aussi s'interroger sur la façon de concilier les deux grandes conventions internationales nées du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992.

Le contexte français

En septembre 2006 a été adopté un « *Plan d'Action Forêt* » qui constitue à la fois le volet forestier de la Stratégie nationale pour la biodiversité et le volet biodiversité du Programme forestier national. Cette double origine montre l'intérêt que peut revêtir pour lui une réflexion sur la biomasse et la biodiversité. L'étude « *Biomasse et biodiversité* » contribue à nourrir ce plan.

À l'automne 2007, un accord partenarial a été conclu dans le cadre du Grenelle de l'Environnement entre la Fédération France Nature Environnement, la Fédération nationale des Communes forestières, l'Office national des Forêts et la Fédération Forestiers privés de France sur le thème « *Produire plus de bois tout en préservant mieux la biodiversité ; une démarche territoriale concertée dans le respect de la gestion multifonctionnelle des forêts* ». Cet accord a été repris dans le rapport du Comité opérationnel « Forêts » du Grenelle de l'Environnement sous une forme assez proche - « *Dynamiser la filière bois en protégeant la biodiversité forestière ordinaire et remarquable : produire plus de bois (matériau et énergie renouvelables) et mieux en valoriser les usages…* » - et a accompagné les Assises de la forêt.

On voit donc qu'il s'agit de concilier la valorisation de la biomasse et la préservation de la biodiversité. Le dire n'est cependant pas encore le faire et l'un des objectifs de cette étude est d'apporter des éléments susceptibles d'en faciliter la mise en œuvre. La double responsabilité incombant à l'État de la nécessaire production considérablement accrue de

ressources renouvelables issues de nos forêts et de l'indispensable renforcement simultané de leur biodiversité nécessitait en effet d'éclairer les synergies possibles, les écueils à éviter, les voies à privilégier pour relever ce défi majeur.

Les prolongements possibles de l'étude

Cette étude – et particulièrement les recommandations faites pour la recherche – pourra également nourrir les réflexions d'autres programmes, comme *Biodiversité et Gestion forestière*. Dans l'immédiat, afin d'améliorer encore la compréhension des enjeux, les deux ministères ont conjointement décidé de financer, dans le prolongement de Bio2 et en élargissant les angles d'analyse et le panel d'acteurs impliqués le projet « BIOMAsse et BioDIversité (Biomadi).

Il convient de souligner que cette expertise scientifique collective a été voulue et conduite en toute indépendance pour leurs auteurs et que les conclusions et propositions leur appartiennent.

Christian BARTHOD,
Sous-directeur des espaces naturels
Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer,
Direction générale de l'aménagement,
du logement et de la nature,
Direction de l'eau et de la biodiversité

AVANT-PROPOS

Biomasse et biodiversité sont deux richesses de la forêt, qui dépendent étroitement l'une de l'autre et présentent cependant des visages différents. Sans biodiversité pour assurer le fonctionnement des écosystèmes forestiers, il n'y aurait pas d'arbres et donc une biomasse singulièrement réduite ; sans les arbres, la biodiversité serait tout autre. Plus que la biodiversité, la biomasse participe à l'approvisionnement des sociétés humaines auxquelles elle fournit à la fois le matériau-bois, des fibres papetières et une source d'énergie renouvelable ; elle fait pour cela l'objet de prélèvements suffisamment significatifs pour modifier la biodiversité dans un sens ou dans l'autre, à court ou long terme.

Les relations et différences entre biomasse et biodiversité, qui viennent d'être évoquées, expliquent pourquoi la gestion conjointe de ces deux richesses est particulièrement stimulante mais aussi exigeante. Cette exigence pousse elle-même à mobiliser des connaissances approfondies et variées, à sortir de la généralité pour prendre en compte les spécificités locales, à raisonner à différentes échelles d'espace et de temps.

Pourquoi s'être engagé sur un tel chemin ?

Ecofor anime depuis 1997 un programme de recherche intitulé « *Biodiversité et gestion forestière* ». Ce programme est porté par le ministère chargé de l'écologie et bénéficie du soutien du ministère chargé de l'agriculture. Son esprit est très proche de celui de l'étude « *Biomasse et biodiversité* ». Cependant, tandis que le programme de recherche vise à faire progresser la connaissance scientifique et, ensuite, à produire des recommandations pour le gestionnaire, l'étude a pour but d'aider le gestionnaire dans son action avant d'identifier les lacunes de la connaissance et, finalement, les besoins de recherche qui s'en déduisent.

Au cours de l'année 2007, l'occasion s'est présentée pour Ecofor de rassembler les connaissances scientifiques permettant d'analyser la compatibilité entre le développement de la biomasse, d'une part, la préservation de la biodiversité et des ressources naturelles, d'autre part. L'ambition était de mettre à disposition de tout un chacun des éléments aussi probants que possible pour lui permettre de rendre les arbitrages relevant de sa compétence.

À cette époque, la décision de s'engager sur un tel chemin posait plusieurs questions : le sujet n'était-il pas trop général et complexe pour déboucher sur des résultats vraiment utiles et efficaces ? Ne risquait-il pas d'être phagocyté par des considérations périphériques peu scientifiques ? Le risque n'était-il pas de mécontenter, sinon les promoteurs d'une récolte accrue, du moins les défenseurs de la biodiversité, et encore plus probablement les deux ? Le pas a été franchi, notamment du fait de l'intérêt manifesté par plusieurs des membres d'Ecofor.

Aujourd'hui, si on ne peut prétendre avoir parfaitement évité tous ces écueils, on peut affirmer qu'il y avait un besoin réel, grandissant, de clarifier certains points, de mobiliser une

expertise pour dépasser les idées reçues et apporter une information utile aux décideurs, de structurer les connaissances sur le thème conjoint de la biomasse et de la biodiversité – ou, de manière symétrique, de la biodiversité et de la biomasse.

Quelle est la prochaine étape ?

Comme cela a été rappelé d'emblée, le sujet est délicat et loin d'être épuisé. Cette première étude est constituée de différents chapitres qui doivent être lus sans considérer qu'ils contiennent des conclusions définitives mais plutôt un mélange d'éléments dont certains sont probants et d'autres incitent à poursuivre la réflexion. Pour la compléter, l'améliorer, mieux distinguer ce qui est « certain », « discuté », « hypothétique » et aboutir à une analyse partagée, une seconde étude est lancée. Toutes les contributions seront les bienvenues.

En attendant, nous souhaitons à chacun une bonne lecture de ce travail dont les auteurs doivent être vivement remerciés pour leur contribution qui, bien souvent, est le résultat d'une longue maturation.

Merci enfin de manière plus particulière et appuyée à Guy Landmann qui a bien voulu, et su, relever le défi de cette première étape.

Jean-Luc Peyron,
Directeur du GIP Ecofor

INTRODUCTION À L'ÉTUDE

La demande du ministère de l'écologie et le positionnement des experts

Le ministère de l'écologie a interrogé le GIP Ecofor à l'automne 2007 sur sa motivation à réaliser un premier état des connaissances sur les incidences éventuelles d'une utilisation accrue de biomasse forestière sur la biodiversité, thème faisant l'objet d'un nombre croissant de commentaires et prises de position. Une consultation des membres d'Ecofor avait alors montré l'intérêt fort de plusieurs d'entre eux pour ces questions et le souhait de conduire la réflexion dans un cadre collectif.

La demande du commanditaire n'était pas focalisée sur une ou quelques questions clés, comme cela est le cadre des expertises scientifiques collectives (ESCO). C'est une des raisons pour laquelle ce travail est présenté comme une étude (collective) et non une ESCO, bien qu'elle en ait quelques attributs : exigence scientifique et dimension collective forte.

L'interaction avec le commanditaire a été limitée à deux échanges en tout début d'étude, les 7 avril et 30 juin 2008. Diverses questions spécifiques ont été soulevées à ces occasions, notamment dans le domaine de l'écologie (effets seuil, notion de formations hors forêt qui pourraient servir de refuge, influence de la taille des installations utilisatrices de bois,…), de l'économie (économie de la biodiversité). Ces éléments n'ont pas pour autant constitué des éléments fortement structurant pour l'étude. En particulier, le périmètre de l'étude a été défini par le groupe d'experts. Les aspects non traités (chapitre 1) comptent parfois parmi les questions que le commanditaire aurait souhaité voir abordées ; ils résultent en fait largement de la disponibilité en experts qualifiées. De la même façon, les experts ont fait le choix de donner une priorité équivalente à la biodiversité et aux ressources naturelles (sols et eaux), alors que ces dernières n'étaient pas centrales dans la commande initiale.

La mobilisation des experts et la participation des autres parties prenantes

Ecofor a mis à profit sa connaissance du monde scientifique français pour solliciter les experts qualifiés. Comme pour d'autres études ou expertises de ce type, la phase de recrutement des experts s'est avérée difficile et déterminante pour la suite. Difficile car le cadre affiché (ampleur de la tâche, un délai court de moins de 6 mois – qui n'allait finalement pas pouvoir être tenu – a fait renoncer une partie des experts sollicités, déterminante car certaines carences (par exemple dans le domaine de l'économie de l'environnement) allaient apparaitre, et une partie seulement pourront être comblées par la suite, au prix d'un surcroit d'investissement des experts.

Au total, Bio2 aura bénéficié du concours 21 experts du Cemagref, du CNRS, d'Ecofor, du FCBA, de l'INRA, de l'ONF, du CNRS et des Universités. La faiblesse de la participation des gestionnaires et de la société civile ne correspondant pas à un choix ; il s'est avéré que si la participation des chercheurs à ce type d'exercice, à défaut d'aller de soi ou d'être

suffisamment encouragée par les institutions de recherche, finissait par se mettre en place, celle des opérateurs techniques ne pouvait être que ponctuelle, ce qui remettait à une phase ultérieure l'appropriation par ces acteurs des résultats de l'étude.

Le déroulement de l'étude

La phase d'organisation et de construction de l'étude s'est opérée de façon collégiale lors de trois réunions téléphoniques (5 mai, 12 juin et 7 juillet 2008). L'ensemble des contributions disponibles à l'issue de l'été ont fait l'objet d'un examen collectif lors d'une réunion de deux journées, les 11 et 12 septembre 2008, à Paris. Une réunion restreinte organisée le 10 octobre a permis de travailler sur le rapport dans sa globalité. Cette réunion a bénéficié de la lecture transversale de C. Millier, président du comité scientifique du GIP Ecofor et de M. Badré, membre du même comité. Il est apparu la nécessité de compléter le travail sur quelques sujets importants, d'améliorer certains textes (notamment sur la base de l'avis des relecteurs : 22 personnes, pour partie sollicitées par les coordinateurs, pour partie sollicitées par les auteurs : voir liste ci-après) et de renforcer la cohérence du rapport, ce qui a été réalisé entre janvier et mai 2009. Les travaux ont fait l'objet d'une restitution, le 15 mai 2009, à laquelle les représentants de l'ensemble des acteurs concernées (recherche, gestion, filière forêt-bois, ministères) avaient été conviés.

Les produits et les prolongements possibles de l'expertise

Les résultats de cette étude sont communiqués sous la forme du présent rapport mis à disposition sur Internet. En raison de l'intérêt suscité par le sujet, les participants à l'étude ont souhaité le mettre à disposition du public le plus large. En dépit du soin apporté à ce travail, ses auteurs imaginent sans peine qu'il pourra faire l'objet de critiques voire de controverses. Les auteurs en assument le risque et sont près à prolonger la discussion. L'étude Biomadi (BIOMAsse et BioDIversité) sur le même sujet que Bio2 mais plus ouverte vers les parties prenantes pourrait en être l'occasion.

Nous remercions chaleureusement les auteurs et les relecteurs, particulièrement ceux qui ont accepté de faire une lecture du document entier, ainsi que le ministère de l'écologie pour le soutien financier.

Les coordonnateurs de l'étude et éditeurs scientifiques du rapport :
Guy Landmann,
Directeur-adjoint du Gip Ecofor,
Frédéric Gosselin,
Ingénieur-chercheur au Cemagref de Nogent-sur-Vernisson
Ingrid Bonhême,
Chargée de mission au Gip Ecofor

CONDUITE DE L'ÉTUDE

Responsable Ecofor : Guy Landmann, directeur-adjoint, Paris

Experts

Coordination et édition scientifique du rapport

Guy Landmann, Ecofor, Paris

Frédéric Gosselin, Cemagref, Nogent-sur-Vernisson

Ingrid Bonhême, Ecofor, Paris

Auteurs *(les numéros en gras signalent les chapitres dont ils sont premiers auteurs, le cas échéant)*

Luc Barbaro, Inra Bordeaux, chapitre 8

Laurent Bergès, Cemagref Nogent-sur-Vernisson, chapitre 7

Christophe Bouget, Cemagref Nogent-sur-Vernisson, chapitres **7** et 12

Nathalie Bréda, INRA Nancy, chapitre 11

Emmanuel Cacot, FCBA Station Centre-Ouest, Verneuil-sur-Vienne, chapitres **4 et 12**

Christophe Chauvin, Cemagref Grenoble, chapitres 3, 6 et **15**

Claude Cosandey, CNRS Meudon, chapitre 11

Etienne Dambrine, Inra Dambrine, chapitres 10 et **11**

Grégoire Gautier, Parc national des Cévennes, chapitre **13**

Christian Ginisty, Cemagref Nogent-sur-Vernisson, chapitres 3 et **5**

Frédéric Gosselin, Cemagref Nogent-sur-Vernisson, chapitres **6**, 7 et 16

Marion Gosselin, Cemagref Nogent-sur-Vernisson, chapitres 6, 7, **9** et 12

François Guérold, Université de Metz, chapitre 11

Hervé Jactel, Inra Bordeaux, chapitre **8**

Guy Landmann, Ecofor Paris, chapitres **1**, **3**, 6, 10, 15 et **16**

Jean-Luc Peyron, Ecofor Paris, chapitre **2**

Manuel Nicolas, Onf-INRA, Fontainebleau et Nancy, chapitres 10 et 11

Anne Probst, INPT ENSAT Toulouse, chapitre 11

Jacques Ranger, Inra Nancy, chapitre **10**

Eric Rigolot, INRA Avignon, chapitre **14**

Patrick Vallet, Cemagref Nogent-sur-Vernisson, chapitre 5

Relecteurs externes et relecteurs sollicités par les auteurs

Valérie Angeon, AgroParisTech-Engref, Clermont-Ferrand

Frédéric Archaux, Cemagref Nogent-sur-Vernisson

Paul Arnould, École Normale Supérieure, Lyon

Dominique Arrouays, INRA Orléans

Michel Badré, Conseil général de l'environnement et du développement durable, Ministère de l'écologie, Paris

Alain Berthelot, FCBA Station Nord-Est, Charrey-sur-Saône

Jean-Marc Brézard, ONF Bar-le-Duc

Herve Brustel, Université de Toulouse Purpan

Emmanuelle Dauffy-Richard, Cemagref Nogent-sur-Vernisson

Marc Deconchat, INRA Toulouse

Philippe Delacote, INRA Nancy

Yvon Duché, ONF Méditerranée Aix-en-Provence

Gilles Landrieu, Parcs nationaux de France, Montpellier

Claude Millier, AgroParisTech-Engref Paris

Jean de Montgolfier, ENGEES Strasbourg

Lauriane Mietton, Cemagref Nogent-sur-Vernisson

Isabelle Mauz, Cemagref Grenoble

Julien Dellier, CNRS Université de Limoges

Laurent Saint-André, CIRAD - INRA Nancy

Sylvie Vanpeene, Cemagref Grenoble

Christophe Voreux, AgroParisTech-Engref Nancy

TABLE DES MATIERES

PRÉFACE **5**

AVANT-PROPOS **7**

INTRODUCTION À L'ÉTUDE **9**

CONDUITE DE L'ÉTUDE **11**

TABLE DES MATIERES **13**

PARTIE 1
PROBLÉMATIQUE ET ENJEUX CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET SYLVICOLE **17**

CHAPITRE 1 ENJEUX ET PROBLÉMATIQUE - OBJECTIFS ET DÉMARCHE DE L'ÉTUDE **19**
1. Enjeux et problématique générale 19
2. Objectif de l'étude, contours thématiques et démarche 23
3. Références bibliographiques 24

CHAPITRE 2 CONTEXTE ET PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES **25**
1. Contexte général et objectifs de la contribution 25
2. Le secteur énergétique 26
3. La filière forêt-bois 29
4. Les ressources forestières 31
5. Les enjeux environnementaux 32
6. Conclusions pour la gestion et la recherche 35
7. Références bibliographiques 36

CHAPITRE 3 CONTEXTE ET ÉVOLUTIONS POSSIBLES DE LA SYLVICULTURE **39**
1. Contexte et objectifs de la contribution 39
2. Structure et modes de traitement des peuplements forestiers 40
3. Évolutions possibles des modes de traitement sylvicole 41
4. Conclusions et perspectives 45
5. Références bibliographiques 46

CHAPITRE 4 LES DIFFÉRENTS MODES DE RÉCOLTE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE **47**
1. Objectif de cette contribution 47
2. Les différents systèmes d'exploitation 47
3. Besoins de recherche 48
4. Références bibliographiques 52

CHAPITRE 5 LA DISPONIBILITÉ DE BIOMASSE DANS LES FORETS FRANÇAISES 53
1. Contexte et objectif de la contribution 53
2. Les études récentes sur la ressource 54
3. L'étude 2007 du Cemagref 54
4. Perspectives 60
5. Références bibliographiques 61

CHAPITRE 6 L'ETAT ET LES ENJEUX DE BIODIVERSITÉ FORESTIÈRE EN FRANCE 63
1. Les différentes facettes de la biodiversité 63
2. Principaux enjeux de biodiversité en forêt tempérée et pratiques associées 64
3. Pressions pesant sur la biodiversité forestière 65
4. État de la biodiversité forestière et non forestière 67
5. Au carrefour des enjeux, des pressions et de l'état de la biodiversité : les taxons saproxyliques 68
6. Références bibliographiques 68

PARTIE 2
IMPACTS D'UNE UTILISATION ACCRUE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE SUR LA BIODIVERSITÉ ET LES RESSOURCES NATURELLES (SOL, EAU) 71

CHAPITRE 7 CONSÉQUENCES DE L'AUGMENTATION DES PRÉLÈVEMENTS DE BIOMASSE LIGNEUSE POUR LA BIODIVERSITÉ FORESTIÈRE 73
1. Problématique et objectifs de cette contribution 73
2. Incidences liées à une diminution de la densité des vieux peuplements et des vieux et gros arbres 74
3. Incidences sur le compartiment bois mort 75
4. Incidences sur la flore et la faune du sol 77
5. Dérangement de la faune 79
6. Fragmentation des habitats 79
7. Les situations dans lesquelles l'intensification des prélèvements est favorable à la biodiversité 79
8. Besoins de recherche 80
9. Références bibliographiques 84

CHAPITRE 8 IMPACTS DE LA PRODUCTION INTENSIVE DE BIOMASSE SUR LA BIODIVERSITÉ DANS LES FORETS DE PLANTATIONS – L'EXEMPLE DES FUTAIES A COURTE RÉVOLUTION DE PIN MARITIME 89
1. Contexte 89
2. Le cas de la futaie à courte révolution des Landes de Gascogne : cadre conceptuel et itinéraire technique 90
3. Biodiversité et gestion pour la biomasse à l'échelle du peuplement 91
4. Biodiversité et gestion pour la biomasse à l'échelle du paysage 92
5. Conclusions 95
6. Pistes pour la recherche 95
7. Références bibliographiques 96

CHAPITRE 9 IMPACT DE LA PRODUCTION INTENSIVE DE BIOMASSE SUR LA BIODIVERSITÉ DANS LES TAILLIS A TRÈS COURTE ROTATION 99

1. Contexte 99
2. Effets des TTCR sur la biodiversité à l'échelle de la parcelle, en fonction de l'antécédent cultural et des itinéraires techniques 100
3. Effets des TTCR à l'échelle du paysage 102
4. Recommandations 103
5. Besoins de recherche 104
6. Références bibliographiques 104

CHAPITRE 10 IMPACTS DE PRÉLÈVEMENTS ACCRUS DE BIOMASSE SUR LES SOLS FORESTIERS 107

1. Contexte et objectifs de la contribution 107
2. État des connaissances 108
3. Recommandations et besoins de recherche 119
4. Références bibliographiques 120

CHAPITRE 11 IMPACTS DE L'UTILISATION ACCRUE DE BIOMASSE FORESTIÈRE SUR LES EAUX DE SURFACE 125

1. Contexte 125
2. Impacts de l'utilisation accrue de biomasse forestière sur le régime des cours d'eau et l'alimentation des bassins versants 126
3. Impacts du prélèvement de biomasse sur la qualité chimique des eaux de surface 127
4. Les systèmes combinant production de biomasse et pouvoir épurateur de la végétation: une opportunité réaliste ? 129
5. Conclusions et recommandations 130
6. Références bibliographiques 130

PARTIE 3 GESTION DES RISQUES ET DES OPPORTUNITES ET GOUVERNANCE 133

CHAPITRE 12 PRÉCONISATIONS POUR LIMITER LES IMPACTS LOCAUX SUR LA BIODIVERSITE ET LES RESSOURCES 135

1. Contexte et objectifs 135
2. Préconisations pour les opérations de récolte 136
3. Préconisations pour la conduite des peuplements 140
4. Conclusion 142
5. Recommandations d'études 142
6. Références bibliographiques 143

CHAPITRE 13 LES ESPACES PROTEGES FACE A L'INTENSIFICATION DES PRELEVEMENTS DE BIOMASSE EN FORET 145

1. Cadre légal des pratiques sylvicoles au sein des espaces protégés 145
2. Mobilisation de la biomasse forestière dans les espaces naturels : les principales précautions 148
3. Les opportunités, pour les espaces protégés, liées à un prélèvement accru de biomasse forestière 149
4. Recommandations et besoins de recherche 149
5. Références bibliographiques 149

CHAPITRE 14 L'AUGMENTATION DU PRÉLÈVEMENT EN FORÊT MÉDITERRANÉENNE : UNE OPPORTUNITÉ POUR GÉRER LE RISQUE D'INCENDIES OU UNE MENACE POUR LA BIODIVERSITÉ ? 151

1. Contexte général : la maîtrise de la biomasse comme base de la prévention des incendies en zone méditerranéenne 151
2. Contexte régional : de premières expériences de valorisation énergétique de la biomasse, mais sans effets sur la DFCI 152
3. Stratégies de prévention, régime de feux de forêts et évolution de la biodiversité 153
4. La nouvelle donne liée aux changements climatiques 154
5. Questions conclusives 155
6. Références bibliographiques 156

CHAPITRE 15 AUGMENTATION DE LA RÉCOLTE FORESTIÈRE ET BIODIVERSITÉ : STRUCTURES PARTICIPATIVES ET OUTILS D'INFORMATION POUR UNE RÉGULATION TERRITORIALE 157

1. Contexte : la forêt sollicitée 157
2. Les outils techniques d'une gestion différenciée : trame verte et bleue, gestion adaptative 161
3. La nécessité et l'intérêt d'une approche participative 161
4. Les méthodes participatives 162
5. Les outils d'information et de communication 163
6. Vers une intégration de la forêt dans la gouvernance territoriale 167
7. Conclusions 170
8. Besoins de recherches 170
9. Références bibliographiques 171

PARTIE 4 SYNTHÈSE ET BESOINS DE RECHERCHE 175

CHAPITRE 16 UTILISATION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE, BIODIVERSITÉ ET RESSOURCES NATURELLES : SYNTHÈSE ET PISTES D'APPROFONDISSEMENT 177

1. Le fil conducteur 177
2. Les perspectives d'utilisation de la biomasse forestière 178
3. Les perspectives d'évolution de la sylviculture 179
4. Les incidences potentielles sur la biodiversité forestière 180
5. Les incidences potentielles sur les ressources naturelles 184
6. Opportunités liées au développement de la biomasse forestière 187
7. Gouvernance : plan d'action et gestion adaptative 187
8. Les suites possibles à cette étude 190
9. Références bibliographiques 190

ANNEXES 193

ANNEXE 1 PROJET « BIOMASSE ET BIODIVERSITÉ, ÉTAT DES LIEUX (BIO2) » 195

ANNEXE 2 PROJETS ANR DANS LE DOMAINE DE LA « VALORISATION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE » 199

ANNEXE 3 GLOSSAIRE 201

ANNEXE 4 SIGLES ET ABRÉVIATIONS 209

PARTIE 1
PROBLÉMATIQUE ET ENJEUX CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET SYLVICOLE

CHAPITRE 1

ENJEUX ET PROBLÉMATIQUE - OBJECTIFS ET DÉMARCHE DE L'ÉTUDE

Guy Landmann, Ecofor

1. Enjeux et problématique générale

1.1. Énergie, climat, utilisation du bois

La crise énergétique, le spectre d'un **réchauffement de la planète** et ses conséquences ouvrent des perspectives nouvelles en matière d'**utilisation de biomasse* forestière**, notamment pour la production d'énergie[1]. On peut en effet s'attendre à une hausse des prix du bois dont les usages devraient bénéficier dans toute leur variété, des plus traditionnels aux plus novateurs (par exemple, matériaux isolants) (chapitre 2).

Ce contexte a mené à des **engagements nationaux et internationaux en matière d'énergie renouvelable**. L'**objectif retenu par l'Union européenne et la France est d'atteindre respectivement de 20 % et 23 % d'énergie renouvelable** dans la consommation totale d'énergie à l'horizon 2020 alors qu'elle était de l'ordre de 6 à 7 % en 2005 pour la France et l'Europe. La biomasse transformée en chaleur, en électricité, ou biocarburants*, devra, selon les conclusions du Grenelle de l'Environnement, représenter la moitié de cet objectif, l'autre moitié allant à l'éolien, l'hydraulique, la géothermie et le solaire. La biomasse utilisée proviendra en bonne partie de la forêt, mais également de cultures énergétiques agricoles dédiées et de sous-produits de l'agriculture.

1 À ce titre, on peut citer la Conférence internationale « La filière forêt-bois européenne : des bio-réponses aux nouveaux enjeux climatiques et énergétiques ? » 6-8 novembre 2008. Nancy. France, organisée par Ecofor dans le cadre de la Présidence française de l'Union européenne

Le constat – vérifié dans la plupart des pays européens – d'un **niveau de récolte de produits forestiers nettement inférieur à la production forestière** – et ses conséquences pour la balance commerciale du secteur bois – a été fait dans plusieurs rapports parlementaires (Duroure, 1982 ; Bianco, 1998 ; Juillot, 2003) ainsi que dans un récent rapport du CGAAER (voir Ballu, 2008). L'idée d'accompagner la « *montée en puissance de la forêt française* » (Duroure, 1982) a cédé la place à la conviction que « ***le temps de la récolte est venu*** » (Programme forestier national (MAP, 2006)), puis, enfin, à la dialectique du Grenelle de l'Environnement (chapitre 15), « ***produire plus de bois en préservant mieux la biodiversité*** » (FNE *et al*., 2007) ou encore « ***dynamiser la filière bois en protégeant la biodiversité ordinaire et remarquable*** » (Assises de la forêt, Grenelle de l'Environnement, Leroy *et al.*, 2008). Enfin, en décembre 2008, le président de la République confiait à Jean-Puech une mission sur le développement de la filière-bois, et notamment sur les modalités d'une mobilisation accrue d'une ressource forestière sous-valorisée.

Cette volonté s'est traduite par des **objectifs d'augmentation de récolte de bois** : le rapport Bianco (1998) avait fixé une récolte supplémentaire de 4 Mm^3 en forêt publique et 2 Mm^3 en forêt privée (sous 5 ans), le Programme forestier national préconisait une récolte supplémentaire de 10 Mm^3 dans l'optique du développement de la filière bois-énergie, et le Grenelle de l'Environnement des **objectifs de récolte supplémentaire de 12 Mm^3 à l'échéance 2012 et 20 Mm^3 d'ici 2020**, ces chiffres étant à comparer au niveau actuel de la récolte qui est de l'ordre de 65 Mm^3, soit une augmentation de 20% à l'échéance 2012 et 30% à l'échéance 2020.

1.2. Biodiversité

Par ailleurs, la **préservation de la biodiversité** fait l'objet d'une attention croissante, à des échelles allant du global au local. Les conférences de Rio, en 1992, et de Johannesburg, en 2002, sont des repères en la matière avec, plus près de nous, la conférence convoquée par le président Chirac à Paris en 2005 (Barbault, 2005). L'objectif principal de la Convention sur la diversité biologique (CDB), adoptée en 1992, est de combattre l'érosion de la biodiversité, défini comme la diversité de toutes les formes du vivant (voir chapitre 6, pour une analyse plus précise).

Au niveau français, une Stratégie nationale sur la biodiversité (SNB) a été élaborée (MEDD, 2004). Sa finalité est de « ***stopper la perte de biodiversité d'ici 2010 »***, comme s'y sont engagés tous les pays de l'Union européenne. Cette finalité est déclinée pour chacune des composantes essentielles du vivant : les gènes, les espèces, les habitats, les écosystèmes et leur traduction dans une trame écologique.

Un **plan d'action pour la forêt** (PAF) de la SNB (qui représente également un volet du Plan national forestier [MAP, 2006a]) a été adopté en 2006 (MAP, 2006b)**.** Le PAF vise notamment à combler les principales lacunes dans la connaissance de la biodiversité.

1.3. Biomasse et biodiversité, hier et demain

La situation de la biodiversité est bien sûr très variable selon les régions du globe et les taxons et habitats concernés. Si la forêt française ne figure pas, globalement, parmi les situations les plus critiques, le bilan provisoire est partiel et nuancé (voir chapitre 6). Si on ne connaît que partiellement l'état actuel de la biodiversité, peut-on préjuger de son évolution en cas d'utilisation accrue de biomasse ? L'histoire nous enseigne qu'**une utilisation intensive de la biomasse peut être l'une des causes de la dégradation de la biodiversité par le biais de changements dans la nature et l'intensité de l'utilisation des sols**. Il s'agit d'une situation connue dans un passé pas si éloigné, du Moyen Age au milieu du 19ème siècle, lorsque la forêt était une source majeure d'énergie pour l'ensemble des activités économiques. Elle supportait mal un tel niveau d'exploitation avant que ce débouché ne vienne se réduire considérablement avec la mise en œuvre de gisements de charbon, puis de pétrole, de gaz naturel et d'uranium.

Bien entendu, les conditions actuelles – nature des produits sortis de la forêt, techniques de récolte, maîtrise technique et gouvernance forestière, etc. – ne sont pas celles d'hier, ce qui permet d'envisager la possibilité de concilier les objectifs d'augmentation de production de biomasse et de conservation de la biodiversité. C'est notamment la vision partagée par plusieurs partenaires forestiers – FNE, ONF, FNCOFOR, et FPF – dans le cadre du Grenelle de l'Environnement ; et qui fait l'objet d'un accord partenarial mentionné plus haut par lequel ils s'engagent à « ***produire plus tout en préservant mieux*** **:**

une démarche territoriale concertée dans le respect de la gestion multifonctionnelle des forêts », et dont nous reproduisons ici un extrait :

« A partir d'une augmentation des besoins en bois en remplacement de matériaux consommateurs d'énergie, il s'agit donc :

- *de produire plus en optimisant ressources et récolte,*
- *de produire plus en préservant la biodiversité ordinaire qui accompagne et conforte les processus de production,*
- *de préserver mieux la biodiversité remarquable par sa connaissance, sa protection et son suivi.*

Ainsi, sera-t-il possible d'assurer une étroite cohérence entre les politiques de mobilisation raisonnée du bois et de préservation de la biodiversité. »

Finalement une façon d'expliciter le contexte général dans lequel s'inscrit cette étude est de représenter, selon un concept classique (figure 1), les principales « *forces motrices* » qui déterminent les « *pressions* » sur les forêts et les évolutions de la gestion des forêts et les « *réponses* » possibles des différents acteurs

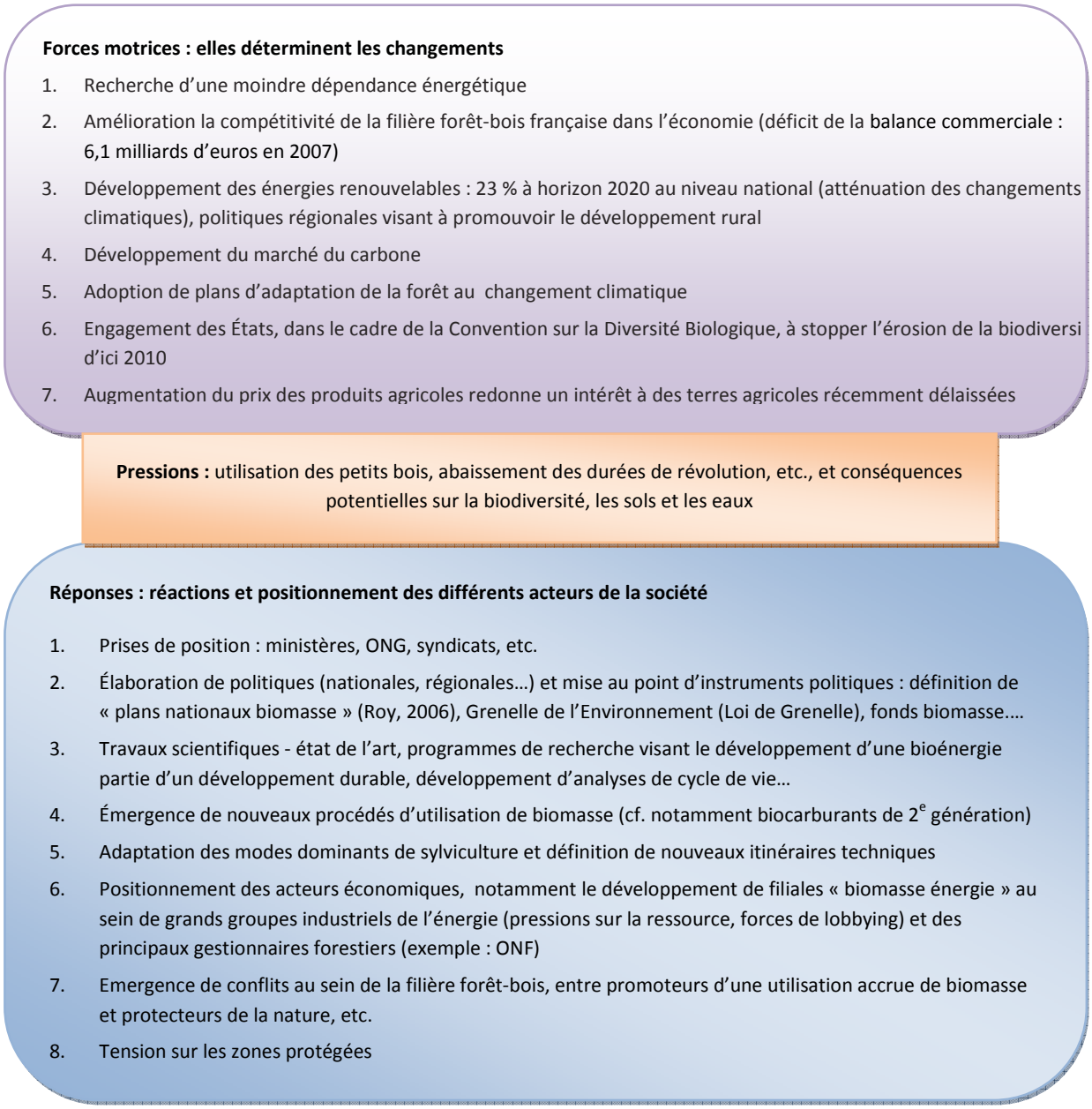


Figure 1. Présentation schématique des principales *forces motrices* qui déterminent une *pression* sur les écosystèmes forestiers, et les *réponses / réactions* des acteurs de la société

de la société aux pressions qui s'exercent sur les ressources et le milieu forestier. Cette représentation correspond surtout au positionnement initial des acteurs ; la réalité, plus complexe, s'apparente davantage à un processus itératif (figure 2) qui répond au concept de **gestion adaptative** (chapitre 15).

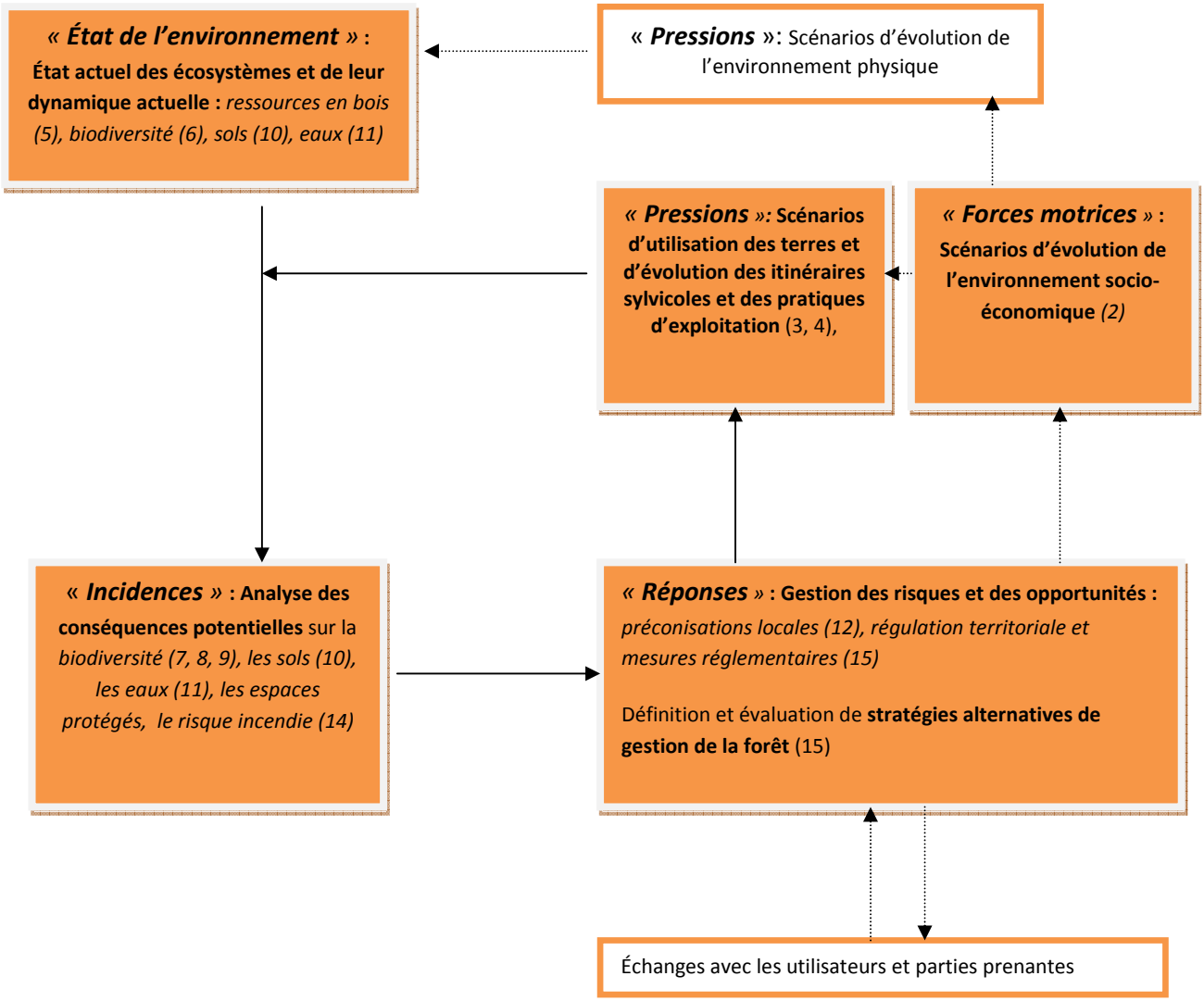


Figure 2. Démarche poursuivie dans l'étude (encadrés colorés : questions traitées ; encadrés non colorés : sujets peu ou pas traités)

La démarche s'inspire du cadre conceptuel dit «DPSIR » (en anglais)) ou « FPEIR » en français, pour « Forces motrices-pressions-état-incidence-réponses ». Les forces motrices, telles que la croissance démographique et économique, l'urbanisation et l'intensification agricole, se traduisent par des émissions de polluants et d'autres pressions qui affectent l'état de l'environnement qui, à leur tour, peuvent avoir une incidence sur la santé, sur d'autres formes de vie et sur l'environnement physique. Les réponses peuvent concerner les forces motrices proprement dites et viser à réduire leurs effets, ou améliorer l'état de l'environnement. http://glossary.eea.europa.eu/EEAGlossary/D/DPSIR

Les chiffres entre parenthèses renvoient aux numéros des chapitres de la présente étude où les sujets sont traités.

2. Objectif de l'étude, contours thématiques et démarche

Dans ce contexte aux enjeux forts, il y a un besoin impératif de faire émerger une **vision réaliste, équilibrée et partagée des répercussions possibles d'une utilisation accrue de biomasse forestière sur la biodiversité forestière et les ressources naturelles à court et moyen terme (2030-2050).** L'objectif principal de cette étude est d'en poser les bases.

La biodiversité est ici traitée avec un accent sur la **diversité biologique interspécifique des « macro-organismes »** (espèces, habitats) et les **ressources naturelles** considérées sont les **sols forestiers et les eaux de surface**, supports de la vie des forêts et milieux aquatiques d'autre part, biodiversité et ressources naturelles sont considérées en première analyse comme deux entités différentes même si des interrelations existent entre elles.

Les experts ont jugé indispensable de mettre en œuvre une approche large, même au prix d'un approfondissement inégal des différentes questions. Un certain nombre de **sujets** ont été **volontairement laissés de côté,** pour différentes raisons dont la difficulté à rassembler l'expertise nécessaire.

Les sujets ignorés ou traités superficiellement comprennent :

- le **monde micro-organique** (bactéries, levures, protozoaires, archaeas et virus, diversité microbienne) sur lequel les connaissances sont encore fragmentaires ;
- les **insectes ravageurs et champignons pathogènes** potentiellement liés aux changements de pratiques et les plantes invasives ;
- l'importance de la biodiversité pour le bon fonctionnement des écosystèmes (les sols et les eaux sont abordés sous un angle fonctionnel mais pas à strictement parler reliés à l'aspect diversité) ;
- l'apport du bon fonctionnement des écosystèmes pour la société humaine, actuellement souvent qualifiés de **services écosystémiques***; parmi lesquels on peut compter également les activités de loisir, tourisme, chasse ou encore paysage (au sens esthétique du terme) ;
- le **lien avec les changements climatiques** : on se situe ici dans une perspective à moyen terme (2030) à laquelle les effets du réchauffement seront encore globalement modérés. Par contre, les évolutions de la sylviculture justifiées par la perspective des changements climatiques (notamment le raccourcissement des révolutions) sont prises en compte ;
- la **variabilité intraspécifique** constitue une priorité du Plan d'Actions Forêt de la SNB* en matière de connaissances à développer et d'intégration dans les actes de gestion, notamment parce qu'il s'agit d'un élément central pour l'adaptation des essences au changement climatique ;
- le cas des **forêts tropicales**, qui mériterait une étude spécifique, en raison de la richesse de ces forêts sur le plan de la biodiversité, mais encore parce que leur préservation n'est pas sans lien avec les choix faits en forêt tempérée.

La démarche adoptée dans cette étude (figure 2) consiste à :

- expliciter les **contextes socio-économique et sylvicole et les scénarios envisagés** (chapitres 2 et 3) ;
- identifier et décrire les principales **incidences possibles** de l'utilisation accrue de la biomasse forestière sur la biodiversité, les sols et les eaux de surface (chapitres 7 à 11). Il peut s'agir de risques (voire de ruptures) mais aussi d'opportunités (chapitre 14) ;
- formuler une première série de préconisations sous la forme de **recommandations techniques** visant à réduire les effets éventuels d'une utilisation accrue de biomasse sur la biodiversité et les ressources naturelles (chapitre 12) ;
- proposer un cadre et les éléments d'une **gouvernance forestière** capable de relever le défi du « récolter plus tout en préservant mieux » (chapitre 15) ;
- identifier des **sujets d'expertise et de recherche** qui paraissent utiles pour appuyer ce défi dans le temps (mentionnés à la fin de chaque chapitre).

3. Références bibliographiques

Ballu J.-M., 2008. Pour mobiliser la ressource de la forêt française. Résumé du rapport du groupe de travail sur l'insuffisante exploitation de la forêt française. *Revue forestière française* 60 (1) : 13-24

Barbault R. (Dir.), 2005. Actes de la conférence internationale Biodiversité – science et gouvernance. Paris, 24-28 janvier 2005. Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle, 319 p.
http://www.ecologie.gouv.fr/Actes-de-la-Conference.html

Bianco J.-L., 1998. La Forêt, une chance pour la France. *Revue forestière française*, 50(6) : 493-606.

Duroure R., 1982. Propositions pour une politique globale forêt-bois. *Revue forestière française*, 34 (n° spécial), 116 p.

FNE, FNCOFOR, ONF, FPF, 2007. *Forêt : produire plus de bois tout en préservant mieux la biodiversité. Une démarche territoriale concertée dans le respect de la gestion multifonctionnelle des forêts*. Contribution du 04 septembre 2007 au Groupe N° 2 du Grenelle de l'Environnement, 2 p.

Juillot D., 2003. La Filière-bois française : la compétitivité, enjeu du développement durable. *Revue forestière française*, 55(3) : 185-296

Leroy P., Halley des Fontaines S., Barthod C., Moulinier A., 2008. Comité Opérationnel n° 16 « Forêt » du Grenelle de l'Environnement. Rapport au ministre d'État, ministre de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables et au ministre de l'Agriculture et de la Pêche, 15 p.

MAP, 2006a. *Le programme forestier national*. Paris, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 14 p.

MAP, 2006b. *Stratégie Nationale pour la Biodiversité. Plan d'action forêt*. Paris, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 12 p.

MEDD, 2004. *Stratégie française pour la biodiversité : enjeux, finalités, orientations*. Paris, ministère de l'Écologie et du Développement durable, 48 p.

Roy C., 2006. Plan biocombustibles (plan directeur pour la valorisation de la biomasse). Paris, 92 p.

CHAPITRE 2

CONTEXTE ET PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES

Jean-Luc Peyron, Ecofor

1. Contexte général et objectifs de la contribution

Le contexte économique de la gestion forestière pourrait bien avoir amorcé un tournant important au cours des dernières années ; le prix de l'énergie est certes affecté d'une grande variabilité, mais semble avoir adopté une tendance croissante à long terme. Au cours des sept premiers mois de 2008, la hausse du prix du baril de pétrole a été spectaculaire, même si sa décroissance a ensuite été encore plus rapide. La crise économique qui s'installe dans la seconde partie de 2008 induit un répit dans la croissance de la demande d'énergie, mais la plupart des analystes considèrent que le prix de l'énergie se remettra à la hausse lorsque la crise aura été surmontée. La principale inconnue réside dans la gravité de la crise, sa persistance et le délai nécessaire à la surmonter.

La consommation de bois ronds stagne en France depuis deux à trois décennies en dépit d'une augmentation très significative des ressources forestières, notamment feuillues ; l'offre s'est trouvée sérieusement perturbée par des épisodes météorologiques exceptionnels (tempêtes, sécheresse et, à un degré moindre, canicule) et, à compter de 2008, la demande a été freinée par la crise économique. Cependant, **une remontée durable du prix de l'énergie pourrait laisser augurer des temps meilleurs pour l'économie du bois**. Face à cette éventualité, deux interrogations majeures se font jour :

- la hausse du prix de l'énergie est-elle structurelle et, si c'est le cas, les variations conjoncturelles ne risquent-elles pas de masquer la tendance à long terme et donc de gêner l'élaboration de stratégies d'anticipation ? Le contexte sera-t-il enfin favorable à la filière forêt-bois et permettra-t-il effectivement d'augmenter le prélèvement des ressources disponibles dans les forêts françaises ?
- compte tenu de la taille atteinte aujourd'hui par le secteur énergétique, sans commune mesure avec celle qu'il avait à l'époque où le bois constituait son principal approvisionnement, n'y a-t-il pas le risque qu'un excès de récolte, notamment aux endroits les plus sensibles, vienne altérer de

manière significative les autres fonctions que remplit la forêt dans les domaines de la biodiversité, des grands équilibres physico-chimiques et du paysage ?

Dans les deux cas, il s'agit bien de savoir dans quelle mesure on pourra mettre en œuvre l'objectif poussé au premier plan du dossier forestier tout au long du Grenelle de l'Environnement, à savoir **« *dynamiser la filière-bois en protégeant la biodiversité ordinaire et remarquable* »** (Leroy *et al*., 2008).

L'analyse économique présente ici certaines spécificités qui méritent d'être explicitées :

- on attend de l'analyste qu'il scrute l'horizon pour aider à appréhender l'avenir ; or il s'agit là d'un exercice d'autant plus périlleux que le changement en cause est probablement structurel et tend à sortir du champ des observations qui ont pu être faites par le passé ; une certaine modestie est donc de mise ;
- alors que de nombreux acteurs se meuvent sur cette scène économique où ils doivent analyser la situation pour prendre des décisions, il n'existe que peu d'études et recherches économiques pour les aider dans cette tâche et donc guère d'éléments objectifs ;
- la filière forêt-bois est, en elle-même, complexe et cette appréciation se trouve renforcée du fait d'une connaissance insuffisante en la matière, d'une part, de l'importance des interactions avec le mouvement économique général, d'autre part.

C'est à l'aune de ces difficultés qu'il convient d'apprécier l'exercice qui suit. Celui-ci se fonde sur quelques articles scientifiques qui traitent précisément du sujet dont les enseignements ont été complétés par des considérations générales de la science économique et des avis d'experts.

L'avenir des ressources forestières et, plus particulièrement, l'utilisation de produits forestiers pour faire face à la demande énergétique dépendent de multiples facteurs que l'on peut analyser en considérant schématiquement quelques **grands domaines** parmi lesquels :

- **le secteur énergétique**, facteur fondamental pour développer l'utilisation de la biomasse **;**
- **la filière forêt-bois**, toute entière concernée par un tel développement **;**
- **les ressources forestières**, disponibles en quantité limitée malgré leur caractère renouvelable **;**
- **les enjeux environnementaux**, importants en eux-mêmes et pour un développement durable**.**

Ces quatre grands domaines sont successivement étudiés ci-après avant de conclure du double point de vue de la gestion forestière et des besoins de recherche.

2. Le secteur énergétique

Le marché de l'énergie est placé sous la dépendance :

- du **niveau des ressources énergétiques**, qu'elles soient fossiles ou alternatives ;
- des possibilités offertes par la **technologie** pour développer de nouvelles sources d'énergie et limiter les inconvénients des énergies actuelles ;
- du **mouvement économique général,** c'est-à-dire de la croissance et de la façon dont elle s'opère, qui détermine largement la demande d'énergie ;
- de la montée en puissance des **préoccupations environnementales** et notamment des régulations portant sur les émissions de carbone.

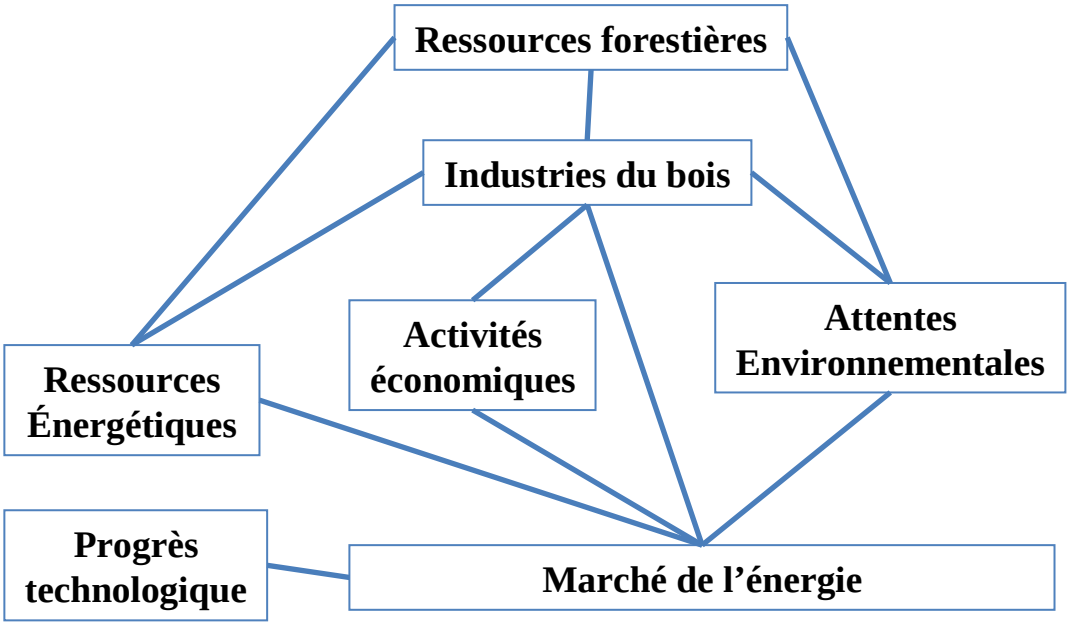


Figure 1. Déterminants du marché énergétique et répercussions sur la filière forêt-bois

L'offre d'énergie dépend du niveau des ressources énergétiques et des progrès technologiques ; la demande est, quant à elle, liée au niveau des activités économiques et aux contraintes environnementales induites par la lutte contre l'effet de serre (carbone). Les industries du bois participent à la demande d'énergie mais de manière modique (hors secteur papetier). Elles contribuent plus nettement à l'offre d'énergie. Elles dépendent par ailleurs fortement du niveau des activités économiques et des attentes environnementales. Les ressources forestières évoluent selon la récolte de bois et participent soit directement (bois-énergie), soit indirectement (via les industries du bois) à l'approvisionnement énergétique. Elles sont soumises à des contraintes environnementales (biodiversité, fertilité, paysage).

La production d'énergie doit faire face tout d'abord à **un certain épuisement du pétrole et du gaz naturel**, deux ressources fossiles qui représentent environ la moitié des énergies primaires consommées, aussi bien en France que dans le monde, et une proportion encore plus grande en Europe. En dépit de quelques différences, ces deux sources d'énergie sont marquées par le fait que la prospection ne suffit plus à compenser les extractions. Cet épuisement n'a pas encore atteint le niveau susceptible d'enclencher une baisse de la consommation qui pourrait néanmoins intervenir dans les dix à vingt ans qui viennent pour le pétrole et dans les vingt à trente ans qui viennent pour le gaz. Un phénomène de raréfaction de ces ressources est donc attendu qui devrait conduire, toutes choses égales par ailleurs, à une augmentation du prix de l'énergie, soit par effet de rationnement de l'offre, soit par conversion vers d'autres énergies jusque-là plus coûteuses.

Au contraire, **le charbon reste abondant**, relativement bien réparti dans le monde et assez peu coûteux à extraire. Sa consommation devrait pouvoir augmenter encore durant un à deux siècles. Le principal frein à son développement vient de la pollution qu'il entraîne et, bien sûr, de son caractère fossile.

De manière alternative, **le nucléaire apparaît comme un recours possible**, surtout pour les autres pays que la France mais il pose deux problèmes : celui des risques qui sont associés à son fonctionnement comme au stockage des déchets qu'il engendre, et le fait qu'il conduit à l'électricité dont l'adaptation aux transports reste à prouver et à développer.

Bien qu'elles fassent l'objet d'objectifs ambitieux et d'incitations aux niveaux européens et français (chapitre 1), les **énergies renouvelables présentent également des limites** : l'éolien et le solaire (photovoltaïque) sont caractérisés par l'intermittence de leur production et une forme également essentiellement électrique ; l'hydraulique terrestre ou marin est confronté à la difficulté de trouver des sites acceptables tandis que la biomasse, notamment agricole, doit faire face au manque d'espace ainsi qu'aux conséquences sociales (alimentaires) et environnementales de son développement. Ces sources d'énergie sont en plein développement, mais il ne paraît pas évident que leur taux de croissance puisse dépasser de beaucoup celui de la consommation d'énergie (Bugat et Dupuy, 2007 ; Férone, 2008).

Sur la base de ces éléments, **on pourrait donc se diriger, à l'horizon d'une trentaine d'années, vers une diminution de la production de pétrole puis de gaz, une compensation partagée entre charbon et nucléaire, tandis qu'on se heurterait assez rapidement à un plafonnement de la part des énergies renouvelables** (Férone, 2008).

La considération des ressources énergétiques doit cependant se doubler d'une **évaluation en termes de carbone** dans la lutte contre l'effet de serre et l'atténuation des changements climatiques. Les accords internationaux vont dans le sens de quotas d'émissions qui se traduisent par la nécessité de passer à d'autres solutions *a priori* plus onéreuses. Leur déclinaison au niveau des différentes puissances a conduit en Europe à l'ouverture d'un marché qui donne un prix au carbone. Il concerne en fait le carbone non émis par certains allocataires de quotas et émis en surplus par d'autres. Le renchérissement ne concerne ainsi qu'une fraction marginale du carbone émis et non sa totalité : son effet se trouve donc dilué. La généralisation d'une taxe carbone produirait un effet beaucoup plus étalé et significatif, mais reste pour l'instant hypothétique. **La prise en compte du carbone émis lors de l'utilisation des ressources fossiles contribue de toute façon à un renchérissement supplémentaire de cette forme d'énergie**, dont l'ampleur dépendra de la décision ou non d'instaurer une taxe sur le carbone, là où elle n'existe pas encore, et éventuellement de la renforcer la où elle existe déjà (notamment sur les carburants). Elle vient donc pénaliser un peu plus le pétrole et le gaz mais pourrait surtout limiter le développement du charbon.

Le **progrès technologique** n'offre-t-il pas, à court terme, des solutions susceptibles soit de régler le problème des émissions de CO_2, soit de révolutionner la production d'énergie ? Dans le premier cas, des recherches sont engagées en matière de captage et de stockage de CO_2. Dans le deuxième, on attend beaucoup du stockage d'énergie (qui faciliterait le recours aux énergies intermittentes), de la fusion nucléaire (réacteur ITER) et de l'utilisation de l'hydrogène comme carburant ou pour la production d'électricité (pile à combustible). Cependant la **durée de mise au point et de développement** à grande échelle de ces technologies est d'au moins une trentaine d'années (Bugat et Dupuy, 2007).

Le **fonctionnement économique général** conditionne la demande de biens et services et, par conséquent, le niveau d'activités dans les différentes branches de l'économie. Il constitue le contexte dans lequel s'insèrent notamment la production d'énergie et la filière forêt-bois. Il repose entre autres sur une croissance démographique qui devrait se poursuivre au niveau mondial jusqu'en 2050, et sur une élévation continue du niveau de vie. La combinaison de ces deux composantes devrait impliquer une consommation supplémentaire importante d'énergie. Deux facteurs vont cependant venir, sinon annuler, du moins limiter une telle évolution :

- les conséquences environnementales d'une augmentation de la consommation d'énergie, notamment du maintien à un niveau élevé de l'exploitation d'énergies fossiles, obligent les sociétés à changer de comportement ; on se trouve ici dans une **logique du type « facteur 4 »** qui conduirait à diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre durant la première moitié du 21^{e} siècle dans les pays industrialisés, et par 2 en moyenne dans le monde (de Boissieu, 2006) ; notre capacité à atteindre un tel objectif est planifiée par certains et mise en doute par d'autres : son réalisme fait débat ;
- l'augmentation du prix de l'énergie pèsera elle-même sur la croissance et donc en particulier sur les besoins énergétiques.

Au cours de la période récente, la consommation d'énergie dans le monde a augmenté au rythme d'un doublement en 30 ans. Éviter à nouveau un tel doublement au cours des trente prochaines années et maintenir le niveau actuel constituent déjà une gageure. Diviser effectivement par deux la consommation mondiale actuelle (et non plus la consommation tendancielle future) supposerait de tels efforts, notamment dans les transports, qu'on peut facilement douter d'y parvenir à l'échelle de la planète.

De deux choses l'une : ou bien l'énergie sera très demandée par rapport à sa disponibilité, donc chère, ou bien on parviendra à en réduire la consommation, vraisemblablement au moyen d'une taxe sur le carbone. Qu'il soit ainsi lié à une demande d'énergie très excédentaire par rapport à l'offre ou à un marché régulé par une taxe sur le carbone, le coût de l'énergie pour l'utilisateur final devrait croître et rester élevé au moins jusqu'à l'horizon 2050. Son niveau ne sera pas pour autant stable et ses soubresauts, difficilement évitables pour des raisons géopolitiques, gêneront la visibilité nécessaire à l'élaboration d'une stratégie sectorielle pertinente.

3. La filière forêt-bois

Un niveau élevé du prix de l'énergie, nettement supérieur à ce que l'on a connu au cours des deux dernières décennies, influence directement le prix du bois-énergie. Il peut fort bien, au-delà d'un certain seuil, produire des répercussions sur ce qu'on appelle généralement en France « l'autoconsommation » de bois dont le statut pourrait évoluer de celui d'une économie informelle vers des transactions plus tangibles (Philippe Delacote, *communication personnelle*). Par ailleurs, l'offre d'énergie verte est largement encouragée en France par les pouvoirs publics (appels d'offres de la Commission de Régulation de l'Énergie et fonds chaleur de l'ADEME par exemple). Mais il faut noter surtout qu'**une énergie chère agit, directement ou indirectement, sur l'ensemble des industries et marchés du bois et produits dérivés**.

Les tendances à long terme de la filière forêt-bois sont généralement analysées pour les pays développés par le Secrétariat commun au Comité des bois de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (UNECE) et de la Commission forestière européenne de l'Organisation mondiale pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO). Le dernier rapport décennal publié sur la question ne fait cependant qu'effleurer l'hypothèse d'une forte augmentation du prix de l'énergie et ses conséquences sur la filière forêt-bois (Nations-Unies, 2005). En effet, les principaux facteurs exogènes analysés sont le niveau des prix (supposé constant) et la croissance économique (supposée en régression). Il est vrai que cette étude est largement basée sur l'analyse des tendances passées qui, même associées à des approches économétriques, n'envisagent pas tous les futurs possibles et d'éventuels changements structurels à la manière, par exemple, d'une véritable analyse prospective.

En matière de prospective, une analyse a été conduite en France au cours des années 1990 (Sebillotte, 1998) mais sans relier non plus explicitement le futur de la filière forêt-bois à celui du secteur énergétique. Elle peut permettre indirectement d'aider à envisager les conséquences d'une demande accrue de biomasse (chapitre 3). Un récent « Essai de prospective » sur la forêt française vient de paraître qui, lui, prévoit plusieurs scénarios allant de « tout pour l'énergie » aux « friches forestières » en passant par « tout pour l'alimentation », « tout pour le développement durable » et « concurrence alimentation-énergie » (Bourgau *et al.*, 2008).

Ces diverses analyses générales ne remplacent cependant pas des considérations intégrant à la fois explicitement un changement structurel lié au renchérissement de l'énergie, à la différence des approches économétriques, et de multiples solutions possibles, à la différence des scénarios très typés de prospective.

3.1. Les caractéristiques énergétiques des secteurs du bois matériau et de la trituration

En ce qui concerne le **secteur du bois matériau**, on peut faire les observations suivantes :

- les matériaux concurrents du bois (ciment, béton, plâtre, acier, verre, céramique, PVC…) réclament en général plus de ressources fossiles pour leur fabrication et sont donc handicapés par une énergie chère relativement au bois ;
- le bois possède des vertus qui devraient renforcer son usage dans un contexte de crise énergétique : c'est un isolant, une ressource renouvelable et il stocke du carbone ;
- la production et la transformation du bois engendrent des sous-produits susceptibles d'être utilisés à titre énergétique ; un renchérissement de l'énergie augmente donc la compétitivité de la filière forêt-bois qui bénéficie alors d'une meilleure valorisation de ses produits connexes ;une première restriction vient cependant compenser les avantages précédents : un renchérissement de l'énergie pénalise la croissance économique, au moins à court terme, ce qui freine le développement du bois même si celui-ci se trouve favorisé relativement à ses principaux concurrents ; ce frein devrait se relâcher au cours du temps du fait du caractère impérieux de nombreux débouchés du bois (construction, ameublement, objet divers, emballage) ;
- une seconde restriction vient du fait que les logements collectifs absorbent relativement moins de bois que la construction résidentielle ; or, ce sont les premiers qui devraient bénéficier des politiques de réduction de la consommation énergétique (Sandrine Costa, communication

personnelle) ; d'où l'intérêt d'augmenter la part du bois dans les logements collectifs, par exemple en application de la loi sur l'air de 1995.

C'est ainsi que lors des chocs pétroliers de 1973 et 1979-1980, les quantités de bois d'œuvre* récolté n'ont guère varié tandis que les prix ont été, quant à eux, multipliés par 2 ou 3 (Peyron, 2002). Cet exemple donne une idée de ce que pourraient être les prix du bois dans le cas où l'on vivrait une période longue avec des prix élevés de l'énergie, sans crise de l'immobilier ni marasme économique ambiant exceptionnel.

Le **secteur de la trituration** (panneaux et papier-carton) absorbe environ un tiers de la récolte commercialisée française de bois rond mais aussi une quantité importante de produits connexes de scierie et de produits de la récupération ; il est soumis en partie à des évolutions analogues à celles du bois matériau est soumis en partie à des évolutions analogues mais :

- il consomme plus d'énergie et se trouve donc plus sensible à la crise ; ainsi, à la faveur des chocs pétroliers de 1973 et de 1979-1980, les gros bois se sont en moyenne appréciés relativement aux petits bois (Peyron et Guo, 1995) ;
- il utilise un approvisionnement qui entre en concurrence directe avec le bois-énergie, aussi bien pour ce qui concerne le bois brut que pour une partie des produits connexes de scierie, voire les produits de récupération ;
- l'industrie papetière présente la particularité d'être à la fois très consommatrice et très productrice d'énergie : elle possède sans doute de ce fait plus de marges d'adaptation que l'industrie des panneaux.

La dichotomie présentée ci-dessus entre bois matériau et bois de trituration correspond évidemment à une vision simplifiée. L'évolution des technologies fait que de nouveaux matériaux viennent s'insérer entre les produits du bois massif et ceux de la trituration. La réalité est donc plus complexe mais l'impression générale demeure : **on peut s'attendre à un regain d'intérêt non seulement pour le bois-énergie mais aussi pour les bois d'œuvre, voire de trituration, relativement à leurs concurrents.**

3.2. Modalités de contribution de la filière forêt-bois au marché de l'énergie

Lorsqu'on s'intéresse à la contribution de la filière forêt-bois au marché de l'énergie, l'image qui vient le plus souvent à l'esprit est celle de la production directe de bois de feu par les taillis à plus ou moins courte révolution. En s'arrêtant à cette vision simpliste, dans le cas d'un engouement décuplé pour les énergies renouvelables faute d'autres énergies acceptables aux plans économique et environnemental, on serait vite tenté d'imaginer une évolution des forêts en conversion inverse à celle qui a permis, en quelques siècles, de passer du taillis au taillis-sous-futaie et à la futaie. La réalité est en fait plus complexe et la contribution de la filière forêt-bois au marché de l'énergie très diversifiée. Elle comprend de multiples modalités (voir notamment European Environmental Agency, 2006 et 2007 ; chapitre 3) dont les conséquences économiques et environnementales sont évidemment différenciées :

- la plantation de **taillis voire de futaie à courte ou très courte révolution (TCR, TTCR)** ; son évaluation environnementale est différente selon qu'elle est réalisée sur sol agricole, dans une friche ou en forêt (chapitre 9) ; par ailleurs, les analyses concluent généralement qu'il faut une forte augmentation du prix de l'énergie pour rentabiliser ce mode de production (Lecocq, 2007) ;
- les prélèvements en forêt :
    - un **prélèvement plus complet de bois** qui, jusque-là, étaient laissés sur coupe (menus bois de diamètre inférieur à 7 cm) : de rémanents qu'ils étaient, ils deviendraient produits forestiers à la faveur du changement des conditions économiques ; cette intensification des prélèvements, éventuellement étendue aux souches, peut faire craindre sur stations pauvres une perte de fertilité du sol due à une augmentation de l'exportation d'éléments minéraux dont la proportion est plus forte dans les petits bois (chapitre 10),
    - des **coupes de transition** qui résultent d'une stratégie d'abaissement de l'âge d'exploitabilité* ; en effet, si les bois se renchérissent par rapport aux dépenses d'investissement, alors ces dernières seront plus facilement amorties et l'âge

d'exploitabilité devrait être réduit toutes choses égales par ailleurs ; ces coupes de transition ont un double effet : à court et moyen terme, elles correspondent à un prélèvement supplémentaire tandis qu'elles conduisent à long terme à un niveau de récolte pouvant être supérieur ou inférieur au niveau précédent selon les cas ; au plan environnemental, un abaissement de l'âge d'exploitation renforce en général l'exportation d'éléments minéraux (chapitre 10) et vient limiter la quantité d'habitats propices à une partie significative de la biodiversité forestière (chapitre 7),

- des **coupes de rattrapage** correspondant au fait que des arbres ou des peuplements n'ont pas été exploités à leur âge d'exploitabilité théorique en raison de contraintes ayant pesé sur la décision d'exploiter ; le changement de contexte économique conduit vraisemblablement à rattraper une partie au moins du retard pris ; l'augmentation des prélèvements qui en résulte ne concerne cependant que les court et moyen termes, le temps de résorber le retard ;

- une **récolte d'arbres hors forêt**, isolés ou d'alignement, qui n'étaient pas exploités jusque-là du fait d'une rentabilité insuffisante ;
- les **produits connexes de scierie** (écorces, dosses*, délignures*, plaquettes***) et autres industries du travail mécanique du bois** sont également utilisables sous forme énergétique ; cependant, alors qu'ils étaient autrefois considérés comme des déchets dont il fallait se débarrasser, ils sont maintenant largement valorisés par les industries de trituration (pâtes et panneaux) dont l'approvisionnement est perturbé par leur utilisation sous forme énergétique ;
- les produits connexes de papeterie, **liqueur noire et boues papetières,** sont déjà largement utilisés à titre énergétique au sein même des entreprises qui les engendrent ; cependant, une amélioration très significative des rendements énergétiques est encore envisageable dans ce domaine ;
- les produits en fin de vie (emballages lourds et légers, bois de déconstruction et démolition) peuvent faire l'objet d'une **récupération** et d'une utilisation énergétique à condition d'opérer dans des installations performantes capables de filtrer et traiter les produits chimiques associés (colles, traitements, peintures, vernis…) ;
- de manière générale, de nombreux **progrès technologiques** peuvent encore être faits en matière de production d'énergie à partir de la filière forêt-bois : amélioration des procédés (par exemple en cogénération de chaleur et électricité), augmentation des rendements énergétiques des matériels et procédés en œuvre, mise en service de nouveaux procédés, notamment dans des biocarburants* de 2^{e} génération utilisant les plantes entières et donc le bois, diminution des inconvénients liés à la combustion…

Ainsi, nous avons vu précédemment que le contexte énergétique rejaillissait sur l'ensemble de la filière forêt-bois, et particulièrement au niveau du bois matériau comme du bois-énergie. De la même manière, ***la contribution de la filière forêt-bois à la production énergétique va bien au-delà de la production directe de bois-énergie. Elle doit donc être analysée dans sa diversité, évaluée aux plans environnemental et économique, faire l'objet de régulations et incitations fondées sur une approche globale.***

4. Les ressources forestières

Depuis deux à trois décennies, les ressources forestières françaises métropolitaines sont considérées comme sous-exploitées. La conscience de cet état de fait s'est révélée au fur et à mesure que l'avancée de l'Inventaire forestier national (IFN) permettait de dévoiler la production biologique annuelle de la forêt française et de la comparer à la récolte commercialisée, suivie par l'enquête de branche « exploitation forestière ». Elle s'est affinée lorsque deux cycles d'inventaire ont permis en outre d'estimer la récolte totale, commercialisée ou « autoconsommée », et donc de mettre en évidence le **rapport entre cette récolte totale et la production biologique annuelle**. Les indicateurs de gestion durable pour la forêt française (MAP, 2006a) et les comptes expérimentaux de la forêt française (Tabourel *et al.*, 2005) aboutissent à une valeur de ce rapport comprise entre **65 et 70 % à la fin du 20^{e} siècle**. Cette situation s'est traduite depuis les années 1980 par la volonté d'augmenter le niveau des récoltes (chapitre 1).

La mise en évidence d'un écart entre la production biologique des forêts et le niveau de la récolte de bois ne suffit pas à elle seule à bien caractériser le potentiel supplémentaire d'exploitation dans la forêt française ; il faut aussi prendre en compte :

- la plus ou moins grande **accessibilité des peuplements**, qui peut être vue sous un angle englobant les contraintes physiques mais aussi juridiques, économiques et sociales ;
- la structure des **stades de maturité des arbres ou peuplements**, impliquant par exemple qu'il est normal d'exploiter moins que la production biologique dans une forêt jeune et plus dans une forêt vieillie ;
- le fait qu'il n'y a pas une seule mais une **infinité de sylvicultures possibles** (différenciées par exemple par l'âge d'exploitabilité des arbres) permettant de maintenir un équilibre global en prélevant juste l'accroissement, et que la sylviculture elle-même évolue dans le temps (chapitre 3).

L'analyse des ressources forestières disponibles a justement pour but de déterminer la récolte qui pourrait être prélevée dans l'ensemble du stock que constitue la ressource, sous l'hypothèse d'une sylviculture raisonnable, faisant l'objet d'un certain consensus. Parmi les différentes études réalisées (chapitre 5), celle du Cemagref (Vallet *et al.*, 2007 ; Ginisty *et al*., 2007 ; chapitre 5) aboutit pour la France à un **volume théorique disponible supplémentaire de petits bois de l'ordre de 18 millions de mètres cubes par an (Mm^3/an)**, soit 4 à 5 millions de Tonnes d'équivalent pétrole (TEP), moins de 2 % de la consommation d'énergie primaire et de l'ordre de 3 % de la consommation d'énergie fossile.

Cependant, pour que ce volume théoriquement disponible soit effectivement exploité, deux conditions sont nécessaires, qui incitent à analyser le problème à une échelle géographique très fine :

- l'**exploitation est rentable**, ce qui suppose que les peuplements soient accessibles, que des débouchés existent à proximité, que la qualité des bois soit bonne ;
- le **propriétaire est prêt à réaliser cette récolte**.

En l'absence de modèles économiques et décisionnels préexistants intégrant ces deux aspects, l'étude du Cemagref a testé deux valeurs raisonnables de l'élasticité-prix de l'offre de petits bois (augmentation relative des quantités de bois mises en marché de 0,2 ou 0,5% pour une augmentation de 1% de leur prix) ; elle a également envisagé deux valeurs pour l'élasticité-prix de la demande : 0 ou -0,5%). Les résultats indiquent que, pour une augmentation des prix de 50% (très forte par rapport à l'utilisation classique de la notion d'élasticité), les quantités prélevées pourraient augmenter de 3 à 12 Mm^3/an selon les élasticités-prix de l'offre et de la demande de petits bois, et que l'augmentation serait de 5 Mm^3/an pour des élasticités-prix respectives de l'offre et de la demande de 0,2 et -0,5% (Chabé-Ferret *et al.*, 2007). Pour un doublement des prix, on prélèverait 6 à 21 Mm^3/an supplémentaires.

Finalement, l'analyse théorique suggère que des récoltes complémentaires sont possibles dans la forêt française mais elle prévient que leur réalisation nécessite une augmentation très significative des prix du bois (doublement par rapport à 2007) et une forte élasticité-prix de l'offre de petits bois. Elle mériterait d'être complétée par une analyse géographique plus fine permettant de mieux prendre en compte l'accessibilité à la ressource, la localisation et les bassins d'approvisionnement des industries utilisatrices actuelles et futures, ainsi que le comportement des détenteurs de la ressource. Une politique de sensibilisation et d'incitation des propriétaires forestiers est sans doute nécessaire pour conduire ceux d'entre eux qui seraient sensibles à une telle politique à mettre effectivement plus de bois en marché.

5. Les enjeux environnementaux

La perspective d'augmenter la récolte de biomasse dans les forêts françaises conduit à considérer deux grands enjeux environnementaux que sont le **carbone et la biodiversité**. Dans la mesure où l'on raisonne à long terme, dans le cadre d'une gestion durable et en intégrant les avantages de la substitution du bois aux matériaux ou sources d'énergie concurrents, la récolte de bois participe d'une bonne gestion du carbone devient un des enjeux forestiers des accords faisant suite à ceux de la première période d'engagement du Protocole de Kyoto (Nabuurs *et al.*, 2007, Taverna *et al.*, 2007). Ce point reste discuté, notamment lorsqu'il s'agit de raisonner à court ou moyen terme et en raison de la difficulté de

comptabiliser la substitution. Mais cette discussion constitue un sujet en soi et ne sera pas plus traitée ici[2]. Nous nous concentrons donc sur la biodiversité qui intègre, dans une acception large, aussi bien le maintien des grands équilibres physico-chimiques et la fourniture d'aménités que la conservation de la faune et de la flore (chapitre 1).

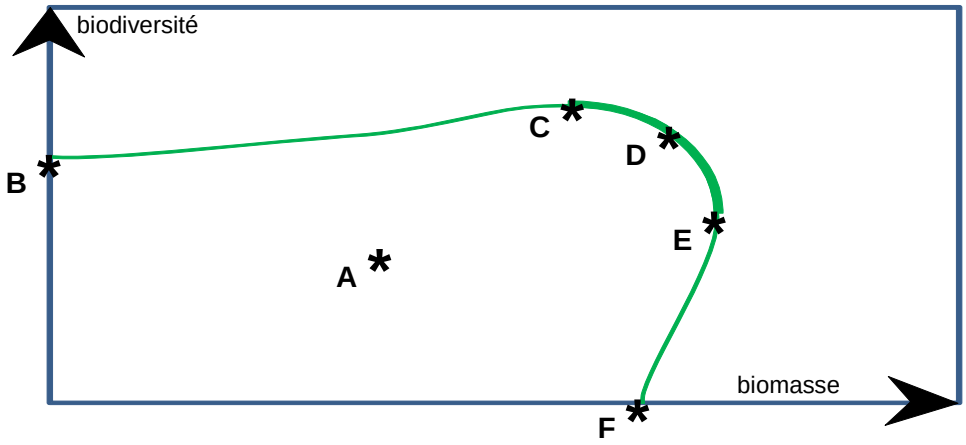


Figure 2. Optimum de Pareto appliqué à la biomasse et à la biodiversité

On suppose ici que la gestion forestière est évaluée très schématiquement et sans considération d'espace ni de temps selon deux critères pouvant être représentés chacun en une dimension, par exemple la récolte de biomasse (en abscisse) et la qualité de la biodiversité (en ordonnée). On suppose aussi que l'on peut représenter l'ensemble des situations possibles à l'intérieur d'une enveloppe ou frontière dont une illustration hypothétique est ici donnée par la courbe BCDEF ; celle-ci ne peut être dépassée pour des raisons physiques, biologiques, écologiques ; elle dépend évidemment des indicateurs utilisés pour représenter les deux critères considérés. Il existe un grand nombre de situations dans lesquelles ces deux indicateurs peuvent être améliorés : c'est le cas pour l'ensemble des points à l'intérieur de la frontière (comme le point A d'où l'on peut viser par exemple D) ainsi que pour les parties BC ou FE de la frontière. En revanche, la partie de frontière CDE est particulière : on ne peut augmenter un critère sans diminuer l'autre, ce qui est la définition d'un optimum de Pareto ; en effet, lorsqu'on se trouve en D, on peut augmenter la récolte de biomasse en allant vers E, mais au prix d'une diminution de la biodiversité ; on peut de même améliorer la biodiversité en se déplaçant vers C mais au détriment de la biomasse. En dépit des hypothèses sur lesquelles repose cette représentation, on comprend que deux critères différents peuvent rester compatibles dans de nombreux cas et devenir conflictuels lorsque l'un ou l'autre est poussé à l'extrême. On voit aussi que les situations conflictuelles sont plus ou moins fréquentes selon la forme de la frontière et l'ampleur de la partie correspondant à l'optimum de Pareto (celle-ci apparaît relativement restreinte sur le cas de figure présenté ici).

En présence d'un terrain dégradé susceptible d'être boisé, le développement de la forêt contribue en général à l'accroissement à la fois de la biodiversité et de la biomasse. De la même façon, éviter une déforestation ou dégradation de la forêt trouve une double justification fondée sur la production de bois et la protection de l'environnement. En revanche, lorsque la nature forestière elle-même n'est pas menacée et que les enjeux forestiers s'affinent, il devient plus difficile de favoriser et la biomasse et la biodiversité. En effet, d'une part on arrive au point auquel il ne devient plus possible de développer l'un ou l'une sans porter préjudice à l'autre (situation correspondant à la définition d'un optimum de Pareto, dont une approche schématique est fournie figure 2) ; d'autre part les incertitudes sur la mesure de ces enjeux sont susceptibles de favoriser les controverses. On peut donc retenir que **le développement initial de la forêt amène d'abord dans son sillage l'ensemble des fonctions de la forêt mais que, au-delà d'un certain point, il convient d'arbitrer entre les avantages retirés de la gestion de l'une d'entre elles et les préjudices causés à certaines autres**.

[2] Voir pour cela les actes de la conférence qui s'est tenue à Nancy en novembre 2008, à paraître en 2009 dans la *Revue forestière française*

Lorsqu'il s'agit de **renforcer la biodiversité**, par exemple en créant des réserves biologiques, alors l'avantage d'une telle opération est délicat à appréhender mais son coût apparaît plus nettement comme le manque à gagner lié à la diminution ou à l'arrêt des prélèvements de biomasse (Peyron, 2003, 2005). Ce coût est non seulement d'autant plus grand que les peuplements considérés sont de qualité pour l'industrie du bois mais aussi que le prix des bois est élevé. **Une hausse du prix des bois renchérit** donc d'autant **la préservation de la biodiversité** si celle-ci agit comme une contrainte vis-à-vis des prélèvements de biomasse.

Pour **intégrer les considérations environnementales dans les analyses de ressources**, deux grandes options sont envisageables. La première consiste à fixer *a priori* le seuil en deçà duquel la sylviculture devient inacceptable en tel ou tel lieu parce qu'elle porterait atteinte à la fertilité à long terme des sols, à la diversité biologique voire à la qualité paysagère ; ce seuil peut être absolu et correspondre à un niveau minimal de qualité environnementale jugée nécessaire ; il peut aussi être relatif et s'exprimer par le gain économique minimal pour compenser une perte de qualité environnementale ; l'analyse de ressource prend alors ce seuil comme une contrainte. Cette façon de faire semble peu utilisée et, par exemple, ne l'a pas été dans l'analyse de disponibilités conduite par le Cemagref et mentionnée plus haut. La seconde approche consiste à analyser les ressources d'abord indépendamment de ce type de seuil, puis d'évaluer les résultats de divers points de vue et notamment au plan environnemental. C'est elle qui est généralement adoptée et qui l'a été par plusieurs études et recherches sur l'approvisionnement de la filière bio-énergétique, dont certaines encore en cours.

Finalement, il s'avère utile de croiser caractéristiques environnementales et économiques et d'identifier ainsi quatre grands cas possibles (tableau 1).

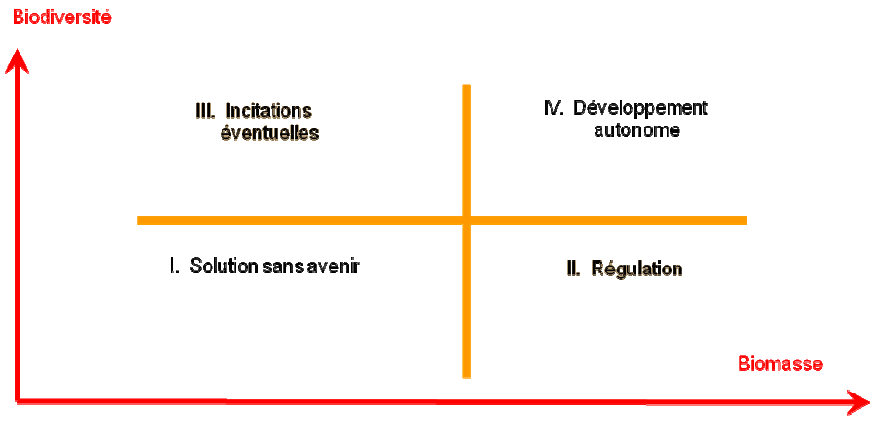


Figure 3. Croisement entre évaluations économique et environnementale de la stratégie sylvicole envisagé pour un peuplement forestier donné.

Dans la zone (I), les atteintes potentielles à l'environnement sont contraintes par le manque d'attrait économique ; dans les conditions économiques ayant prévalu au cours des années avant 2008, la culture de taillis à plus ou moins courte rotation est, par exemple, susceptible d'entrer dans cette catégorie (Lecocq, 2008).

Dans la zone (IV), les conditions environnementales et économiques sont satisfaisantes si bien qu'il semble peu utile d'intervenir, sauf en donnant les informations nécessaires à une bonne gestion. L'amélioration de la récupération des produits en fin de vie, de même que la valorisation des produits connexes de scierie ou de papeterie méritent d'être développées au plan environnemental et devraient répondre à une remontée des prix de l'énergie.

Restent les zones (II) et (III) qui requièrent une plus grande attention.

Dans la zone (II), il importe de rester vigilant à la qualité environnementale de la gestion que les forces économiques seraient susceptibles de négliger et il semble bon, en particulier, d'édicter les conditions

dans lesquelles les activités correspondantes pourront se dérouler (chapitre 6). Sur certaines stations fragiles, une récolte trop complète des rémanents peut par exemple altérer la fertilité à long terme des sols forestiers alors qu'elle serait encouragée par des prix attractifs de l'énergie.

Dans la zone (III), on pourrait imaginer des incitations économiques modérées pour développer de manière maîtrisée des activités portant peu atteinte à l'environnement et pouvant compenser les freins mis par ailleurs, par exemple en zone (II). Des récoltes de rattrapage dans des peuplements inexploités depuis longtemps pour des raisons économiques dans des contextes écologiques moins favorables à la biodiversité forestière (forêts récentes, essences exotiques) pourraient être déclenchées par des incitations portant par exemple sur le regroupement de la gestion ou l'amélioration de la desserte, s'il y a lieu, et en respectant par ailleurs les objectifs des propriétaires.

En définitive, la discussion devrait surtout porter sur deux types de techniques : celles qui semblent acceptables au plan environnemental mais auront de la peine à se développer par elles-mêmes et mériteraient un soutien économique, et celles qui devraient facilement céder aux forces du marché mais s'avèrent susceptibles de poser des problèmes environnementaux au-delà d'un certain seuil et en certains lieux où elles devraient être soumises à conditions.

6. Conclusions pour la gestion et la recherche

En dépit des fluctuations qui l'affectent et vont sans doute continuer à le faire, **le prix de l'énergie devrait tendre à croître** au cours du temps, au moins dans toute la première moitié de ce siècle. Il est attendu de cette tendance qu'elle se répercute non seulement sur le bois-énergie mais aussi, et de façon marquée, sur le bois matériau. Ainsi, si des **stratégies de développement du bois-énergie** se mettent en place, notamment dans le cadre d'un plan « bio-combustibles » (Roy, 2007), elles **devraient logiquement venir en complémentarité de mesures en faveur du bois matériau** qui renforceraient ainsi l'efficacité énergétique et la cohérence d'ensemble.

Compte-tenu de l'ampleur du marché énergétique et des tensions qui se profilent dans ce domaine, de fortes sollicitations sont susceptibles de se porter sur la forêt. **Des garde-fous seront de toute façon nécessaires et devront s'appliquer d'abord aux situations les plus fragiles au plan environnemental**, qu'il importe par conséquent d'identifier. Inversement, des **incitations** à la mobilisation apparaissent utiles tant que le facteur limitant n'est pas d'ordre écologique ou social mais économique. Elles visent à combattre les inconvénients du morcellement foncier, à encourager une coordination de la gestion, à faciliter l'accès à la ressource et à provoquer la décision de coupe, là où cela s'avère opportun.

Cette dernière conclusion en matière de gestion débouche sur un premier besoin de recherche qui consiste à **mieux appréhender l'offre de bois**. Celle-ci est généralement étudiée sous l'angle des ressources disponibles qui ne constitue cependant qu'un premier pas. Trois types d'approfondissements apparaissent opportuns à cet égard :

- au-delà de la quantification des ressources disponibles globalement, par qualité de bois et selon de grandes régions, il manque de précisions utiles sur la **répartition spatiale de ces ressources et la nature de leurs détenteurs** ; ces paramètres permettent en effet de prendre en compte les coûts de mobilisation de l'arbre à la route, la distance entre lieux de production et de transformation, les caractéristiques écologiques des stations lorsqu'une cartographie existe, la capacité de mobilisation des propriétaires et les coûts d'animation induits ; ce dernier point nécessiterait en particulier que les données relatives aux propriétaires soient mieux reliées aux informations sur la ressource et par exemple que les enquêtes sur la structure des propriétés forestières privées soient réalisées en lien avec l'Inventaire forestier national ; une analyse macroéconomique de l'offre de bois, désagrégée selon les grandes catégories de propriétaires, d'essences, de secteur utilisateur, permettrait de mettre en évidence l'influence des principaux déterminants de l'offre (notamment niveaux des prix et des ressources) ;
- une analyse plus microéconomique, cherchant à comprendre le comportement des propriétaires vis-à-vis de la mise en marché des bois, est nécessaire pour mieux anticiper l'offre de bois, d'une part, et envisager des incitations efficaces, d'autre part ; compte tenu des incertitudes qui pèsent sur la mobilisation effective des ressources identifiées comme étant théoriquement disponibles, il

s'agit là d'un verrou important à lever, aussi bien pour la récolte effective du bois que pour la connaissance (Poss, 2008).

Le second domaine de recherche concerne la **demande de bois** avec deux besoins emboités :

- le fonctionnement global de la filière forêt-bois doit être bien compris pour envisager toutes les conséquences d'une modification des paramètres : depuis longtemps, il apparaît nécessaire qu'un modèle de secteur forestier soit développé en France ;
- du fait de l'importance du volet énergétique, un tel modèle mérite d'être articulé à un modèle d'équilibre général de l'économie française en lien avec le reste du monde.

Finalement, la question de l'utilisation de la biomasse forestière conduit à prendre en compte la filière forêt-bois de manière globale et articulée au reste de l'économie, tout en portant un regard précis sur les propriétaires forestiers, leur propension à mettre du bois en marché et la nature exacte des milieux concernés.

En dernier lieu, il n'est pas inutile de remarquer que l'économie devrait être un facteur déterminant pour concilier biomasse et biodiversité dans les forêts françaises. En effet**, si la conjoncture est défavorable, il est peu probable que la demande de bois mette en péril la biodiversité**. Mais **si elle est favorable au bois, l'économie de la forêt se présentera sous un jour nouveau : la biodiversité ne sera plus vécue comme le facteur pouvant rendre déficitaire à court terme la gestion forestière ; il « restera » cependant à faire en sorte que ses avantages soient reconnus à leur juste valeur, aussi bien pour elle-même que pour les autres fonctions de la forêt dont elle renforce la résistance et la résilience aux aléas ; ce qui supposera d'organiser l'économie et les territoires pour qu'en effet l'ensemble des valeurs et le long terme soient collectivement pris en compte**.

Remerciements : Cet article, qui n'engage cependant que son auteur, a largement bénéficié de discussions passionnantes, dans des registres différents, avec les deux ingénieurs généraux des mines très intéressés par les forêts que sont Yves Martin et Henri Prévot (Prévot, 2008). Il intègre également des remarques constructives d'Ingrid Bonhême, Christophe Chauvin, Sandrine Costa, Philippe Delacote, Frédéric Gosselin, Guy Landmann, Claude Millier et Jean de Montgolfier.

7. Références bibliographiques

Boissieu C. de, 2006. Rapport du groupe de travail « Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon de 2050 ». Rapport aux ministres en charge de l'Industrie et de l'Écologie, 77 p.

Bourgau J.-M. (coord.), Bertin M., Lerat J.-F., Morin G.-A., Bourgau J.-M., Monnot J.-G., Poss Y ., Treyer S. 2008. *La forêt française en 2050-2100. Essai de prospective*. Rapport n°1723 du Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux, Paris, 102 p.

Bugat A., Dupuy P., 2007. Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050. Rapport d'orientation « évolutions technologiques ». Centre d'analyse stratégique, commission énergie, 60 p.

Chabé-Ferret S., Levesque C., Ginisty C., 2007. Biomasse forestière pour de nouveaux débouchés énergétiques et industriels. Partie 3 : Partie économique. Nogent-sur-Vernisson, Cemagref, 55 p.

European Environmental Agency, 2006. *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment ?* Copenhagen, European Environmental Agency (*EEA Report* n°7-2006), 67 p.

European Environmental Agency, 2007. *Environmentally compatible bio-energy potential from European forests*. Copenhagen, European Environmental Agency, 54 p.

Férone G., 2008. *2030, le krach écologique*. Paris, Grasset, 288 p.

Ginisty C., Vallet P., Chabé-Ferret S., Levesque C., Chauvin C., 2007. *Disponibilités en biomasse forestière pour des usages énergétiques et industriels en France. Note de synthèse.* Convention DGFAR/Cemagref n° E 19/06 du 20 octobre 2006. Nogent-sur-Vernisson, Cemagref, 6 p.

Lecoq F., 2008. Aspects économiques des taillis à courte rotation. In Cara S. de, Thomas A. (coord.), 2008. Projections d'émissions/absorptions de gaz à effet de serre dans les secteurs forêt et agriculture aux horizons 2010 et 2020. Thiverval-Grignon et Toulouse, Inra, 97-100.

Leroy P., Halley des Fontaines S., Barthod C., Moulinier A., 2008. Comité Opérationnel n°16 « Forêt » du Grenelle de l'Environnement. Rapport au ministre d'État, ministre de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables et au ministre de l'Agriculture et de la Pêche, 15 p.

MAP, 2006a. *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises.* Edition 2005. Paris, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 148 p.

MAP, 2006b. *Programme forestier national*. Paris, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 16 p.

Nabuurs, G.J., O. Masera, K. Andrasko, P. Benitez-Ponce, R. Boer, M. Dutschke, E. Elsiddig, J. Ford-Robertson, P. Frumhoff, T. Karjalainen, O. Krankina, W.A. Kurz, M. Matsumoto, W. Oyhantcabal, N.H. Ravindranath, M.J. Sanz Sanchez, X. Zhang, 2007: Forestry. *In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA*: 541-584.

Peyron J.-L., Guo B., 1995. Bois d'œuvre et bois de trituration : quelle stratégie de production ? *Revue forestière française*, 47 (5) : 559-571.

Peyron J.-L., 2002. Économie du bois et aménagement forestier : une approche considérée comme privilégiée et pourtant encore à étoffer. *Ingéniérie-EAT*, (n°spécial 2002) : 35-44.

Peyron J.-L., 2003. Enjeux économiques de la protection des forêts. *In* Vallauri D. (coord.), WWF, *Livre blanc sur la protection des forêts naturelles en France; forêts métropolitaines.* Londres, Paris, New-York, Tec & Doc Lavoisier, 195-206.

Peyron J.-L., 2005. Evaluation économique de la conservation du bois mort. *In* Vallauri D., André J., Dodelin B., Eynard-Machet R., Rambaud D., *Bois mort et à cavités ; une clé pour des forêts vivantes.* Londres, Paris, New-York, Tec & Doc Lavoisier, 211-220.

Poss Y., 2008. Le prix de la tranquillité. *Revue forestière française*, 59 (6) : 649-658.

Prévot H., 2008. Optimiser la contribution de la biomasse forestière pour réduire les émissions françaises de gaz à effet de serre. Document de travail. Paris, Ecofor, 6p.

Roy C., 2007. Intervention dans la table ronde « des demandes croissantes » de l'Ecoforum des 5 et 6 décembre 2006 à Paris. *Revue forestière française*, 59 (3) : 210-214.

Sebillotte M. (coord.), 1998. Prospective : la forêt, sa filière et leurs liens au territoire. Tome 1 : synthèse et scénarios. Répercussions pour la recherche. 257 p.

Tabourel S., Niedzwiedz A., Peyron J.-L., Berger A., 2005. *Les comptes de la forêt : enjeux et méthodes*. Orléans, IFEN (Collection « Note de méthode », n°16), 85 p.

Taverna R., Hofer P., Werner F., Kaufmann E., Thürig E. 2007. The CO2 Effects of the Swiss Forestry and Timber Industry. Scenarios of future potential for climate-change mitigation. Environmental studies no. 0739. Federal Office for the Environment, Bern. 102 pp.

Vallet P., Levesque C., Ginisty C., 2007. Biomasse forestière disponible pour de nouveaux débouchés énergétiques et industriels. Partie 2 : Calcul des volumes. Nogent-sur-Vernisson, Cemagref, 76 p.

CHAPITRE 3

CONTEXTE ET ÉVOLUTIONS POSSIBLES DE LA SYLVICULTURE

Guy Landmann, Ecofor

Christian Ginisty, Cemagref Nogent-sur-Vernisson

Christophe Chauvin, Cemagref Grenoble

1. Contexte et objectifs de la contribution

Les forêts métropolitaines[3] couvrent 15 Mha et sont gérées sur l'essentiel de leur surface, mais à des degrés divers. Ainsi, les propriétaires publics ou privés intégrés dans un circuit de développement (c'est-à-dire affiliés à un organisme de gestion, participant à des réunions ou lisant des informations techniques) gèrent 70 % des surfaces (SCEES, 2002). Seulement 41 % des surfaces sont dotées d'un plan d'aménagement ou de gestion (pratiquement toutes les forêts publiques, et environ un quart des forêts privées). Les 59 % restants sont extrêmement morcelés, détenus par près de 3 millions de propriétaires.

En France, le degré d'artificialisation de la gestion forestière est, selon les critères usuels, relativement modéré ; ainsi, la sylviculture basée sur du matériel **génétique** amélioré, des intrants de type fertilisants et du travail du sol est principalement mise en œuvre avec le pin maritime dans le massif landais (environ 1 Mha). Elle caractérise la « forêt cultivée ». La culture du peuplier (0,2 Mha) et du douglas (0,4 Mha) notamment utilise du matériel végétal amélioré, mais avec un recours plus rare au travail du sol et à la fertilisation. À l'opposé, **les forêts non gérées au titre d'une décision de protection, bien qu'en augmentation, occupent une surface limitée** (0,1-0,2 Mha selon le degré de protection considéré).

[3] Toutes les données chiffrées sur la forêt de cet article sont issues de l'Edition 2005 des « *Indicateurs de gestion durable des forêts françaises* », ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2006.

On peut y ajouter les parcelles non gérées de fait (en forêt privée) et celles des séries d'intérêt écologique général (SIEG) des forêts publiques (0,1-0,2 Mha). Finalement, entre ces pôles de forêt « cultivée » et « protégée », **la majorité des forêts françaises sont gérées selon une gamme assez étendue de régimes de coupes**, avec des futaies gérées de façon plus ou moins dynamique (précocité et rapprochement des coupes, etc.), des mélanges futaies - taillis et des taillis en vieillissement. Et il faut ajouter l'expansion de la forêt (0,6 Mha en 10 ans) surtout par le jeu d'une colonisation naturelle. Ces évolutions reflètent un contexte général bien connu, dans lequel la récolte ne prélève qu'une partie de l'accroissement.

Dans ce contexte grossièrement dessiné, comment les perspectives en matière d'utilisation accrue du bois à des fins énergétiques et de bois d'œuvre* (chapitre 2) vont-elles se traduire ? Logiquement, cela doit amener à revisiter les modes de conduite sylvicole. Ce sont bien entendu des questions centrales pour l'analyse prospective de l'influence d'une utilisation accrue de la biomasse forestière sur la biodiversité et les ressources naturelles, sujet de cette étude.

Une consultation des experts et de la littérature montre que si la question des produits récoltés et des modes de récolte (chapitre 4) fait l'objet d'analyses, celle des modes de conduite sylvicole est encore peu traitée. De fait, **une réorientation significative des modes de conduite sylvicole en lien avec cette nouvelle donne n'est pas (encore) clairement envisagée**, probablement parce que les conditions d'une réorientation durable de la sylviculture ne sont pas jugées acquises ; la demande de bois reste insuffisante ou très inégale et, même dans un cas contraire, il faudrait compter avec une certaine inertie des acteurs..

Les travaux récents sur la ressource disponible (chapitre 5) se basent sur les guides sylvicoles et documents de gestion de référence actuels, et formulent également des hypothèses sur l'évolution à court terme des modes de traitements sylvicoles et de gestion du gisement accumulé du fait d'un « retard de gestion »: futaies en retard d'éclaircie, les taillis vieillis, etc. Nous nous situons ici dans une perspective à plus long terme.

Cette contribution propose une approche en deux étapes :

- une caractérisation succincte des principaux types de sylviculture ;
- une discussion sur les évolutions possibles des divers types de sylviculture dans l'hypothèse d'une évolution tendancielle (poursuite de l'évolution récente) et d'une mobilisation accrue de bois dans un proche avenir.

2. Structure et modes de traitement des peuplements forestiers

Les types de sylviculture les plus répandus sont brièvement décrits dans les tableaux 1 et 2. Leur définition n'est pas normalisée et peut être contestée. Il s'agit ici surtout d'illustrer la gamme des modes de conduite pratiqués et d'offrir un cadre de réflexion commun.

On trouve :

- **l'absence (réserves) ou quasi absence de gestion ;**
- **les traitements en futaie irrégulière et assimilés** (futaie jardinée, sylviculture proche de la nature), regroupés ici avec diverses formes de **futaie régulière « naturelle »** (à trouées, à régénération lente, avec îlots, avec phases pionnières et avec sous-étage exprimé) ;
- **la sylviculture en futaie régulière « classique » ;**
- **le traitement en taillis-sous-futaie ;**
- **le traitement en taillis ;**
- **la sylviculture en futaie régulière « intensive » ;**
- **les taillis à courte et très courte révolution.**

Dans ce gradient d'intensité de gestion, la place des traitements en taillis et taillis-sous-futaie est différente selon que l'on considère leur situation actuelle (généralement extensive) ou passée (parfois très intensive).

3. Évolutions possibles des modes de traitement sylvicole

À l'issue de périodes historiques parfois marquées par une exploitation très forte des forêts, ces dernières ont été de plus en plus protégées (Code forestier depuis 1827, mise en défens, reboisement important, aménagement forestier) avec en parallèle une reprise par la forêt des terrains abandonnés par l'agriculture. Aussi le volume sur pied moyen à l'hectare n'a-t-il cessé d'augmenter à la faveur d'une récolte inférieure à la productivité biologique et d'une augmentation de productivité liée aux changements environnementaux ; ce volume moyen atteint 154 m^3/ha en 2004 (MAP, 2006).

Qu'en sera-t-il à l'avenir ? Nous proposons ici trois scénarios contrastés, inspirés de la prospective forestière réalisée en 1998 sous la direction de l'INRA (Sebillotte, 1998) : un **scénario tendanciel et deux scénarios de rupture** avec une forte augmentation des prélèvements, mais avec des pilotages différents (tableau 3).

3.1. Les trois scénarios retenus

Le premier **scénario (S1)**, dit **tendanciel**, correspond à la **poursuite des tendances récentes** : **utilisation marginale du bois-énergie en dehors du bois bûche pour le chauffage, relative stabilité de la récolte de bois d'œuvre* et de bois de trituration, prise en compte progressive de la biodiversité dans la gestion forestière**. Dans la prospective INRA, il s'agissait d'une tendance « bois/non couplage », c'est-à-dire d'une gestion de la forêt pilotée par l'économie du bois, mais sans organisation de filière. Les entreprises restent plutôt petites et peu coordonnées, ni par la filière ni par les territoires, qui ont peu prise sur elles. Ce scénario est celui d'une augmentation lente des prélèvements, mais qui ne parvient ni à suivre celle de la production forestière, ni celle des mortalités liées notamment aux changements climatiques : il se traduit en effet par des inefficacités liées à des stratégies individuelles, de court terme. La biodiversité sort plutôt gagnante de cette faible exploitation.

Notons que nous sommes probablement en fait en train de sortir de ce schéma, par organisation des territoires dans le cadre de la décentralisation et la structuration de la filière sous l'influence de l'augmentation des demandes faites à la forêt (voir chapitre 15).

Les **deux scénarios de rupture** décrits ci-dessous s'inscrivent dans l'hypothèse probable d'une forte augmentation de l'utilisation de biomasse, mais avec deux variantes, structuration par les territoires ou par la filière, avec les implications correspondantes sur la prise en compte de la biodiversité.

La **variante (S2), intensive multifonctionnelle**, correspondrait au scénario «non-bois, non-couplage » de l'INRA : la **récolte est en forte hausse, mais sous contrôle des collectivités locales qui en assurent la multifonctionnalité au grain fin qui est le leur, l'Europe et l'Etat restant garants d'une bonne prise en compte des enjeux de biodiversité**. Les filières courtes et l'emploi local sont privilégiés, même s'ils peuvent être organisés par de grands organismes comme l'ONF ou les coopératives. Ces derniers, dans le cadre d'une gestion adaptative, réactive aux changements climatiques et renforçant la résilience des écosystèmes par leur diversité, développent leur technicité dans le cadre d'une trame verte détaillée, avec sylvicultures modulées, s'étendant sur la majorité des espaces naturels.

La **variante (S3), intensive industrielle**, correspondrait au scénario « bois/couplage » de l'INRA : il correspond à une **maximisation de la récolte et de la production future, par une forte intégration de la filière et la spécialisation concomitante des espaces (production versus protection).** Les filières intégrées et les bas coûts de production sont privilégiés, pour assurer une compétitivité au niveau international. Les préoccupations environnementales concernent d'abord la durabilité des sols, et l'anticipation des catastrophes climatiques, par rajeunissement des peuplements et substitution d'essences. Elles concernent aussi la biodiversité ordinaire, par le respect de bonnes pratiques assez standardisées. Ce respect est assuré par le développement d'une certification de type normatif. La trame verte se réduit à un réseau minimal d'espaces protégés et connectés.

Tableau 1. Objectifs et principes de base des principaux modes de gestion sylvicole (adapté de Dunker *et al*, 2008, sauf taillis-sous-futaie et taillis)

	Objectifs dominants[(1)] et principes de base de la gestion
Réserve forestière intégrale	Laisser les processus naturels et les perturbations se développer sans gestion. Absence de gestion sauf si la réserve est menacée par des facteurs externes ou inversement si les peuplements adjacents sont menacés par des dynamiques internes qui déborderaient.
Traitements en futaie irrégulière ou en futaie régulière « naturelle »	Gérer des peuplements en se basant le plus possible sur les processus naturels. Certains traitements (futaie jardinée) visent explicitement un couvert permanent. La rentabilité économique est une donnée importante, mais doit rester dans ce cadre.
Traitement en futaie régulière « classique »	Combiner les objectifs socio-économiques et écologiques, les divers objectifs pouvant être modulés selon les zones de manière plus satisfaisante que si chacun des objectifs était optimisé dans des zones séparées. Classes d'âges homogènes. Régénération en plein en fin de révolution.
Traitement en taillis-sous-futaie (TSF)	Produire simultanément du bois d'œuvre* et du bois de chauffage. Couverture permanente du sol par les arbres de futaie. Les coupes périodiques prélèvent le taillis – à l'exception d'un certain nombre de tiges que l'on laisse grossir et prendre place parmi les arbres de futaie – et une partie des arbres de futaie.
Traitement en taillis simple	Produire de bois de chauffage (éventuellement des piquets ou usages équivalents). Historiquement, la fréquence des coupes a souvent été de 20 à 30 ans, parfois nettement moins.
Sylviculture en futaie régulière « intensive »	Produire du bois d'œuvre, souvent à l'aide de monocultures (parfois avec un faible pourcentage d'espèces secondaires). Plantation, semis ou régénération naturelle sur des critères économiques. Durée de révolution plus courte que dans les sylvicultures multifonctionnelle. Prélèvement de biomasse généralement limité au bois d'œuvre et d'industrie, mais pouvant s'étendre à l'extraction d'arbres entiers pour la bioénergie.
Taillis à courte et très courte révolution	Maximiser la production de biomasse ligneuse. Utilisation de matériel génétiquement amélioré. Récolte sous forme de coupe rase avec exportation de toutes les matières ligneuses valorisables. La 3^{e} récolte s'accompagne généralement d'un renouvellement du matériel végétal et de fertilisation.

[(1)] A l'exception peut être des modes de gestion les plus intensifs, ces traitements remplissent également des fonctions de protection des habitats et de l'eau, de production de produits non ligneux (champignons, etc.), de prévention des avalanches, chasse, etc.

Tableau 2. Caractérisation schématique des modalités techniques des grands types de sylviculture

	Absence de gestion	Futaies irrégulière et régulières « naturelles »	Futaie régulière « classique »	Mélange futaie-taillis	Taillis	Futaie régulière « intensive »	Taillis à courte et très courte révolution
Objectif dominant	**Conservation……Gestion multifonctionnelle……Production intensive**						
Surface (Mha)	**0,1- 0,2**	**0,6**	**6-7**	**4**	**2**	**1-2**	**0,02**
Propriété dominante	Publique	Publique/Privée(1)	Publique/Privée (1)	Privé / publique(1)	Privée/publique(1) .	Privée	Privée
Espèce autochtone / introduite	Autochtone	Autochtone	Autochtone / Introduite	Autochtone	Autochtone	Autochtone / Introduite	Introduite
Matériel génétique sélectionné	Non	Non	Non/Oui	Non	Non	Oui	Oui
Modes de régénération	Naturelle	Naturelle	Naturelle /Artificielle	Naturelle et rejets	Rejets et drageons	Artificielle	Artificielle
Préparation du sol (Non/Oui)	Non	Non	Non / Oui	Non	Non	Oui	Oui
Fertilisation / chaulage	Non	Non	Occasionnel	Non	Non	Oui	Oui
Traitements phytosanitaires	Non	(Non) Occasionnel	(Oui) Occasionnel	Occasionnel	Non	Oui	Oui
Mécanisation	Non	Non / Oui	Non / Oui	Non	Oui	Oui	Oui
Partie d'arbre récoltée	-	Tronc et cime	Tronc et cime	Tronc (cime)	Tiges	Tronc et cime	Entier
Type de récolte finale	Non	Arbres / groupes arbres(2)	Progressive/ rase	Rase (-taillis)	Rase	Rase	Rase
Fréquence moyenne d'intervention en coupe	-	7 à 12 ans	7 à 12 ans	10 à 40 ans	20 à 40 ans	5 à 10 ans	3 à 10 ans
Maturité à la récolte	-	Elevée……Faible					

(1)par ordre de dominance (2) pas de récolte finale au niveau peuplement

Tableau 3. Présentation qualitative de l'évolution supposée des différents traitements sylvicoles dans les trois scénarios retenus (voir texte pour la définition). En vert, les modalités (scénarios x traitements) dont les surfaces augmentent, en rose celles dont les surfaces baissent, en blanc les évolutions peu marquées ou contradictoires. Les flux de surfaces entre traitements ne sont pas présentés.

	S1 Scénario tendanciel	S2 Scénario intensif multifonctionnel	S3 Scénario intensif industriel
Forêts hors gestion ou mise en réserve	**Augmentation progressive des surfaces**. Rôle positif des parcelles de forêt publique en SIEG et des forêts privées non gérées	**Création plus difficile de nouvelles réserves** (pression sur les réserves) Incertitudes sur le pôle SIEG, régression des forêts privées non gérées.	**Mise en réserve de grandes zones peu productives** Compensation de l'artificialisation des parties les plus productives
Traitements en : - futaie irrégulière, – futaie jardinée, – sylviculture proche de la nature, – futaie régulière « naturelle » voir texte	**Stagnation des surfaces** (?) La futaie irrégulière promue par Prosilva reçoit un écho croissant en plaine, les sylviculteurs de montagne, alpins notamment, se réfèrent volontiers à des **traitements irréguliers** (ex. : guide de sylviculture de montagne, Gauquelin et Courbaud, 2006) mais les surfaces présentant des structures irrégulières au sens IFN ne cessent de baisser (cf. MAP, 2006).	**Augmentation ou baisse des vol./ha** selon qu'il s'agit de forêts gérées selon les principes Prosilva ou de la futaie régulière « traditionnelle ». **Développement d'une sylviculture d'arbres** (en futaie régulière et irrégulière) combinant qualité et quantité de biomasse. Enrichissements individuels en essences exotiques productives, avec contrôle des risques d'invasion ou de pollution génétique. **Modulation de la sylviculture** (cf. enjeux de biodiversité) grâce au développement d'une mécanisation adaptée	**Pression sur le traitement en futaie régulière « naturelle »** (abaissement des révolutions, voire transformation, pour augmenter la production, et anticiper les changements climatiques). **Pression forte sur les forêts de l'étage montagnard**, avec gestion par bandes ou par grandes trouées, menant à d'importants compléments de régénération artificielle. **Futaie irrégulière disqualifiée**, sauf besoins paysagers ou de protection spécifiques. Exploitation de grands parquets facilement mécanisables.
Futaie régulière « traditionnelle »	Nombreux **retards d'éclaircie**, faute d'investissements suffisants. Régénération plutôt tardive par grandes trouées avec recours aux compléments artificiels.	Combinaison entre **baisse progressive des révolutions,** variable selon essences et contextes, **« dynamisation » de la sylviculture** (révolutions plus courtes, peuplements moins denses, abaissement de la surface terrière et de l'indice foliaire) et adoption d'**opérations visant plus de résilience** (peuplements plus mélangés, Sardin *et al.*, 2008, mesures en faveur de bois morts, etc.)	**Baisse des volumes sur pied**. Importante baisse des durées de révolution (variations selon essences et les milieux). Par endroits, récolte intensive du sous-étage. **Evolution vers des futaies à courte révolution et conversion avec des espèces à croissance rapide et à courte révolution**, avec quelques bonnes pratiques telles que conservation de peuplements originaux sur lisières et cours d'eaux, sur stations marginales.
Mélange futaie-taillis (TSF)	**Gestion minimale** ou absence de gestion. Sur une faible fraction des surfaces : récolte des réserves avec un souci inégal de régénération, balivage* intensif.	**Reprise des coupes de balivage*** avec passage en futaie, conversion en futaie irrégulière (selon station et composition du peuplement), avec enrichissements par pieds individuels (sylviculture d'arbres de qualité).	**Coupes rases et transformation**, en préservant certains peuplements comme pour la futaie régulière traditionnelle.
Taillis simple	**Souvent non géré et vieilli.** Parfois balivages* et coupes de bois de chauffage.	**Reprise du balivage* intensif**. Facteurs limitants : la qualité des stations et l'âge excessif des taillis, qui diminue leur réaction au balivage. Balivages* paysagers et environnementaux dans les taillis peu productifs, avec développement des menus produits (champignons, chasse, tourisme, loisirs).	**Coupes rases des taillis vieillis sur sols fertiles**, et poursuite du traitement en taillis ou transformation. **Mise en réserve des taillis peu productifs.**
Futaie régulière intensive	**Reste limitée à quelques zones de production intensive** (Landes, Limousin), où l'intégration de la filière permet un développement de type S3.	**Se développe dans les reboisements du XX° siècle**, par rationalisation des pratiques et mécanisation, tandis qu'une autre partie de ces reboisements est conduite vers des formes plus irrégulières et mélangées pour des raisons environnementales et paysagères.	**Se développe fortement, dans les reboisements du dernier siècle et éventuellement sur de nouvelles terres agricoles,** de productivité trop marginale pour l'alimentation, difficilement mécanisables pour l'agriculture.
Taillis à courte et très courte révolution	**Production marginale sur terres agricoles**	**Production marginale sur terres agricoles**	**Forte hausse des surfaces** (1-6 Mha à long terme) sur sols agricoles et forestiers. Progrès génétiques et culturaux, utilisation pour l'énergie et les biocarburants*.

La prospective INRA proposait un quatrième scénario « non-bois, couplage », que nous ne reprendrons pas ici, en le considérant comme un assemblage des deux précédents, par grands territoires plus ou moins spécialisés.

Ces scénarios restent schématiques : il va sans dire que la réalité sera plus complexe en fonction de l'évolution économique et des attentes de la société. Il s'agit ici surtout de nourrir la réflexion sur les incidences éventuelles sur l'environnement. La biodiversité forestière et les ressources en sol et en eau méritent d'être examinées à l'aune de ces évolutions.

La récente prospective du Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et de l'Espace Rural (Bourgau, 2009 ; voir aussi chapitre 16) développe notamment le scénario S3 (spécialisation) en variantes selon l'intensité de la concurrence avec l'alimentation, mais les conséquences sur la biodiversité ne semblent pas essentielles.

3.2. L'avenir des formations forestières « en déséquilibre »

Cette visualisation doit également permettre de **situer les formations forestières en « déséquilibre » qui peuvent avoir un rôle important** (eu égard aux surfaces qu'elles représentent) **dans l'évolution de la biodiversité** (voir chapitre 7) :

- l'**avenir des vieux peuplements** serait plus facilement pris en compte dans le scénario S3, par des mesures localisées d'allongement des révolutions (parcelles ou grains de vieillissement), tandis que celui des **gros arbres en forêt gérée** pourrait être mieux assuré dans S2, par une plus grande place aux sylvicultures irrégulières, « sylvicultures d'arbre » ;
- de même l'**avenir des peuplements non gérés** pourrait être plus délicat dans S2 (forte couverture du territoire par une gestion jardinatoire, intensive et extensive), et celui des peuplements peu gérés plus délicat dans S3 (peu de place pour la gestion extensive, entre la gestion mécanisée intensive et la réserve intégrale ou la friche) ;
- **l'exploitation accrue des forêts de montagne** qui recèlent des volumes de bois importants relève surtout de S3, via de fortes coupes rentabilisant les investissements d'accès (routes, câble) : elle serait plus progressive en S2 ;
- **les reboisements résineux ayant manqué d'éclaircies** peuvent pour partie évoluer vers des peuplements plus « naturels » à la faveur de la régénération naturelle dans le cadre de S2, ou au contraire être récoltés prématurément **et** replantés en formations gérées plus intensivement dans le cadre de S3 **;**
- **les accrus récents** parfois riches en fruitiers pourraient être valorisés dans le cadre de S2 ou retourner à l'agriculture en cas de forte demande pour les terres agricoles. En S3 ils feraient plutôt l'objet de coupes rases, pour replantation ou gestion en taillis ;
- l'exportation **des petits bois, menu bois et branches** à des fins énergétiques dépend de la demande de bois-énergie (S2 et S3) plus que d'un scénario particulier. Elle pourrait cependant être facilitée en S3 par une mécanisation plus poussée.

Toutes ces évolutions s'inscriront dans le paysage forestier d'une manière plus ou moins complexe ; l'évolution de la biodiversité se joue bien entendu largement à ce niveau de l'agencement spatial. C'est donc à la démarche d'aménagement qu'il convient de se référer ici. Les modalités possibles de mise en œuvre sont multiples selon les questions posées (chapitre 15).

4. Conclusions et perspectives

Les éléments exposés ici restent préliminaires et n'engagent que leurs auteurs. Un travail plus poussé devrait suivre dans différentes directions :

- bâtir une **base conceptuelle et lexicale partagée** (intensité, intensification, dynamisation de la sylviculture, naturalité, etc., autant de termes peu précis et sources de confusion) ;
- rapprocher les analyses des sylviculteurs et des spécialistes de la biodiversité, pour construire une vision partagée du lien entre les orientations sylvicoles et l'évolution de la biodiversité ;

- explorer les divers **scénarios**, y compris des scénarios de rupture qu'une nouvelle donne énergétique et les engagements nationaux et européens pourraient appeler (objectifs concernant la proportion d'énergie renouvelable dans le bouquet énergétique et pour la production de biocarburant*), sans oublier les opportunités en matière de développement de nouveaux modes de sylviculture adaptés localement, d'opérations de restauration de milieux (chapitre 13) et de gestion des risques (chapitre 14) ;
- améliorer la connaissance de l'**état de la forêt** (à des échelles pertinentes pour la biodiversité notamment), préciser les contraintes liées à son état actuel et définir les **modalités d'un suivi continu** des forêts en ménageant des passerelles (la tâche est reconnue comme étant difficile) entre l'approche « inventaire » et l'approche sylvicole ;
- mieux appréhender le **positionnement des propriétaires et sylviculteurs**, acteurs potentiels des évolutions théoriques évoquées ici.

5. Références bibliographiques

Bourgau J.-M. (coord.), Bertin M., Lerat J.-F., Morin G.-A., Bourgau J.-M., Monnot J.-G., Poss Y., Treyer S. 2008. *La forêt française en 2050-2100. Essai de prospective*. Rapport n°1723 du Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux, Paris, 102 p.

Duncker P.H., Spiecker, H., Tojic K., 2007. D2.1.3: *Definition of forest management alternatives* Project no. 518128 EFORWOOD Tools for Sustainability Impact Assessment Instrument: IP Thematic Priority: 6.3 Global Change and Ecosystems; Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institute for Forest Growth. 98 p.

Gauquelin X., Courbaud B. (coord.), 2006. Guide des sylvicultures de montagne – Alpes du nord françaises. Cemagref, CRPF, ONF, 289 p.

Sebillotte M. (coord.), 1998. Prospective : la forêt, sa filière et leurs liens au territoire. Tome 1 : synthèse et scénarios. Répercussions pour la recherche. 257 p.

MAP, 2006, *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises - Edition 2005,* Paris, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 148 p.

Sardin T., Bock J., Becquey J., 2008. Peuplements mélangés : enjeux et interrogations des gestionnaires. Ateliers REGEFOR 2007, Forêts mélangées, quels scénarios pour l'avenir ? *Revue forestière française*, 60 (2) :121-128

SCEES, 2002 – Structure de la propriété forestière privée en 1999. Agreste n°144, novembre 2002.Sebillotte M. (Coordinateur), 1998. *Prospective : la forêt, sa filière et leurs liens au territoire*. INRA, série Bilans et Prospectives, 2 tomes

Winkel G., Schaich H., Konold W., Volz K.-R., 2005. Naturschutz und Forstwirtschaft: Bausteine einer Naturschutzstrategie im Wald. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* (11), Bundesamt für Naturschutz, Bonn – Bad Godesberg, 398 p.

CHAPITRE 4

LES DIFFÉRENTS MODES DE RÉCOLTE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE

Emmanuel Cacot, FCBA

1. Objectif de cette contribution

Par **systèmes d'exploitation forestière,** on entend généralement l'ensemble des processus de récolte de la biomasse depuis l'abattage des arbres en forêt jusqu'à leur livraison en usine (scierie, papeterie, chaufferie…). Dans cette contribution, nous nous limiterons à la description des processus allant de l'**abattage des arbres à leur mise bord de route**, sans intégrer le transport jusqu'en usine. Ces systèmes sont représentés dans la figure 1, puis détaillés dans le tableau 1 qui précise les domaines d'utilisation, les types de produits réalisés, les moyens humains et matériels nécessaires, leur niveau de développement et les caractéristiques ayant potentiellement un impact sur les ressources naturelles et la biodiversité.

2. Les différents systèmes d'exploitation

Plusieurs systèmes peuvent être associés afin d'exploiter les bois (figure 1) :

1. **Exploitation courte longueur bois fort* (> 7 cm)**
2. **Exploitation grande longueur bois fort* (> 7 cm)**
3. **Récolte des rémanents, avec débardage des plaquettes**
4. **Récolte des rémanents, avec débardage des rémanents**
5. **Exploitation arbre entier, avec broyage des arbres sur parcelle et débardage des plaquettes**

6. **Exploitation arbre entier, avec débardage des arbres entiers ou tronçons et conditionnement bord de route**

Le plus connu est le **système mixte grande et courte longueurs** où sur un même chantier vont être exploités des grumes en grande longueur et des billons (issus des houppiers, du taillis…). Un autre exemple est la reprise des bois bord de route dans le système 1 (éventuellement 2) pour être broyés et fournir des plaquettes forestières à destination du bois-énergie. De ce fait, les modes d'exploitation peuvent être extrêmement variables, selon les traditions locales, les matériels disponibles, etc.

Les systèmes 1 et 2 sont de loin les plus développés en France (tableau 1) **et représentent, en y ajoutant le système mixte associant ces deux systèmes, plus de 95 % des bois exploités**. Les autres sont donnés à titre indicatif car ce sont des systèmes développés spécifiquement pour la récolte de bois-énergie ou dans des zones peu exploitées jusque-là (montagnes) et qui devraient donc être amenés à s'étendre dans les années à venir. A l'heure actuelle, une grande partie du bois destiné à l'énergie est récoltée avec les systèmes 1 et éventuellement 2, avec broyage des bois une fois bord de route pour fournir des plaquettes forestières. Ceci permet d'avoir des volumes de bois plus conséquents que la seule récolte des rémanents tout en utilisant les moyens d'exploitation disponibles.

La **récolte des souches** ne représente encore qu'un très faible volume. Elle commence à se développer dans les Landes de Gascogne afin de fournir de la biomasse pour des chaudières alors qu'elle est plus courante en Finlande, bien que source de polémique. En dehors des conséquences éventuelles sur la fertilité des sols, on peut noter que ce système est difficilement envisageable sur des sols à dominante limoneuse ou argileuse où l'extraction des souches est trop coûteuse en énergie.

En fait, les impacts potentiels des différents systèmes d'exploitation sur le sol et l'eau dépendent autant, voire, dans certains cas, plus de la qualité avec laquelle les travaux vont être réalisés par les opérateurs sur le terrain, que du système d'exploitation en lui-même.Les impacts sur le microclimat (lumineux principalement) dépendent plus, quant à eux, des choix sylvicoles (chapitre 12.). Les impacts sur les ressources naturelles et les conditions microclimatiques (mise en lumière...) de la sylviculture ont évidemment des conséquences dont l'importance est variable sur les différents compartiments de la biodiversité (chapitres 7, 8 et 9).

3. Besoins de recherche

Beaucoup d'études et d'expérimentations sont menées actuellement pour tester des matériels et des systèmes d'exploitation permettant de produire tout ou partie des plaquettes forestières à destination énergétique. Ce sont des études technico-économiques qui visent avant tout à trouver les bons matériels (broyeurs, engins de débardage…) et les bons systèmes d'exploitation (stockage, séchage, mode de transport…) en fonction des peuplements existants, des contraintes sylvicoles et des cahiers des charges des chaudières (granulométrie des plaquettes, taux de siccité…). Au vu des enjeux actuels, développés dans ce document, il serait souhaitable que les aspects environnementaux, dont la biodiversité, soient pris en compte de manière plus explicite dans ces travaux, notamment au travers d'études d'impact comparant les différents systèmes et techniques testés.

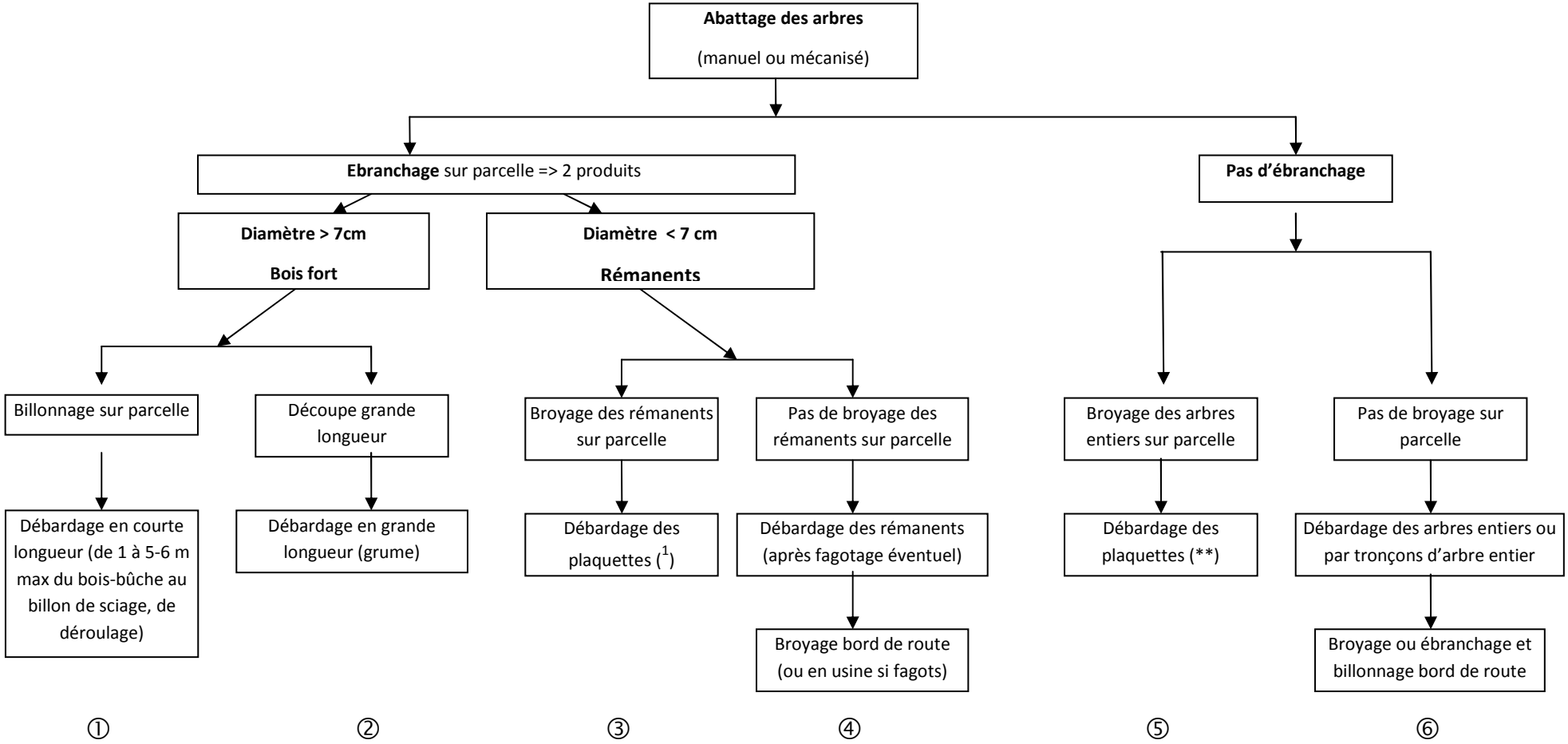


Figure 1. Représentation schématique des systèmes d'exploitation forestière. ① Exploitation courte longueur bois fort*, ② Exploitation grande longueur bois fort ③ et ④ Récolte des rémanents, ⑤ et ⑥ Exploitation arbre entier. Ces systèmes sont détaillés dans le tableau 1

[1] Il s'agit de plaquettes forestières, c'est-à-dire produites à partir de bois ronds non écorcés et/ou de rémanents d'exploitation.

Tableau 1. Caractéristiques complémentaires des systèmes d'exploitation forestière présentés à la figure 1

N°	Nom	Domaine d'utilisation	Types de produits réalisés	Moyens humains et matériels	Niveau de développement	Commentaires
1	**Exploitation courte longueur bois fort***	– Feuillus et résineux – Surtout les petits bois et houppiers – Jusqu'à des pentes de 25-30 % (accès des engins de débardage aux billons)	– Bois d'industrie (billons de 2 à 4 m) – Bois de feu (1 m voire plus) – Billons de sciage et déroulage – Plaquettes forestières (en cas de broyage des billons bord de route ou en usine)	– Bûcheronnage : tronçonneuses ou abatteuses – Débardage : porteurs ou tracteurs agricoles avec remorques	**Système dominant en France :** – **env. 55-60 % des volumes de la récolte commercialisée (36 Mm^3) sont exploités avec ce système,** du fait du développement encore en cours du bûcheronnage mécanisé représentant 50 % des volumes mobilisés en résineux et 4 % en feuillus (hors bois autoconsommés) – la totalité de la consommation domestique de bois de feu (estimée à 24 Mm^3) débardée surtout au tracteur agricole	Pour la consommation domestique de bois de feu (estimée à 24 Mm^3 par an pour 2,5 Mm^3 pour la filière commerciale), le diamètre fin bout est de l'ordre de 4 cm (charbonnette), contre 7 cm d'ordinaire.
2	**Exploitation grande longueur bois fort***	– Tous les gros bois feuillus et résineux, sur terrains plats ou pentus – Arbres de petits volumes lorsque la coupe est inaccessible aux engins de débardage pour bois courts (pente > 25-30 %, tourbière…)	– Grumes à destination principalement du bois d'œuvre* mais qui peuvent être rebillonnées une fois bord de route (bois d'œuvre/bois d'industrie), voire broyées (bois-énergie)	– Bûcheronnage : tronçonneuses, abatteuses (arbres de moins de 60-65 cm à la souche, pentes < 40 %) – Débardage : débusqueurs* à pince ou à câble, semi-porteur, tracteurs équipés de treuil, câble-mâts, chevaux (grume < 0,8-1 m^3)	**Système représentant environ 40-45 % des volumes commercialisés (36 Mm^3)** Système traditionnel en montagne. En plaine plus répandu dans le nord-est de la France. Système le plus souvent associé au système précédent (petits bois débardés au porteur et gros bois au débusqueur*)	
3	**Récolte des rémanents**	– Coupes rases avec les 2 systèmes précédents et des pentes jusqu'à 25-30 % (accessibilité des rémanents aux engins)	– Plaquettes forestières	– Bûcheronnage : moyens des systèmes précédents – Broyage des rémanents : broyeur autoporté – Débardage : porteurs à benne, tracteurs agricoles équipés de benne	**Systèmes peu développés en France** (seules 1-2 fagotteuses en fonctionnement + quelques essais de débardage des rémanents) car économiquement peu rentables (la quantité de biomasse issue des rémanents seuls est souvent trop réduite pour rentabiliser leur récolte séparée). Mais le gisement potentiel de biomasse issue de rémanents, générée par l'exploitation actuelle commercialisée, est estimé à 10,8 Mm^3, dont 30 % seraient réellement accessibles (éclaircies, coupes sur forte pente ou sur terrain pauvre non prises en compte).	Les engins d'abattage et de débardage ne doivent pas circuler sur les andains* de rémanents car sinon ceux-ci ne seraient plus broyables. Les rémanents sont ramassés à terre par le grappin d'une grue d'un engin. Le taux de récolte des rémanents est alors compris entre 40 et 70 % selon les essences considérées et la fraîcheur des rémanents (Cuchet et *al.*, 2003), avec une moyenne de l'ordre de 50 %. Il reste finalement beaucoup
4			– Fagots de rémanents (qui seront broyés) – Plaquettes forestières	– Bûcheronnage : moyens des systèmes précédents – Débardage : porteurs ou tracteurs agricoles avec remorques, équipés de rallonge – Broyage des rémanents : tout type de broyeur		

N°	Nom	Domaine d'utilisation	Types de produits réalisés	Moyens humains et matériels	Niveau de développement	Commentaires
						plus de matière au sol lorsque les rémanents sont ainsi récoltés séparément du tronc. Avant le broyage, les rémanents sont souvent laissés quelques mois pour séchage soit sur parcelle, soit bord de route selon le système utilisé.
5	**Exploitation arbre entier**	– Feuillus et résineux – Petits bois (dépressage, taillis mal venants) – Pente jusqu'à 20 % pour que les engins de broyage accèdent aux bois – TCR et TTCR à vocation énergétique	– Plaquettes forestières	– Abattage : tronçonneuses, abatteuses, abatteuses-groupeuses – Broyage : broyeur autoporté – Débardage : porteurs à benne, tracteurs agricoles équipés de benne	Système peu développé actuellement mais dont le potentiel de développement est important : dépressage, taillis vieillis et/ou mal venants	**La récolte de la biomasse aérienne est presque totale**, proche des 90-100 % suivant qu'il y ait eu séchage ou non avant broyage.
6		– Feuillus et résineux – Tout type de bois et de coupe, pas de restriction de pente	Le façonnage des arbres bord de route permet de faire tous types de produits en fonction de la dimension des arbres : – Bois d'industrie (billons de 2 à 4 m) – Bois de feu (1 m voire plus) – Billons de sciage et déroulage – Grumes – Plaquettes forestières	– Abattage : tronçonneuses, abatteuses (pente < 40 %) – Débardage : débusqueurs* à grappin, porteurs (pour les tronçons d'arbres entiers) ou semi-porteurs (pente < 25-30 %), câble-mâts – Ebranchage-billonnage : tronçonneuses, abatteuses – Broyage : tout type de broyeur	Système encore marginal mais qui se développe sauf en zone de montage avec des exploitations au câble-mât.	La partie des bois destinée à la production de plaquettes forestières pour l'énergie est souvent laissée bord de route quelques mois pour séchage avant broyage. Avec un tel système, il y a des **pertes de matière (branches) sur le parterre de la coupe** lors des opérations d'exploitation, la récolte de la biomasse aérienne n'est donc pas complète

4. Références bibliographiques

Cacot E., Charnet F., Eisner N., Léon P., Ranger J., Rantien C., 2006. *La récolte raisonnée des rémanents en forêt*. Angers, Ademe (collection « Connaître pour agir »), 36 p.

Cuchet E., Roux P., Spinelli R., 2003. *Récolte de rémanents pour le bois-énergie avec le FIBERPAC*. Afocel (Fiche Information-Forêt, n°669), 6 p.

FCBA, 2007. Mémento. Paris, Forêt Cellulose Bois Ameublement, 29 p.

Ginisty C., Vallet P., Chabé-Ferret S., Levesque C., Chauvin C., 2007. *Disponibilités en biomasse forestière pour des usages énergétiques et industriels en France. Note de synthèse.* Convention DGFAR/Cemagref n° E 19/06 du 20 octobre 2006. Nogent-sur-Vernisson, Cemagref, 6 p.

Laurier J.-P., 1998. *Exploitation forestière : matériels et méthodes de travail – Dossier pédagogique*. Nangis, Afocel, 160 p.

Laurier J.-P., 2007. Évaluation du coût de mobilisation d'un million de m^3 (ou tonnes) supplémentaire de biomasse forestière. Note du 25/09/2007 pour la DGFAR.

Laurier J.-P., Pouet J.-C., Ballaire P., 1999. *Bois énergie : le déchiquetage en forêt*. Angers, Ademe (collection « Connaître pour agir »), 99 p.

CHAPITRE 5

LA DISPONIBILITÉ DE BIOMASSE DANS LES FORETS FRANÇAISES

Christian Ginisty et Patrick Vallet,
Cemagref Nogent-sur-Vernisson

1. Contexte et objectif de la contribution

La question des disponibilités en bois pour l'exploitation a toujours été une question forte. En France, dès le 17e siècle, les ordonnances royales ont tenté de protéger les forêts des surexploitations. Par la suite, le Code Napoléon est venu « *réglementer les coupes en forêt* » ; au début du 19e siècle, le nouveau Code forestier a cherché à mettre un coup d'arrêt aux exploitations abusives pour recommander une « *exploitation raisonnée* ». Cependant, au cours des 19e et 20e siècles, des reboisements massifs sont entrepris en Sologne, en Champagne, dans les Landes et en montagne (boisements RTM). Ces programmes, interrompus par les guerres, ont repris sous l'égide du Fonds Forestier National dès 1947. En même temps, **la révolution industrielle, avec l'utilisation du charbon, puis du gaz et du pétrole, diminue fortement la pression sur la forêt pour la ressource en bois-énergie et en bois construction. La crise actuelle de l'énergie, associée aux nécessités de réduction des gaz à effet de serre, tend à inverser cette tendance. Aussi, les inquiétudes liées à une possible surexploitation de la forêt s'expriment-elles à nouveau**. La question du niveau d'exploitation (récoltes) des forêts par rapport à la production (biologique) reste toujours un élément déterminant des évaluations du concept de « rendement soutenu » à celui de « gestion durable » (Prado Donoso, 1997 ; Barthod et Wermann*.,* 1997).

L'idée générale qui domine actuellement, en matière de comptabilité des stocks et des flux, est qu'il existe dans la forêt française un important stock de bois non exploité et qui pourrait l'être. Cette idée tire son principal fondement de la comparaison entre production brute annuelle (autour de 100 Mm^3/an) et la récolte annuelle totale, de l'ordre de 65 Mm3/an (chapitre 2)

Cette contribution vise à présenter succinctement les **meilleures estimations de la partie raisonnablement et techniquement mobilisable de ce stock théoriquement disponible**. On sait qu'il faut compter en outre avec des facteurs économiques (notamment le prix du bois et de l'énergie) et sociaux qui vont entraîner un écart qui peut être relativement important entre les disponibilités théoriques et ce

qui sera effectivement mis sur le marché. Nous ne reviendrons pas ici sur ces facteurs qui sont présentés par ailleurs (chapitre 2).

2. Les études récentes sur la ressource

Un certain nombre d'études traitant sous différents angles de l'évaluation de la disponibilité de bois dans la forêt française à l'échelle nationale a été mené récemment : Pignard *et al.* (2004) ont fait une projection sur les possibilités de récolte des bois résineux pour les 30 années à venir ; De Galbert (2007) a fait également état de possibilités d'exploitations plus fortes dans le cadre d'une valorisation optimale de la forêt pour une contribution durable à la lutte contre l'effet de serre ; l'Afocel, (2006) a fait un bilan complet des disponibilités selon les usages ; l'IFN et Solagro (Belouard, 2005) ont réalisé des estimations de ressources bois-énergie, estimant notamment le gisement des rémanents de l'exploitation actuelle à 34 Mm^3 (volume des petits bois, menus bois et branches associé à l'exploitation actuelle) avec un gisement complémentaire, associé à une intensification des prélèvements et de la sylviculture, de 21 Mm^3. Les chiffres, élevés, avancés dans cette étude ont suscité de nombreuses interrogations.

On peut mentionner encore que les « indicateurs de gestion durable des forêts françaises » (MAP, 2006) reprennent tous les 5 ans les éléments clés sur la production forestière, la ressource et les récoltes.

3. L'étude 2007 du Cemagref

3.1. Objet et limites

Commanditée par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche, cette étude a abordé la question des disponibilités d'une façon nouvelle, en construisant une méthode standard, bâtie sur la comparaison des valeurs dendrométriques des peuplements (issues des données IFN) avec les valeurs recommandées par les guides sylvicoles et documents de gestion de référence. On en a déduit des disponibilités théoriques, ventilées en bois d'industrie ou bois-énergie et en bois d'œuvre. La soustraction de la consommation actuelle donne alors la disponibilité supplémentaire que l'on cherche à estimer (Ginisty *et al*., 2007 ; Vallet *et al*., 2007 ; Chabé-Ferret *et al*., 2007).

L'étude s'est limitée aux **disponibilités en « forêt »** (hors peupleraie, bosquets et alignements) soit une **surface équivalente à environ 15,0 millions d'ha**, **représentant un volume sur pied de plus de 2,4 milliards de m^3**. La **production brute annuelle est estimée à un peu plus de 100 millions de m^3** (IFN, 2008).

Parmi les bois non pris en compte dans cette étude, on trouve :

- les peupleraies, qui représentent environ 200 000 ha pour un volume sur pied d'environ 22 Mm^3 (IFN, 2007) et une récolte annuelle d'environ 2 Mm^3 de bois d'œuvre et 0,5 Mm^3 bois d'industrie (Berthelot, 2004) ;
- les bosquets (de 5 à 50 ares) qui représenteraient environ 170 000 ha (IFN, 2008) alors que l'enquête Teruti-Lucas donne le chiffre de 952 000 ha en 2006 pour cette appellation ; les haies et alignements d'arbres sont estimés à près de 1 Mha (d'après Teruti-Lucas, 2008) ; on trouve aussi l'estimation de 0,6 Mha de haies et 0,33 Mha d'arbres épars en 2000 (Pointereau, 2002) ; la disponibilité totale en bois de ces formations « arbre hors forêt » représenterait près de 17 Mm^3/an (Afocel, 2006) ;
- la production des cultures dédiées de type TCR et TTCR qui ne représentent aujourd'hui en France au plus que quelques milliers d'ha.

3.2. Méthode et compartiments étudiés

L'étude s'est basée sur les données de l'Inventaire forestier national (IFN). Les 100 000 points inventoriés entre 1989 et 2004 (donc avant le changement récent de méthode) ont été répartis en sous-domaines d'étude selon les critères suivants : région, département, propriété, essence principale, accessibilité, structure forestière, les 3 principales structures prises en compte étant la futaie, le mélange futaie – taillis et le taillis simple.

Dans chaque sous-domaine d'étude, nous avons simulé une **évolution des caractéristiques dendrométriques sur la période 2006-2016** ; les caractéristiques dendrométriques obtenues sont alors comparées aux **« références établies » pour chaque essence et chaque structure, cela à partir des guides de sylviculture et documents d'orientation forestière existants.** Lorsqu'ils n'existent pas, les références ont été construites à dire d'expert, à partir des tables de productions ou par similitude entre essences.

Chaque sous-domaine a fait l'objet d'un diagnostic sylvicole et les possibilités de récolte sont de même réalisées sous-domaine par sous-domaine, ce qui conduit à définir un gisement « pérenne » (intérêts du capital) et un gisement « conjoncturel » (sur-capital possible à exploiter).

En matière de destination du bois, toutes les sources ont été considérées : le principe est d'attribuer à chaque « coupe » virtuellement possible une proportion de bois d'industrie ou bois-énergie (BIBE) (ces 2 types de marché sont confondus), une proportion de bois d'œuvre (BO) disponible, ainsi que la part de menu-bois et branches ou de produits connexes de scierie.

Dans les résultats présentés, **les menu bois et branches de moins de 7 cm de diamètre fin bout ont été arbitrairement exclus, mais il est possible de les ajouter (ils sont estimés à 10 % du volume total bois fort* « récolté »).**

3.3. Résultats nationaux

Les résultats obtenus à l'échelle nationale sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 1. Disponibilité théorique en bois industrie/énergie après réfaction par l'accessibilité en Mm^3/an selon les structures de peuplements

a/ ventilée entre feuillus et résineux

	Futaie régulière	**Futaie irrégulière**	**Mélanges Futaie – Taillis**		**Taillis simple**	**Total** Bois d'industrie et bois-énergie
			Strate Futaie	Strate Taillis		
Feuillus	10,4	0,4	3,9	13,5	4,6	**32,9**
Résineux	16,5	0,5	0,4			**17,5**
Total	**26,9**	**0,9**	**4,4**	**13,5**	**4,7**	**50,4**

NB : : n sans réfaction pour l'accessibilité, le volume total de disponibilité théorique de bois d'industrie / bois-énergie est de 56,9 Mm^3

b/ ventilée entre gisements pérenne et conjoncturel (voir définitions dans le texte)

Gisement	**Futaie Régulière**		**Futaie irrégulière**	**Mélanges Futaie – Taillis**			**Taillis simple**	**Total** Bois d'industrie et bois-énergie
	Tige	Houppier		Taillis	Fut-Tige	Fut-Houp		
Gisement pérenne	14,1	7,6	0,9	6,7	0,8	3,6	2,5	**36,2**
Gisement conjoncturel	2,1	3,2		6,7			2,2	**14,2**
Total	**16,2**	**10,8**	**0,9**	**13,4**	**0,8**	**3,6**	**4,7**	**50,4**

Tableau 2. Disponibilité théorique en bois d'œuvre* après réfaction par l'accessibilité, en Mm^3/an en feuillus et en résineux selon les structures de peuplements

	Futaie Régulière	Futaie irrégulière	Mélanges Futaie – Taillis Strate Futaie	Total Bois d'œuvre
Feuillus	8,7	0,6	5,6	**14,9**
Résineux	16,7	1,2	1,4	**19,3**
Total	**25,4**	**1,8**	**7,0**	**34,2**

NB : sans réfaction pour l'accessibilité, le volume total de disponibilité théorique BO est de 39,9 Mm^3

Tableau 3. Utilisations actuelles en bois d'industrie, bois-énergie et bois d'œuvre*

(source : MAP-SCEES, 2006 ; CEREN, 2003) en Mm^3/an

Volume consommé	Bois d'industrie	Bois énergie estimé[1]	Total Bois industrie/énergie	Bois d'œuvre
Feuillus	5,7	19,4	24,7	**5,7**
Résineux	6,7	1,0	7,9	**15,2**
Total	**12,4**	**20,4**	**32,8**	**20,9**

[1] les parts feuillus et résineux sont estimées respectivement à 95 % et 5 %

Ainsi, **la disponibilité supplémentaire théorique en bois d'industrie / bois-énergie estimée disponible en forêt française est évaluée en soustrayant le volume utilisé** (tableau 3 : 32,8 Mm3)) **au volume théorique** (tableau 1 : 50,4 Mm3), **soit : 17,7 Mm^3 par an, dont 7,9 Mm^3 de feuillus et 9,8 Mm^3 de résineux.**

De la même façon**, la disponibilité théorique en bois d'œuvre* estimée disponible est évaluée à 13,3 Mm^3 par an, dont 9,2 Mm^3 de feuillus et 4,1 Mm^3 de résineux**.

Les petits bois et branches de moins de 7 cm fin bout, à ajouter éventuellement au total du bois d'industrie/bois-énergie disponible, représenteraient 8.5 Mm^3 par an, dont 4,8 Mm^3 de feuillus et 3,7 Mm^3 de résineux.

3.4. Bois d'industrie, bois-énergie, rémanents, branches…

Dans l'approche présentée, les disponibilités en biomasse ne sont pas limitées aux « rémanents » comme dans beaucoup d'autres études dans ce domaine. Ce terme est, en effet, ambigu car souvent interprété comme étant « ce qui reste des arbres abattus une fois le bois d'œuvre extrait », alors que le bois de feu et le bois de trituration est souvent extrait en complément, après coup.

Dans une coupe, qu'elle soit d'éclaircie ou de récolte, une fois l'extraction du bois d'œuvre réalisée (la bille* et éventuellement une sur-bille*), il reste les extrémités du tronc et les branches qui sont pour partie transformées en bois d'industrie (généralement billons* de 2,30 m) ou en bois de feu (généralement en billons* de 1 m) ou directement en plaquette (broyage sur coupe). Les rémanents sont alors « ce qu'il reste au sol après l'exploitation ».

Dans le cas des résineux, la grume est extraite pour fournir du bois d'œuvre* (sciage) d'une longueur minimale de 3 m et de diamètre fin bout 20 cm. L'extrémité du tronc (ou l'ensemble du tronc si la tige est trop petite) passe en bois d'industrie / bois-énergie jusqu'au diamètre 7 à 10 cm ; les branches sont le plus souvent abandonnées au sol et très rarement transformées en bois de chauffage ou plaquettes.

Pour les feuillus, les découpes sont plus variables :

- la bille* de pied est généralement arrêtée au premier gros défaut (1re branche charpentière) ;
- 1 sur-bille* (voire 2 ou 3) qui va jusqu'à un diamètre fin bout de 20 à 30 cm ;
- le reste du tronc et les branches sont :
    - soit façonnés en bois de feu par le bûcheron ;
    - soit fagotés et ramassés en tas puis passent au broyeur pour faire de la plaquette ;
    - soit laissés au sol (démembré ou non-démembré).

Les niveaux de découpe sont bien sûr variables selon les acheteurs, les essences, les caractéristiques de chantier (accessibilité, distance de vidange*…) et selon la région (selon l'offre et la demande en bois de chauffage ou les capacités de bûcheronnage).

Pour l'étude de la biomasse disponible, nous avons affecté à chaque coupe une proportion du volume bois fort* tige soit en bois d'œuvre, soit en bois d'industrie/énergie et nous avons ajouté le bois des branches (jusqu'à 7 cm fin bout) à la catégorie bois d'industrie/d'énergie.

Rappelons enfin une évidence : la mobilisation d'une grande proportion de bois d'industrie / bois-énergie est directement conditionnée par l'exploitation et la valorisation du bois d'œuvre. Par exemple, le houppier d'un gros chêne n'est mis à disposition du marché que si le chêne est effectivement exploité pour sa grume qui représente alors 95 % de la valeur totale du chêne. Selon cette considération, la part de bois d'industrie / d'énergie « lié au bois d'œuvre* » peut être estimée entre 60 et 70 %.

3.5. Localisation de la ressource

En première approche, on peut considérer que la ressource disponible supplémentaire se trouve :

- **en forêt privée et en forêt communale ;**
- **en montagne et en moyenne montagne ;**
- **dans les formations issues du traitement en taillis et taillis sous futaie ;**
- **ainsi que dans les jeunes futaies en retard d'éclaircie.**

Dans le quart Nord Ouest, la ressource supplémentaire est faible, voire négative, ce qui signifie que la pression sur la forêt pourrait devenir forte dans ces zones.

Les figures 1 et 2 sont présentées selon un découpage régional. Elles mettent en évidence une ressource abondante en bois d'industrie / bois-énergie dans les zones de montagne et de moyenne montagne (forte capitalisation des futaies résineuses, vieux taillis des pentes de moyenne montagne, taillis vieillis de châtaignier en Dordogne…). En plaine, la ressource disponible en bois d'industrie / bois-énergie est essentiellement localisée dans les formations issues du traitement en taillis-sous-futaie (forêt privée et communale à base de chêne ou de hêtre, généralement en vieillissement). La ressource supplémentaire en bois d'œuvre* est identifiée en montagne ainsi que dans le Nord-Est de la France (sachant que pour la région Lorraine, comme les chiffres d'inventaire sont anciens et d'avant tempête, les résultats ne sont pas fiables).

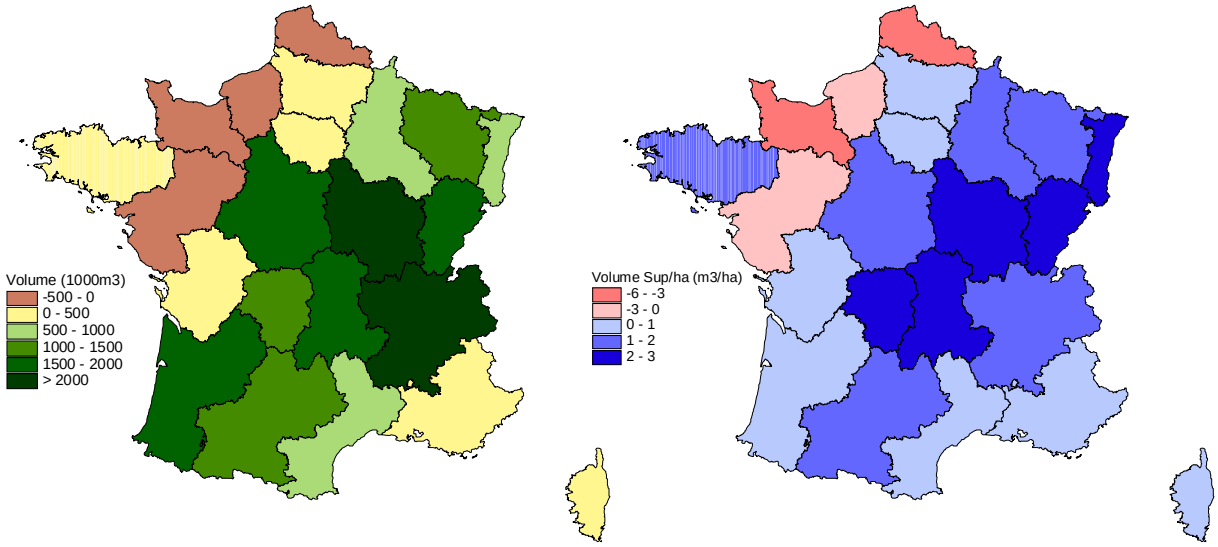
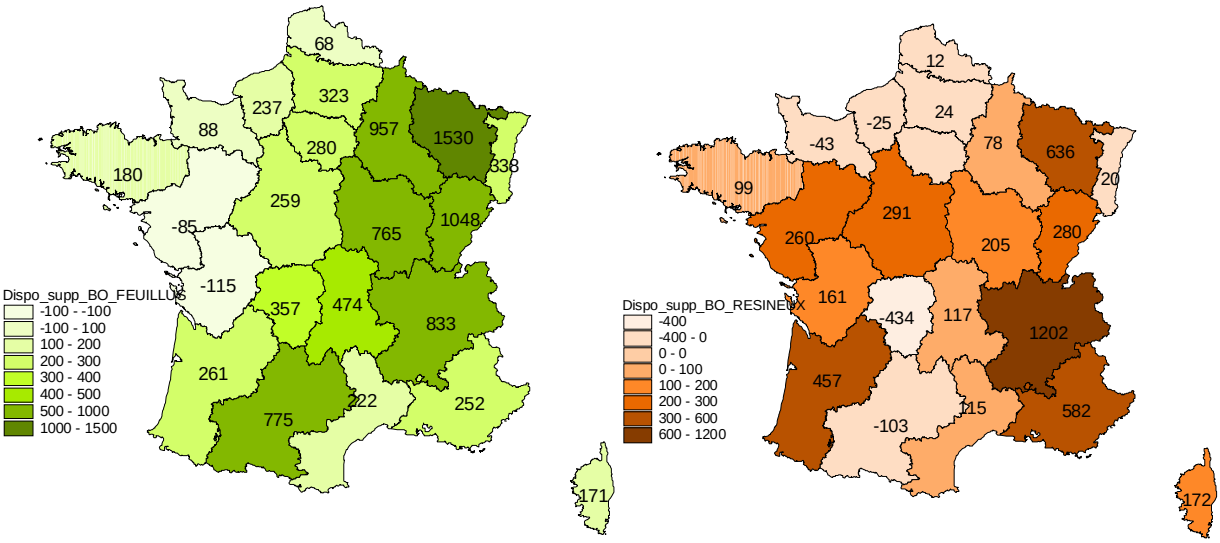


Figure 1. Volumes supplémentaires de bois d'industrie / bois-énergie disponibles (hors produits connexes de scierie) par région

a) en milliers de m3/an, b) rapporté au nombre d'hectares de forêt (m^3/ha/an) (source : Vallet *et al.*, 2007)



Feuillus Résineux

Figure 2. Volumes supplémentaires bois d'œuvre* disponibles par région en milliers de m^3/an

3.6. Orientation de gestion selon les structures forestières

L'approche mise en œuvre permet de diagnostiquer l'ensemble des peuplements forestiers et de définir un volume qui parait exploitable (au sens de la possibilité) en référence à la situation dendrométrique des peuplements forestiers au regard des « normes » actuelles de sylviculture.

En futaie régulière

Les résultats montrent :

- un **retard d'éclaircie pour la plupart des essences et régions, à l'exception du pin maritime dans les Landes**. L'hypothèse a été faite que l'on pouvait en partie récupérer ce retard d'éclaircie en augmentant les prélèvements de 50 % (par exemple, l'éclaircie tous les 10 ans prélèvera 45 m^3/ha au lieu des 30 m^3 habituel de la norme). La figure 3 présente à titre d'exemple la situation dendrométrique des peuplements de chênes en futaie dans l'interrégion Nord-Est et fait apparaître des volumes/ha très souvent supérieurs à la norme du guide de sylviculture.

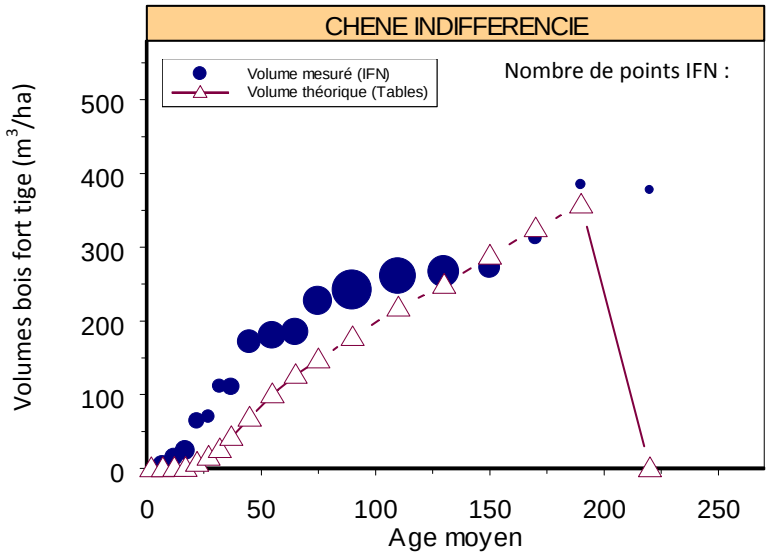


Figure 3. Situation dendrométrique des futaies de chênes dans l'interrégion Nord-Est (source : Vallet *et al.*, 2007)

- **des peuplements ayant largement dépassé l'âge d'exploitabilité** normalement pratiqué (ce qui peut d'ailleurs être lié au problème précédent) notamment en sapins, pins sylvestre et hêtres. Leur réalisation a été programmée selon un échelonnement sur 30 ans. Il y a là une ressource potentielle en bois d'œuvre très importante, notamment en montagne. Néanmoins, la méthode utilisée considère les âges théoriques d'exploitabilité en futaie et non les diamètres ; il est possible que dans le cas de certaines futaies âgées, il soit économiquement intéressant de laisser vieillir (et grossir en diamètre) les peuplements avant leur mise en régénération.

Dans les peuplements « mélange futaie - taillis »

Les petits bois des strates taillis, faiblement exploitées depuis 40 ans, représentent un surstock sur pied extrêmement important, estimé à 150 Mm^3. La sylviculture envisagée dans ces formations passe par une réduction du niveau de surface terrière avec un objectif 2,5 m^2/ha contre 9 m^2 en moyenne actuellement. Dans l'idéal, il faudrait donc éclaircir cette strate taillis.

Sur la strate futaie, on suppose, mais l'analyse mérite d'être approfondie, que cette strate est âgée. La proportion de chêne pédonculé est probablement importante (peut-être avec des sujets dépérissants).

Dans les simulations de traitement sylvicole de ces peuplements, nous avons plutôt opté pour la conversion en futaie irrégulière, recherchant une surface terrière optimum de 20 m^2/ha. Cette approche devra être affinée.

Dans les taillis simples

Beaucoup de formations de type taillis n'ont pas été exploitées et sont, de fait, vieillies. Une seule modalité de traitement a été appliquée, à savoir le maintien du traitement en taillis ; nous avons donc considéré comme possible la coupe rase des taillis ayant atteint ou dépassé l'âge d'exploitabilité, en répartissant toutefois cet effort sur 20 ans. D'autres scénarios de traitements de ces taillis auraient pu être envisagés comme par exemple le balivage* orientant alors vers la futaie sur souche (encore que l'âge élevé de la plupart des taillis rende cette orientation non pertinente du point de vue sylvicole).

4. Perspectives

L'approche développée pour apprécier les disponibilités en bois-énergie, bois d'industrie et bois d'œuvre a fourni des estimations qui paraissent « réalistes ». Certaines estimations restent entachées d'incertitudes et la méthode d'estimation peut être affinée pour certains compartiments.

Plusieurs axes d'amélioration sont possibles :

- **l'estimation des volumes** (tarif, coefficient d'extension houppier, volume bois de feu). Le projet EMERGE (ANR-programme bioénergies 2008, coordonné par Christine Deleuze, ONF), devrait apporter des éléments intéressants ;
- les **scénarios de sylviculture** : pour chaque situation de peuplement, il est possible d'envisager divers scénarios d'évolution (en plus de la non-gestion). Par exemple :
    - une futaie non éclaircie de Douglas de 35 ans peut aussi bien faire l'objet 1) d'une récolte anticipée par coupe rase ou 2) d'éclaircies prudentes et répétées (pour mener à une récolte finale 20 ans plus tard),
    - un taillis simple de châtaigniers de 25 ans peut faire l'objet d'une coupe de balivage* orientant vers la constitution à terme d'une futaie sur souche comme d'un vieillissement et d'une récolte par coupe rase à 35 ans (maintien du régime du taillis),
    - une formation feuillue mélangée issue du traitement en taillis sous futaie peut être orientée vers la conversion directe par régénération naturelle (vieillissement puis mise en régénération par relevé du couvert, coupes progressives…) ou être convertie en futaie irrégulière par coupes mixtes (de récolte, d'amélioration et de régénération).

A l'horizon des 10 prochaines années, chaque option n'engendre pas la même récolte de bois (même si théoriquement la production courante est la même) ; et certains scénarios sont sans doute plus favorables à la biodiversité que d'autres (voir notamment chapitre 7)

D'autres voies d'approfondissement comprennent :

- les variables volume/ha, surface terrière/ha et âges estimés utilisées dans l'étude pourront être complétées et améliorées par d'**autres variables dendrométriques**, peut être plus pertinentes : diamètre moyen, répartition en petit bois - bois moyen - gros bois. Il est aussi envisageable de faire des analyses de sensibilité des résultats par rapport aux sylvicultures choisies (par exemple âge ou diamètre d'exploitabilité en futaie régulière) ;
- l'utilisation des **données récentes de l'IFN**, issues de la nouvelle méthode d'inventaire, est en cours ; elle va permettre de réduire les marges d'incertitudes des estimations notamment vis-à-vis des dégâts des tempêtes de 1999, plus particulièrement pour les régions fortement touchées (Nord Est, Aquitaine). Cependant, étant donné les nombres de points IFN disponibles, les résultats ne pourront pas être rapportés au niveau département mais plus probablement au niveau régional ou interrégional ;
- le **croisement** des informations « ressources disponibles » **avec les informations sur le milieu** (pH, fragilité des sols, indice de biodiversité) pourrait permettre d'identifier les situations particu-

lièrement sensibles pour la biodiversité ou les sols et amener alors à alerter l'attention sur la vulnérabilité de telle ou telle combinaison de région, milieu, type de peuplements.

Enfin, au-delà de l'amélioration des estimations des volumes disponibles, il parait nécessaire d'engager une discussion sur les niveaux de récolte acceptables tout en ayant l'éclairage des connaissances scientifiques actuelles sur les conséquences des prélèvements sur le sol et la biodiversité (voir chapitres 15 et 16).

5. Références bibliographiques

Afocel, 2006. *Synergie et concurrence entre utilisation énergétique du bois et autres usages : état des lieux, évolution et propositions d'amélioration*. Rapport final. Afocel, Biomasse Normandie, CTBA, 60 p.

Barthod C., Wermann E. 1997. La gestion durable des forêts tempérées européennes - Réflexions sur les expériences allemande et française, XI Congrès forestier mondial 13- 22 Octobre 1997, Antalya (Turquie), vol. 6, thème 38.2.

Belouard T., 2005. *Gisement national de bois-énergie en forêt - Première estimation nationale à partir des inventaires forestiers IFN : méthode, résultats et limites*. Paris, Ademe, IFN, Solagro, 20 octobre 2005, 12 p.

Berthelot A., 2004. La culture du peuplier en France : une forêt très particulière. Présentation Congrès ACFAS 2004

Chabé-Ferret S., Levesque C., Ginisty C., 2007. *Biomasse forestière pour de nouveaux débouchés énergétiques et industriels. Partie 3 : Partie économique*. Nogent-sur-Vernisson, Cemagref, 55 p.

CEREN, 2003. *La régionalisation du bois en 2001 - secteur résidentiel.* Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie, septembre 2003, 36 p.

De Galbert M.,2007. *Le défi forestier pour le développement durable*, édition ING, 367 p.

Ginisty C., Vallet P., Chabé-Ferret S., Levesque C., Chauvin C., 2007. *Disponibilités en biomasse forestière pour des usages énergétiques et industriels en France. Note de synthèse*. Nogent-sur-Vernisson, Cemagref, 6 p.

IFN, 2008. *La forêt française*. Nogent-sur-Vernisson, Inventaire Forestier National, 206 p.

MAP-SCEES, 2006.*Récolte de bois et production de sciages en 2004.* Série Agroalimentaire n° 141

MAP-SCEES, 2008, *L'utilisation du territoire en 2007 Teruti-Lucas*. Série Agriculture n° 202

MAP, 2006*. Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises*. Edition 2005. Paris, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 148 p.

Pignard G., Thivolle-Cazat A., Hamza N., 2004. *Disponibilité en bois résineux en France : réévaluation après les tempêtes de 1999.* Afocel, IFN, MAAPAR, Janvier 2004, 427 p.

Pointereau P. 2002, Les haies : évolution du linéaire en France depuis quarante *ans Le Courrier de l'environnement* n°46,

Prado Donoso J. A., 1997. Perspectives sur la gestion des forêts Tempérées, XI Congrès forestier mondial, 13- 22 Octobre 1997, Antalya (Turquie), vol. 6, thème 38.2.

Vallet P., Levesque C., Ginisty C., 2007. *Biomasse forestière disponible pour de nouveaux débouchés énergétiques et industriels. Partie 2 : Calcul des volumes*. Nogent-sur-Vernisson, Cemagref, 76 p.

CHAPITRE 6

L'ETAT ET LES ENJEUX DE BIODIVERSITÉ FORESTIÈRE EN FRANCE

Frédéric Gosselin, Christophe Bouget et Marion Gosselin, Cemagref Nogent-sur-Vernisson

Christophe Chauvin, Cemagref Grenoble

Guy Landmann, GIP Ecofor

1. Les différentes facettes de la biodiversité

La **diversité biologique*** ou biodiversité est, selon la définition officielle de la Convention sur la Diversité Biologique[4], la « *variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes.* »

Comme expliqué dans le chapitre 1, l'accent est mis ici sur la **diversité biologique interspécifique des « macro-organismes »**, qui est relativement mieux connue que le monde micro-organique (ex. : bactéries, levures, protozoaires, archaeas et virus) et les niveaux génétique et écosystème. Il n'a pas été possible de mobiliser l'expertise nécessaire pour traiter ces autres aspects de la biodiversité auxquels il faudrait si possible consacrer plus d'attention dans le prolongement de cette étude.

Même avec cette restriction, la notion de biodiversité recouvre des aspects très variés que l'on peut décliner suivant les différents groupes taxonomiques ou écologiques concernés, et entre les différents « types » de biodiversité, par exemple en suivant la distinction classique entre biodiversité « remarquable », biodiversité « ordinaire » et biodiversité « fonctionnelle » :

4 http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-un-fr.pdf

- **la biodiversité remarquable concerne espaces et espèces rares et/ou menacés, parfois objet de protections spécifiques** (parcs nationaux, réserves, espèces protégées...). En forêt, les espaces protégés correspondent le plus souvent aux forêts « subnaturelles* », et à certains milieux intraforestiers limités, notamment les zones humides. Utile pour la faune directement liée à ces formations (insectes saproxyliques et chauves-souris, batraciens), cette politique de réserves nécessairement limitées et réparties sur le territoire a peu d'impact sur les autres espèces remarquables plus mobiles, spécifiques de la forêt, telles que grands mammifères ou oiseaux. Ces espèces font l'objet des plans nationaux de restauration des espèces menacées ;
- **la biodiversité ordinaire est la biodiversité non remarquable**. C'est pour les citoyens la biodiversité qu'il appréhende dans sa vie quotidienne ou son cadre de vie. Ses enjeux commencent par l'échelle locale des écosystèmes, socialement vécue, passent par l'échelle du paysage et du territoire, socialement perçue, pour arriver aux niveaux régional, national et européen, auxquels les analyses des tendances sont souvent les plus pertinentes – simplement parce que c'est à ces niveaux qu'on peut espérer produire des informations fiables avec un coût raisonnable pour la société ;
- la **biodiversité fonctionnelle**. Il s'agit de la partie de la biodiversité qui joue **un rôle important dans le fonctionnement durable des écosystèmes, au sens des grands flux d'éléments** (eau, carbone, minéraux) et d'énergie ; et au sens des interactions biotiques façonnant l'écosystème (prédation, parasitisme, symbioses...). Le lien entre biodiversité interspécifique ou infra-spécifique et fonctionnement de l'écosystème est un champ de recherches très actif. La biodiversité fonctionnelle renvoie aux « services environnementaux* » promus récemment par le « *Millennium ecosystem assessment* » (2005 [5]). La forêt y est identifiée pour ses fonctions environnementales, économiques et sociales (eau, CO_2…). Les niveaux de biodiversité forestière les plus souvent cités dans ce volet fonctionnel sont la diversité spécifique et génétique des arbres, la diversité des organismes du sol et les grands prédateurs. Ces aspects ne sont que peu développés dans ce rapport (voir cependant chapitre 16).

La protection et la prise en compte de ces trois types de biodiversité dans la politique passent par toutes les échelles d'organisation de la société : échelle la plus locale (commune, charte de territoire, département) ; échelle nationale (politique d'État, réglementaire et/ou incitative ; politiques intersectorielles ou sectorielles) ; échelle européenne (directives Oiseaux et Habitats) ; conventions internationales (chapitre 15).

2. Principaux enjeux de biodiversité en forêt tempérée et pratiques associées

Les principaux enjeux de biodiversité forestière regroupent des éléments (espèces, populations) que l'on ne trouve qu'en forêt ou qui sont particulièrement sensibles à la gestion, ou qui sont menacés. L'attention doit donc, selon nous, être portée en priorité sur :

- les **taxons qui dépendent de la forêt** (biodiversité remarquable, ordinaire) :
    - soit des espèces typiquement forestières : on ne les trouve qu'en forêt. Elles nécessitent un microclimat tamponné d'intérieur forestier, ou des micro-habitats typiquement forestiers (bois mort, humus, houppiers, cavités d'arbres),
    - soit des espèces qui dépendent de la forêt pour une partie de leur cycle de vie ;
- les **taxons dont le fonctionnement de la forêt dépend** (biodiversité fonctionnelle) :
    - les arbres forestiers, espèces-clefs de voûte qui structurent le milieu forestier et qui sont l'objet direct de la gestion forestière,
    - les groupes fonctionnels du sol (mycorrhizes, bactéries, différents groupes animaux du sol),
    - les prédateurs, parasites, pollinisateurs, ...

5http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf, ainsi que le chapitre détaillé sur la biodiversité : http://www.millenniumassessment.org/documents/document.273.aspx.pdf.

- les **taxons sensibles aux interventions sylvicoles** (coupes, etc.) (biodiversité remarquable, ordinaire) :
    - espèces peu mobiles : toute perturbation de leur habitat peut être néfaste s'il n'y a pas d'autre habitat favorable à proximité immédiate,
    - espèces d'intérieur forestier (fuyant les lisières),
    - espèces inféodées aux stades – stades âgés et stades pionniers – et habitats – bois mort, cavités, gros et vieux arbres, – souvent tronqués par la gestion sylvicole,
    - peuplements et populations d'arbres : la composition des peuplements en essences et la diversité génétique des populations d'une essence donnée sont en grande partie déterminées par la gestion pratiquée,
    - espèces animales sensibles au dérangement,
    - faune et flore du sol sensibles aux tassements ;
- les **taxons menacés** (au sens de l'UICN) (biodiversité remarquable) :
    - espèces ou populations rares,
    - espèces ou populations dont l'abondance décline.

3. Pressions pesant sur la biodiversité forestière

Les pressions s'exerçant sur la biodiversité forestière sont multiples : changement climatique, pollution atmosphérique, changements d'utilisation du sol, y compris le développement urbain, introduction d'espèces invasives (favorisée par le développement du commerce international) et, bien sûr, les pratiques sylvicoles.

Les indicateurs de gestion durable (MAP, 2006) fournissent des informations certes imparfaites[6] mais utiles de l'état des pressions plus particulièrement associées aux pratiques sylvicoles. Les indicateurs pour le volet biodiversité concernent la composition et diversité en essences, les types de régénération utilisés, l'intensité et le caractère naturel de la gestion pratiquée (y compris l'utilisation d'essences autochtones et de statuts de protection des espaces), la quantité de bois mort, la conservation et l'utilisation des ressources génétiques d'arbres forestiers, l'organisation du paysage, les proportions d'espèces menacées en forêt. Les justifications des interprétations faites ci-dessous peuvent être trouvées pour partie dans l'ouvrage de synthèse de Gosselin et Laroussinie (2004). Parmi les éléments *a priori* favorables à la biodiversité, on peut citer :

- une **forêt en expansion,** dont la surface a presque doublé en deux siècles pour atteindre aujourd'hui 28 % du territoire ;
- des **types de gestion assez variés** et relativement extensifs pour la majorité d'entre eux (cf. indicateur 4.3) ;
- un **ensemble conséquent de forêts anciennes***, c'est-à-dire étant restées en état boisé depuis la dernière glaciation ou au moins depuis deux siècles, souvent des forêts publiques, objets d'une bonne continuité de gestion et d'un bon statut de protection du caractère forestier (Code forestier) ;
- une forêt où **les essences résineuses ou exotiques ne sont pas majoritaires**, où pas moins de 12 essences ou groupes d'essences couvrent chacune au moins de 2 % de la forêt disponible pour la production (indicateur 1.1.4) et où les **peuplements** sont **relativement mélangés** – hormis en résineux – et le sont de plus en plus (indicateur 4.1) ;
- **les ressources génétiques** des arbres sont **activement gérées**, à la fois pour la production de semences forestières et pour la conservation des ressources génétiques (indicateur 4.6).

6 pour une revue critique de ces indicateurs, voir Hamza et al. (2007).

D'autres éléments sont *a priori* défavorables (sans que l'importance de ces effets soit toujours simple à quantifier) :

- **une régénération artificielle plus développée que la régénération naturelle (58 % contre 42 %[7])**, surtout en résineux (indicateur 4.2) ;
- une forêt peu artificielle mais où il y a *a priori* très **peu de peuplements semi-naturels** (cf. indicateur 4.3 : 0.2 % de la surface concernée) ;
- **une faible proportion de peuplements protégés pour la biodiversité** au sens de la conférence ministérielle pour la conservation des forêts en Europe (1,2 % de la surface forestière ; cf. indicateur 4.9) ;
- **une structure forestière dominée par la structure « futaie régulière »** (presque 50 % de la surface) et où la structure « futaie irrégulière » est peu présente (moins de 5 % de la surface, en régression plus forte que le taillis-sous-futaie par exemple) (indicateur 1.1.3) : en supposant que les structures sont un reflet imparfait des modes de traitement, notre interprétation de ces chiffres est fondée non pas sur le caractère systématiquement supérieur de la futaie irrégulière sur la futaie régulière pour la biodiversité, mais sur leur complémentarité – en termes de composition en espèces – à l'échelle de massifs ou de petites régions (Bergès, 2004 et 2007) : une représentation du mode de traitement irrégulier à hauteur de seulement 5 % en moyenne sur le territoire – qui plus est en décroissance – nous semble peu élevée. Toutefois, ce point mériterait des analyses complémentaires, comparant par exemple futaie irrégulière à futaie régulière, agrémentée ou non d'îlots de sénescence et de vieillissement ;
- une forêt où **les peuplements sur-âgés ne sont pas très répandus en futaie régulière** : 2,4 % des placettes à structure régulière de l'IFN ont un âge supérieur à l'âge d'exploitabilité (cette proportion étant encore beaucoup plus faible pour les essences de production comme le chêne sessile (indicateur 4.3) 8) et la surface des futaies régulières de plus de 200 ans est, entre 1994 et 2004, relativement stable en valeur absolue et en régression en valeur relative, à un niveau faible (1,2 % de la surface de futaie régulière ; indicateur 1.3).

Pour bien des paramètres, il est difficile de porter une appréciation définitive. Il en va ainsi par exemple de :

- la **proportion d'arbres de plus de 60 cm de diamètre** dans la forêt française : elle se situe actuellement entre 7 et 11 % du volume total, suivant qu'on est en résineux ou en feuillus – avec moins de 1 % pour les arbres de plus de 90 cm de diamètre. Des statistiques en termes de densité à l'ha dans différents contextes – biogéographique ou stationnel, type de propriété... – permettraient de mieux interpréter ces données. A noter que, si nous avons du mal à interpréter le niveau actuel de cet indicateur, sa dynamique était, elle, positive du point de vue de la biodiversité : en effet, le volume de la classe de diamètre 60cm->115 cm a augmenté entre 1994 et 2004, beaucoup plus vite que l'augmentation de la surface forestière (indicateurs 1.1 et 1.3) ;
- une forêt où **la densité de cervidés est en augmentation constante** depuis ces dernières décennies (indicateur 4.9.1), ce qui occasionne probablement des effets mitigés sur la biodiversité – des pertes pour certains groupes et des augmentations pour d'autres.

Enfin, insistons sur les manques de données concernant certains compartiments de la gestion forestière actuelle ou passée. Il en va ainsi des données sur le bois mort (volume de bois mort, diversité des pièces de bois mort), qui jusqu'à très récemment n'étaient pas bien relevées par l'IFN. Il en va de même pour les données sur la « non-exploitation » effective des forêts, pour laquelle nous ne disposons pas de données précises.

Des variables de « contextualisation » pourraient aussi être utiles. Ainsi, de nombreuses publications (par exemple Dupouey *et al*., 2002) ont montré que la biodiversité des **forêts anciennes*** était différente de la biodiversité des forêts récentes, avec des taxons forestiers qui mettent beaucoup de temps à recoloniser

[7] En excluant le recépage de taillis des calculs.

8 Voir néanmoins les remarques de Hamza *et al.* (2007) relatives à l'interprétation de cet indicateur.

une forêt autrefois convertie à l'agriculture. La connaissance des forêts anciennes* et de leur état actuel permettrait par exemple de ventiler l'évolution de la surface forestière française entre forêts récentes et forêts anciennes*. La dynamique décrite par l'indicateur 1.1.1 « Gains et pertes de surface boisée » (MAP, 2006) indique que s'il y a des gains importants de surface boisée, il y a aussi des pertes : si ces pertes concernaient surtout des forêts anciennes*, il est possible que les évolutions forestières d'occupation du sol soient globalement plutôt défavorables à la biodiversité.

En conséquence, dans les chapitres qui traiteront de la biodiversité, nous prêterons une attention particulière **aux éléments d'habitats qui sont déterminants pour ces taxons « à enjeu » :**

- les stades tronqués par la sylviculture aux deux extrémités du cycle, c'est-à-dire **les peuplements d'essences pionnières et les vieux et très vieux peuplements ;**
- **le bois mort, sous toutes ses formes ;**
- **les gros et vieux bois (isolés ou en îlots) ;**
- **les arbres à cavités ;**
- **les forêts anciennes* ;**
- **les milieux humides intra-forestiers.**

4. État de la biodiversité forestière et non forestière

L'état de la biodiversité n'est pas en lien direct et unilatéral avec les indicateurs de gestion durable des forêts mentionnés ci-dessus. D'abord parce que bien d'autres pressions pèsent sur la biodiversité forestière que les pressions associées à la gestion forestière. Ensuite parce que nos connaissances sont encore trop fragmentaires pour pouvoir définir des seuils ou des formes de réponse de la biodiversité à ces variables, qui plus est dans des contextes variés. Enfin, parce que le croisement entre pressions et état de la biodiversité, qui pourrait pour partie nous éclairer, est très rare à l'échelle d'un grand territoire[9].

En dépit de ces remarques et de l'intérêt croissant porté à la biodiversité, les connaissances disponibles en France pour en définir l'état, en forêt et hors forêt, restent relativement limitées. On peut néanmoins résumer la situation de la manière suivante :

- pour certains groupes taxonomiques – par exemple les **plantes vasculaires et les oiseaux** – les **tendances** temporelles et les **statuts de menace d'extinction des espèces forestières sont plutôt meilleures** que celles des espèces non forestières. Pour les oiseaux, le suivi temporel des oiseaux communs (STOC) coordonné par le MNHN [10] montre une baisse plus forte de la fréquence des populations d'oiseaux communs spécialistes des milieux agricoles que de celles des espèces forestières, et la proportion d'espèces menacées d'oiseaux en forêt (13 %) est plus faible que la proportion d'espèces menacées d'oiseaux non forestiers (40 %) [11] ;
- pour d'autres groupes taxonomiques, les menaces d'extinction pesant sur la biodiversité sont du **même niveau en forêt et hors forêt**. C'est le cas pour les **amphibiens** en France, pour lesquels environ 40 % des espèces sont menacées en forêt et hors forêt ;
- enfin, pour d'autres groupes taxonomiques, les **pourcentages d'espèces menacées sont plus forts en forêt qu'hors forêt**. Ainsi, pour les **mammifères**, 36 % des espèces strictement forestières sont menacées contre 29 % pour les « non-forestières ».

9 Et ce, même dans un cas très bien étudié, comme la Chouette tachetée nordique (*Strix occidentalis caurina*) sur la côte Nord-Ouest Américaine : cf. Gosselin F. (2009).

10 http://www.ifen.fr/indicateurs/indicateurs-de-developpement-durable/indicateurs-de-developpement-durable/indice-d-abondance-des-populations-d-oiseaux-communs.html?taille=target%3D_self

11 cf. Indicateur 4.8 dans 2006 http://www.ifen.fr/acces-thematique/nature-et-biodiversite/faune-et-flore/la-faune-menacee-et-protegee.html?taille=target%3D_self et http://www.ifen.fr/acces-thematique/nature-et-biodiversite/faune-et-flore/la-flore-menacee-et-protegee.html?taille=target%3D_self

Les nouvelles listes rouges d'espèces menacées en France publiées par l'UICN en 2008 et 2009 infléchissent les conclusions précédentes, avec globalement moins de proportions d'espèces menacées en forêt qu'hors forêt. Nous pouvons ainsi retenir que :

- pour les groupes taxonomiques bien renseignés, la biodiversité forestière est potentiellement menacée à une même intensité – ou à une intensité moindre d'après les données les plus récentes – que les autres pans de la biodiversité terrestre en France, mais d'une façon variable d'un groupe taxonomique à l'autre ;
- pour une grande partie de la biodiversité forestière, on manque de données faute de suivis d'espèces représentatifs de la situation française et d'évaluations des espèces menacées.

5. Au carrefour des enjeux, des pressions et de l'état de la biodiversité : les taxons saproxyliques

A l'intersection de ces différentes catégories de taxons à enjeu, des pressions pesant sur la forêt française et probablement des états de la biodiversité, on trouve notamment les **espèces associées au bois mort, dites saproxyliques** : elles dépendent majoritairement de la forêt, représentent le quart des espèces forestières (soit plus de 10 000 espèces, dont une majorité de champignons et de coléoptères) et leurs micro-habitats sont perturbés par la gestion, au point qu'une proportion significative des espèces est menacée d'extinction (entre 20 et 50 % d'après diverses listes rouges nationales européennes ; Bouget *et al.*, 2007). Dès 1988, le Conseil de l'Europe encourageait les gouvernements européens à utiliser prioritairement les organismes saproxyliques pour évaluer l'état de conservation des forêts[12].

Le statut actuel de ce pan de la biodiversité fait néanmoins débat dans la communauté forestière, et on le comprend : les niveaux de bois mort sont très probablement plus élevés aujourd'hui qu'il y a quelques décennies (notamment après les tempêtes de 1999), mais probablement toujours à des niveaux assez faibles en plaine ; de fait, le pire est probablement derrière nous compte tenu de la surexploitation historique du bois mort qu'ont vécue ces espèces, du Moyen Age jusqu'au 19e siècle, lorsque le bois était la principale source d'énergie (Bartoli et Geny, 2005). Les goulets d'étranglement vécus par les populations d'organismes saproxyliques ont pu conduire à des assemblages aujourd'hui appauvris ou fragilisés qui doivent sans doute toujours être considérés comme vulnérables : l'existence de conditions antérieures plus défavorables[13] pour ces espèces saproxyliques ne signifie pas que les conditions actuelles ou futures permettent leur survie, tant le phénomène d'extinction s'étale dans le temps (Tilman *et al.*, 1994; Caughley, 1994; Pimm, 2002).

6. Références bibliographiques

Bartoli M., Geny B., 2005. Il était une fois… le bois mort dans les forêts françaises. *Revue forestière française*, 57 (5) : 443-456.

Bergès L., 2004. Rôle des coupes, de la stratification verticale et du mode de traitement sur la biodiversité. *In* Gosselin M., Laroussinie, O. (Eds), *Gestion Forestière et Biodiversité : connaître pour préserver - synthèse bibliographique*. Antony, Cemagref, 149-215.

Bergès L., 2007. L'influence des coupes et du mode de traitement sur la biodiversité. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, (16) : 37-42.

Bouget C., Brustel H. et Nageleisen L., 2007. Pour une harmonisation de la nomenclature des groupes écologiques d'insectes liés au bois. *Bourgogne Nature*, (5) : 99-102.

12 Recommandation du Comité des ministres du Conseil de l'Europe R(88) 10 aux Etats membres (adoptée le 13 juin 1988) pour « *la protection des organismes saproxyliques et de leurs biotopes* »
https://wcd.coe.int/com.instranet.InstraServlet?command=com.instranet.CmdBlobGet&InstranetImage=609058&SecMode=1&DocId=697430&Usage=2

13 Argument qu'il faut nuancer, les moyens d'exploitations actuels (fiche Cacot exploitation) étant bien plus performants qu'autrefois, quand seul le bois mort gisant était ramassé

Caughley G., 1994. Directions in conservation biology. *Journal of Animal Ecology*, 63 (2) : 215-244.

Dupouey J.-L., Sciama D., Dambrine E., Rameau J.-C., 2002. La végétation des forêts anciennes. *Revue forestière française*, 54 (6) : 521-532.

Gosselin F., 2009. Management on the basis of the best scientific data or integration of ecological research within management? Lessons learned from the northern spotted owl saga on the connection between research and management in conservation biology, *Biodiversity and Conservation*.18 (4): 777-793.

Gosselin M., Laroussinie O. (Eds), 2004. *Biodiversité et Gestion Forestière : connaître pour préserver - synthèse bibliographique*. Antony, co-édition GIP Ecofor - Cemagref, 320 p.

Hamza N., Boureau J.-G., Cluzeau C., Dupouey J.-L., Gosselin F., Gosselin M., Julliard R., Vallauri D., 2007. *Evaluation des indicateurs nationaux de biodiversité forestière.* Nogent-sur-Vernisson (France), Inventaire forestier national, 133 p.

MAP, 2006. *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises - Edition 2005.* Paris, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 148 p.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being : synthesis.* Washington D. C. (USA), Island Press, 137 XXp. http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf

Pimm S. L., 2002. The dodo went extinct (and other ecological myths). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89 (2) : 190-198.

Tilman D., May R. M., Lehman C. L., Nowak M. A., 1994. Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 371 (6492) : 65-66.

PARTIE 2
IMPACTS D'UNE UTILISATION ACCRUE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE SUR LA BIODIVERSITÉ ET LES RESSOURCES NATURELLES (SOL, EAU)

CHAPITRE 7

CONSÉQUENCES DE L'AUGMENTATION DES PRÉLÈVEMENTS DE BIOMASSE LIGNEUSE POUR LA BIODIVERSITÉ FORESTIÈRE

Christophe Bouget, Marion Gosselin,
Frédéric Gosselin, Laurent Berges,
Cemagref Nogent-sur-Vernisson

1. Problématique et objectifs de cette contribution

La perspective d'une intensification des prélèvements de biomasse ligneuse en forêt nous conduit à nous interroger sur la **vulnérabilité de la biodiversité forestière**, et notamment sur notre capacité à identifier les **situations les plus sensibles, issues de combinaisons défavorables entre certains systèmes de production** (ou certaines de ces composantes) **et certaines conditions environnementales.**

Les principales modifications (cf. chapitre 3 et 10) des systèmes de production envisagées ici sont :

- moins de vieux peuplements, de gros et vieux arbres, et de bois mort ;
- des habitats plus fragmentés en raison, notamment, de dessertes plus denses ;
- des conditions de sol dégradées ;
- davantage de dérangement de la faune ;
- une augmentation de la surface totale des coupes ;
- une augmentation des cultures dédiées (futaie à courte révolution, taillis à courte rotation, taillis à très courte rotation), ce qui ne pose un problème pour la biodiversité forestière que si elles remplacent des forêts (cf. chapitres 8 et 9).

Les conséquences potentiellement favorables d'une intensification des systèmes de production pour la biodiversité sont également explorées.

Cette contribution est organisée autour de la réponse des compartiments de la biodiversité spécifique, aux différentes caractéristiques de l'intensification, comme le résument les tableaux 2 et 3. Elle dresse un tableau général de l'état des connaissances actuelles sur différents segments de la biodiversité forestière. Certains, comme les champignons terricoles (en particulier mycorhiziens) sont ici peu abordés car ils ont fait l'objet de peu d'études scientifiques en dépit de leur rôle dans des services écologiques importants et dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers.

Cette contribution, qui aborde l'ensemble des modes d'intensification de la production et du prélèvement de la biomasse, est complétée par deux contributions traitant spécifiquement des cultures dédiées (chapitres 8 et 9).

2. Incidences liées à une diminution de la densité des vieux peuplements et des vieux et gros arbres

L'intensification de la gestion forestière, dans ses variantes multifonctionnelle (S2) ou industrielle (S3) (chapitre 3), comporte un certain nombre d'éléments dont l'incidence qualitative est avérée – à savoir une réduction de la densité de vieux peuplements, des gros arbres et des peuplements peu ou pas gérés dans le paysage forestier –, mais dont l'intensité (et donc les impacts sur les taxons sensibles) dépendra de l'importance des évolutions listées ci-dessous et des mesures de « compensation » mises en œuvre. Les principaux moteurs de cette évolution sont :

- la réduction des durées de révolution ;
- la mobilisation accrue des bois dans des formations forestières peu exploitées au cours des dernières décennies (une fraction de la forêt privée à propriété morcelée, une partie de la forêt de montagne, publique et privée, les taillis vieillis), facilitée par l'amélioration du réseau de desserte.

2.1. Réduction des durées de révolution

La réduction des durées de révolution entraînerait une régression des stades les plus âgés, à l'échelle de paysage. Or, ces stades présentent une plus forte richesse et une composition originale par rapport aux stades moins matures pour certains groupes comme les taxons cavicoles*, saproxyliques* et épiphytes*. Ils comportent en effet des arbres vieux, gros et porteurs de signes de sénescence qui sont souvent des micro-habitats originaux à longue durée de vie (nécroses, cavités et fentes, décollements d'écorce, grosses branches mortes dans le houppier, coulées de sève, fructifications de champignons saproxyliques…) dont la densité augmente avec l'âge. Divers résultats de recherche récents confirment la très haute valeur écologique des vieux arbres. Certains groupes saproxyliques (Diptères Syrphidae [Speight et Good, 2003], Vertébrés [Berg *et al.*, 1994], flore épiphyte) dépendent surtout de **micro-habitats associés aux vieux arbres** et non disponibles sur le bois mort. Ainsi, une augmentation de la surface forestière avec très gros arbres se traduit par un accroissement de la diversité gamma* des Syrphidae (Reemer, 2005). De plus, les gros et vieux arbres, riches en micro-habitats et dotés de gros houppiers, hébergent à la fois des espèces xylophages*, saproxylophages*, cavicoles* et frondicoles* (Arpin *et al.*, 2000). On estime que **la diversité des espèces associées aux arbres augmente beaucoup après la maturité de l'arbre**, soit au double de son âge d'exploitabilité, et aux 2/3 de la longévité de l'arbre (Branquart *et al.*, 2005).

D'autres espèces dépendent aussi des stades âgés, mais à cause d'autres mécanismes, comme par exemple leur **sensibilité à la perturbation d'exploitation ou à la mise en lumière** et à leur faible **vitesse de colonisation** (Gosselin, 2004).

Cette baisse potentielle des stades et arbres âgés est à analyser au regard :

- d'une situation où les peuplements exploités sont déjà relativement pauvres en bois de gros diamètre et en chandelles (leur volume en forêt exploitée représente seulement quelques % du volume observé dans les forêts à dynamique naturelle en Finlande par ex. Sippola *et al.*, 1998) ;

- du poids de l'histoire qui pèse sur les populations de ces espèces. Les forêts françaises ont en effet été pauvres en gros bois et en bois mort dans le passé (chapitre 6), en conséquence des prélèvements intensifs de bois et de bois mort au Moyen âge et jusqu'à la fin du 19e siècle (Bartoli et Geny, 2005). En l'absence de données concrètes, on peut inférer que la **faune associée présente aujourd'hui des assemblages d'espèces appauvris ou fragilisés**, les espèces les plus sensibles étant cantonnées dans des habitats refuges et les espèces les moins exigeantes ayant survécu mais à des niveaux de population démographiquement et génétiquement fragiles. Rappelons que les phénomènes d'extinction sont lents : une espèce ne disparaît pas du jour au lendemain, et la seule présence d'une espèce n'est pas un gage du bon état (abondance, démographie, diversité génétique) de ses populations.

Ces éléments sont à mettre en regard des objectifs écologiques à assigner à la sylviculture d'aujourd'hui et de demain : écologie de la conservation au sens classique du terme ou de la restauration ?

2.2. Mobilisation de la biomasse dans les forêts peu ou pas exploitées durant les dernières décennies

La perspective d'une diminution des surfaces forestières peu ou pas exploitées depuis des décennies pose des questions relativement à l'évolution d'une partie de la biodiversité ; de nombreuses études montrent en effet une diversité plus forte de certains groupes taxonomiques (insectes et champignons du bois mort par exemple) en forêt non exploitée qu'en forêt exploitée (Gosselin, 2004 ; Paillet *et al.*, en préparation).

Les différents types de forêts non exploitées représentent un intérêt variable pour la biodiversité : par exemple, les **taillis vieillis,** riches en gaules sèches et perches mortes sur pied, ont une haute valeur écologique (cf.2.1.) de même que de nombreuses forêts de montagne non exploitées, à cycle sylvigénétique long et aux nombreux micro-habitats naturels favorables à la biodiversité (cf. ci-dessus), refuges d'espèces boréo-alpines à forte valeur patrimoniale. À l'inverse, les **peuplements non entretenus d'essences exotiques** – par exemple issus des plantations FFN – sont probablement d'un attrait plus faible pour la biodiversité.

Enfin, et plus indirectement, certains scénarios d'augmentation des prélèvements de biomasse (exemple du scénario S2, variante intensive multifonctionnelle décrite au chapitre 3) prévoient une augmentation des **pressions sur le réseau de réserves biologiques et d'îlots de vieillissement et de sénescence**, dans lesquels la production de bois mort assure soit des concentrations spatiales, soit des continuités temporelles fortes de bois mort.

Une telle évolution pourrait-elle conduire à une **politique conservatoire *a minima***, voire à une **sectorisation de la gestion forestière** ? Cette dernière option, contraire à une gestion multifonctionnelle généralisée comme promue jusqu'ici en France, nécessiterait, pour une mise en œuvre respectueuse de la biodiversité, de nombreuses données naturalistes pour définir les zones à haute valeur conservatoire, prioritaires pour la biodiversité, incluant les zones protégées, avec concentration de substrats pour le maintien de populations viables, et excluant l'exploitation de biomasse.

Dans les zones multifonctionnelles, propices au développement de l'exploitation de biomasse, il serait alors possible d'accepter un risque pour la biodiversité, qu'un système de conduite fondé sur des clauses techniques d'exploitation et des guides de bonnes pratiques (chapitre 12) pourrait limiter.

3. Incidences sur le compartiment bois mort

3.1. Modification du profil de bois mort des forêts au détriment des espèces saproxyliques

Le **bois mort constitue une source de micro-habitats originaux et variés et une ressource trophique pour les cryptogames épiphytes***, les champignons lignicoles, ainsi qu'un grand nombre d'insectes (nombreux coléoptères, diptères et hyménoptères), d'invertébrés (myriapodes, isopodes) et de vertébrés (chiroptères, pics, rongeurs). Au total, près d'une espèce forestière sur quatredépend du bois mort pour tout ou partie de leur cycle de vie (Bouget, 2007). L'essence, les caractéristiques (diamètre, degré de

décomposition), le degré d'ensoleillement et la position des bois morts (verticale, couchée) déterminent largement les espèces associées au bois mort.

Il est dès lors aisé de comprendre qu'en prélevant la biomasse forestière, le gestionnaire forestier influence fortement la disponibilité du substrat des taxons saproxyliques. Les différentes formes d'intensification (chapitre 3) de la sylviculture exercent des influences variables et plus ou moins bien connues sur le bois mort :

- le **raccourcissement des révolutions et l'exploitation des gros bois** (voir ci-après) tendent à priver l'écosystème d'une source majeure de renouvellement du bois mort. Des éclair**cies plus fréquentes ou fortes dans les stades jeunes** diminueraient, dans les stades intermédiaires, la densité de tiges de petits bois mort sur pied issus des processus naturels d'autoéclaircie*, et abritant une biodiversité originale et diversifiée (Callot, 1995 ; ONF, 2003) ;
- la tendance de fond à un recours accru à des d'**engins mécanisés** pour les travaux sylvicoles (chapitre 4) peut accroître les destructions de pièces de bois mort en cours de décomposition ;
- la **valorisation de composantes de la biomasse auparavant peu valorisées** (produits d'éclaircie, autres pièces non marchandes [purges…], souches, houppiers et arbres entiers) réduirait le volume total de bois mort et la diversité des types de bois morts (Gosselin et Bouget, 2003; Rudolphi et Gustafsson, 2005 ; Jonsell, 2007). L'augmentation des récoltes de bois-énergie modifie aussi le profil de bois mort des forêts, notamment la fraction des petits diamètres et du bois mort ensoleillé. Ainsi, dans les pessières suédoises, Allmér (2005) a estimé que 5-6 % du volume total de bois mort et 35-45 % du volume des branches étaient perdus à la suite de l'extraction des rémanents de coupe à chaque rotation.

Forme particulière de valorisation de biomasse, **l'exploitation des souches à visée énergétique** est étudiée et partiellement mise en œuvre dans les pays nordiques et est envisagée dans les Landes de Gascogne, où ces souches hébergent une biodiversité riche et originale (Brin *et al*., en préparation).

À l'inverse de ces tendances, on peut noter que l'**augmentation des surfaces exploitées** (notamment par éclaircie, coupe de taillis ou coupe d'amélioration dans les taillis-sous-futaies vieillis) devrait générer un volume important de rémanents, compensant pour partie les réductions de volume de bois mort évoquées ci-dessus.. Le délicat bilan, à l'échelle du paysage, entre réduction généralisée et phénomènes de compensation sur le volume de bois mort devrait faire l'objet de modélisations fondées sur plusieurs scénarios sylvicoles.

3.2. Petits bois morts et biodiversité saproxylique

Les effets d'une récolte accrue des bois morts de petit diamètre sur la biodiversité ont fait l'objet d'un certain nombre de travaux, pour l'essentiel en forêt boréale.

La relation entre les bois morts et la biodiversité qu'ils hébergent est assez mal connue dans les forêts némorales*. De plus, le lien entre petits bois morts (FWD*, fine woody debris < 10 cm) et biodiversité a été moins étudié que celui des débris plus grossiers (CWD, coarse woody debris, > 10 cm), probablement parce que l'enjeu économique paraissait moindre, car ils étaient traditionnellement laissés sur coupes.

Les résultats disponibles montrent que les **pièces de petit diamètre hébergent une biodiversité saproxylique** à la fois :

(1) **variée** sur le plan taxinomique : bryophytes corticoles (Kruys et Jonsson, 1999 ; Aström *et al.*, 2005), Mycètes (Norden *et al.*, 2004a,b), Coléoptères (Jonsell *et al.*, 2007 ; Nitterus *et al.*, 2004) ou Diptères (Gedminas *et al.*, 2007) saproxyliques ;

(2) numériquement **importante** : 15 % des 3600 espèces saproxyliques scandinaves déjà renseignées sont inféodées au bois de moins de 20 cm de diamètre d'après Stokland *et al.*, (2004), alors que 30 % préfèrent les bois de plus de 20 cm et que 20 % sont indifférentes au diamètre, et ;

(3) **originale** : les assemblages d'espèces diffèrent dans les bois de petit ou de gros diamètre (Hespenheide, 1976 ; Ikeda, 1987 ; Esaki, 1996 ; Araya, 1993 ; Hilt et Ammer, 1994).

On considère généralement que les FWD hébergent moins d'espèces que les CWD ; mais la littérature recèle des résultats contradictoires en fonction de l'essence (chêne, épicéa, hêtre) et surtout de l'unité de mesure utilisée pour la densité d'espèces (la richesse spécifique des Coléoptères ou des Champignons est exprimée, selon les cas, par m^3, par m^2 ou par pièce de bois) (Jonsell, 2008). A l'échelle d'une parcelle, la richesse spécifique semble plus forte pour les FWD, notamment en raison du plus grand nombre de pièces de FWD par peuplement.

Dans son étude des rémanents feuillus en Suède, Jonsell (2008), comparant les faunules* des FWD et des CWD, signale que 32 % des espèces de coléoptères saproxyliques sont significativement associés aux petites pièces. Dans le cadre d'une étude sur le chêne, nous avons montré que les petits (< 10 cm) et très petits diamètres (< 5 cm) sont aussi importants pour les populations d'espèces rares que les grosses pièces (Bouget *et al.*, données non publiées).

Enfin, il conviendra de prêter une attention particulière au fait que **les différentes essences ne subiront pas la même pression de récolte en fonction, notamment, de leur qualité en tant que combustible ou matériau et des volumes disponibles.** Le préjudice pour la biodiversité locale du prélèvement accru des rémanents est relativement plus important dans les régions à forte biodiversité, et dépend de la richesse spécifique associée aux différentes essences. En Suède par exemple, les feuillus (chêne, tilleul, tremble) hébergent un plus grand nombre d'espèces que l'épicéa. La priorité est alors accordée à la rétention des rémanents de feuillus, l'exportation des rémanents d'épicéa ayant moins d'effets négatifs (Jonsell, 2008).

3.3 Bois mort ensoleillé et biodiversité saproxylique

L'augmentation des récoltes de bois-énergie réduirait particulièrement le volume de bois mort en milieu découvert ensoleillé, occupé par des espèces saproxyliques thermophiles. Or, d'après Kouki *et al.* (2001), il s'agit d'un micro-habitat à enjeu – au moins dans le contexte scandinave –, de par sa rareté dans les forêts exploitées. Cet enjeu est néanmoins variable suivant la nature de l'essence (plutôt d'ombre ou de lumière) du bois mort avec, par exemple, davantage d'espèces de Coléoptères dans les bois morts de chêne ou de pin au soleil qu'à l'ombre (Gosselin, 2004 ; Lindhe *et al.*, 2005), et la relation inverse pour les Champignons sur épicéa (Allmér, 2005).

4. Incidences sur la flore et la faune du sol

Les modifications d'humidité, de pH, de quantité de biomasse, de rapport C/N, le tassement et la mise en lumière liés à une exportation accrue (voir tableau 3), peuvent conjointement affecter la diversité des assemblages de micro-organismes, des mycorhizes, de la faune du sol, de la flore vasculaire et des Bryophytes.

4.1. Rôle du bois mort au sol et des tas de rémanents

Le bois mort au sol contribue à la **structuration des couches superficielles du sol** (Mahendrappa et Kingston, 1994), favorise la **colonisation par les mycorhizes** (Smith *et al.*, 2002) et constitue un **réservoir d'humidité** et une protection **des semis ligneux** contre les extrêmes micro-climatiques (vent, insolation…) et les grands ongulés (Proe *et al.*, 1994 ; McInnis et Roberts, 1994). Il joue aussi un rôle d'habitat pour des espèces moins spécialisées que les organismes saproxyliques.

Les tas de rémanents représentent des abris temporaires au sol pour les **Rongeurs** (Ecke *et al.*, 2002), des aires de chasse pour les **Mammifères carnivores** (Lisgo *et al.*, 2002 et Gyug, 1994 in Bunnell *et al.*, 2002), des sites de nidification pour certains **Oiseaux** (DuPlessis, 1995) ; le maintien des rémanents a, par exemple, un effet positif sur l'abondance totale des Troglodytes (Hanowski *et al.*, 2003).

D'après un certain nombre de travaux scandinaves, l'enlèvement des rémanents d'exploitation a un effet tantôt négatif tantôt non significatif sur les Invertébrés épigés* à court et à long terme (tableau 1).

Tableau 1. Synthèse des résultats scientifiques scandinaves concernant l'effet de l'enlèvement des rémanents sur différents groupes de la faune du sol.

Groupe de la faune du sol	Variable	Echelle temporelle	Effet de l'enlèvement des rémanents	Référence
Coléoptères épigés	Richesse spécifique	Court terme	(-)	Gunnarson *et al.*, 2004
Araignées (prédateurs)	Abondance	Long terme (18 ans)	(-)	Bengtsson *et al.*, 1997
Enchytréides, Nématodes, Diptères détritivores, Collemboles	Abondance		ns	
Coléoptères Carabidae (prédateurs)	Abondance	Court terme	(-)	Nitterus *et al.*, 2007
Araignées Lycosides (prédateurs)	Abondance		ns	

Le bois mort au sol a aussi un effet structurant sur la flore, par des mécanismes physiques et géochimiques (Olsson et Staaf, 1995 ; Brakenhielm et Liu, 1998). Ainsi, le **maintien des rémanents est généralement favorable à la richesse floristique**, notamment aux Bryophytes forestières pour lesquelles il joue le rôle de refuges dans les coupes (Aström *et al.*, 2005), mais **défavorable à la richesse de la flore vasculaire*** (Deconchat et Balent, 2001 ; Thuault, 2003). Par leur effet mulch*, les rémanents freinent la propagation de l'ensemble des herbacées, y compris des herbacées concurrentes ; mais cet effet diminue rapidement à mesure que le recouvrement des rémanents s'amoindrit et leur décomposition progressive favorise à moyen terme (une décennie) les espèces nitrophiles, dont certaines sont dominantes et très couvrantes (Fougère aigle, Épilobe en épis, Ronce, Callune ou Canche flexueuse…).

4.2. Tassement des sols

L'élévation de la fréquence des interventions et de la mécanisation adaptée aux récoltes intensives fait partie des scénarios d'intensification de la gestion forestière (chapitres 3 et 4). S'ajouterait parfois la réduction de la protection physique du tapis de bois mort de surface consécutive à l'enlèvement des rémanents.

À l'inverse, le développement de la desserte pourrait réduire les distances de débardage et donc la circulation des engins à l'intérieur des peuplements.

La circulation des engins affecte l'état de surface des aires de coupe et tasse les sols. En fonction de l'humidité du sol, de l'intensité et de la profondeur du tassement, des modifications à court et moyen terme sont observées sur la flore et la faune du sol (Deconchat, 1999), mais les effets cumulatifs à long terme demeurent mal connus. **Le tassement des sols affecte peu le nombre d'espèces, mais change la répartition d'abondance entre les espèces**, certaines espèces très recouvrantes et/ou adaptées à l'hypoxie pouvant être favorisées, d'autres étant à l'inverse sensibles au tassement (Godefroid et Koedam, 2004). Ces effets peuvent se prolonger à plusieurs décennies en cas de tassements forts ou d'orniérages profonds en terrains humides.

De manière plus globale et fonctionnelle, l'acidification (Baath *et al.*, 1980), la réduction d'apport de litière (liée aux récoltes arbres-entiers par ex.) (Ponge *et al.*, 1993), la compaction du sol (Radford *et al.*, 2001) affectent la faune du sol et l'activité biologique des décomposeurs, donc indirectement la vitesse de minéralisation de la matière organique et la fertilité des sols forestiers. Pour la diversité floristique, il est difficile de distinguer l'impact de la mise en lumière de celui des contraintes appliquées au sol.

4.3. Mise en lumière du sol

Une baisse significative du capital sur pied est de plus en plus préconisée (chapitre 3), notamment pour diminuer certains risques (tempêtes, sécheresse, problèmes sanitaires). Une augmentation de la lumière au sol devrait affecter négativement certains taxons plutôt ombrophiles (mousses, certains champignons,

certains carabes forestiers, mollusques Gastéropodes [Pilate, 2003], Diptères humicoles…) et positivement des taxons forestiers plus héliophiles (flore vasculaire – cf.ci-dessous). On manque néanmoins de recul concernant l'effet à long terme sur la biodiversité de peuplements à faible capital sur pied et « toujours entrouverts ».

5. Dérangement de la faune

Le dérangement de la faune est évidemment corrélé à la fréquence et à l'intensité des interventions et des passages, à la surface parcourue par les engins et au calendrier des travaux par rapport au calendrier de reproduction et de nidification de la faune sauvage. Par exemple, le travail de nuit des engins lourds pourrait ainsi perturber les espèces à activité nocturne, pour l'instant assez épargnées.

La facilitation de la pénétration des massifs forestiers par l'homme à la faveur du développement de la desserte représente également une pression potentielle.

6. Fragmentation des habitats

L'intensification de la récolte sous ses différentes formes – réduction de la densité de vieux peuplements et de bois mort, augmentation de la densité de coupes, densification de la desserte forestière en vue d'améliorer l'exploitabilité des peuplements – pourrait conduire à une fragmentation accrue des habitats.

Par fragmentation, on entend i/ l'augmentation de la distance entre deux taches d'habitat favorable pour certaines espèces (par ex. pour les espèces cavicoles* ou saproxyliques*) et ii/ la réduction des surfaces de milieu intérieur forestier dépourvues d'effet de lisière.

De façon générale, la relation entre la persistance des espèces forestières et la densité d'habitat favorable est difficile à caractériser par des seuils précis (Villard *et al.*, 1999). On trouve toutefois des exemples de tels seuils dans la littérature ; ainsi, Wegge et Rolstad (1986) ont évalué que le grand tétras disparaissait dans les paysages où la proportion de vieilles forêts descend sous 30 %, ce seuil étant de 20 % sur 200 ha pour le pic tridactyle d'après Wiktander *et al.* (2001).

La création d'un maillage plus dense de routes forestières pourrait induire des « effets barrière » et « puits », en entraînant une réduction des flux d'individus et une surmortalité significative de certaines espèces animales (Gucinskli *et al.*, 2000). Ainsi, Duelli *et al.* (1990) ont établi qu'un chemin empierré de 6 m de large réduisait très fortement les flux individuels d'arthropodes. Les routes, par l'activité forestière qu'elles entraînent, pourraient également avoir une incidence sensible sur l'avifaune, en favorisant la diversité et l'abondance des oiseaux généralistes/ubiquistes de forêts gérées ou de lisières et en défavorisant la diversité des oiseaux cavicoles ou des oiseaux préférant les vieilles forêts, comme l'ont montré Jokimaki et Huhta (1996) en Finlande.

Enfin, **le réseau routier pourrait faciliter l'expansion de la quinzaine de plantes exotiques déjà envahissantes en forêt**, en synergie avec la fréquence accrue des perturbations (Flory et Clay, 2006).

La fréquence et l'intensité des interventions pourraient menacer l'intégrité des **milieux humides intra-forestiers** (mardelles, marais…) et des **tourbières**, dont l'exploitation elle-même pourrait être réhabilitée. Or, ces milieux abritent une biodiversité riche et originale (macrophytes, batraciens, odonates et autres insectes aquatiques).

7. Les situations dans lesquelles l'intensification des prélèvements est favorable à la biodiversité

L'augmentation des coupes, dans le temps et dans l'espace, devrait être favorable à certains groupes écologiques (Bergès, 2004). Ainsi, des coupes de taillis régulières, rapprochées dans le temps et dans l'espace, sont favorables à la diversité des Papillons diurnes forestiers (Fuller et Warren, 1993). Schiess et Schiess-Bühler (1997) ont décrit en Suisse une baisse de 40 % du nombre d'espèces de Rhopalocères durant les 70 dernières années, en raison de l'abandon du taillis bas et de l'assombrissement des conditions en forêt.

D'autres taxons forestiers plutôt héliophiles, comme d'autres Invertébrés (Spitzer *et al.*, 2008) et la flore vasculaire, pourraient profiter en moyenne de ces évolutions sylvicoles, à condition que les impacts de tassement (chapitre 10) restent modérés.

De façon générale, il s'agit cependant de taxons distincts des groupes à enjeux mentionnés dans le chapitre 6. Rappelons néanmoins le cas de figure cité plus haut, dans lequel l'augmentation des rémanents consécutive à l'augmentation des coupes dépasserait l'accroissement du prélèvement des rémanents, générant une augmentation du volume de bois mort d'origine anthropique qui pourrait bénéficier à certains groupes saproxyliques.

Parmi les effets positifs, on peut encore citer **la contribution des milieux ouverts intra-forestiers à la conservation de la diversité régionale à l'échelle d'un territoire :**, le maintien d'espèces de milieu ouvert dans les coupes ou les clairières peut en effet relever d'un intérêt conservatoire, puisque leurs habitats se dégradent hors forêt (chapitre 13). Mais ce rôle de la forêt comme « refuge » pour les espèces de milieux ouverts reste matière à débat. Peterken et Francis (1999) ont ainsi avancé que les forêts pourraient être des refuges intéressants pour une partie de la flore régionale de milieux ouverts, pas pour les espèces les plus rares inféodées aux pelouses semi-naturelles, aux landes ou aux zones humides, mais pour celles de prairies et de lisières, dont le caractère commun est affecté dans le paysage agricole intensif par le drainage, la fertilisation et les herbicides. Globalement, les inventaires menés sur quelques massifs en Angleterre ont montré que 2/3 de la flore étaient composés d'espèces de milieux ouverts (Fuller et Warren, 1993 ; Peterken et Francis, 1999). Cette idée de forêt-refuge a également été proposée pour les Coléoptères Carabidae de milieu ouvert en Grande-Bretagne (Poole *et al.*, 2003). Dans le même sens, l'étude de Du Bus de Warnaffe (2002) en Belgique souligne que les grandes coupes (plus de deux hectares) abritent un nombre important d'oiseaux en régression au niveau du territoire, la plupart étant des espèces des landes, friches et prairies de fauche extensive, milieux en raréfaction (Delvaux, 1998).

8. Besoins de recherche

De nombreuses recherches seraient nécessaires pour améliorer le niveau de connaissance sur les impacts d'une gestion forestière dynamisée ; les suivantes nous semblent être les plus opportunes dans le contexte scientifique et politique actuel :

- améliorer la **connaissance de plusieurs aspects de la biodiversité** : préférences discriminantes des organismes saproxyliques vis-à-vis des différents types de bois mort et de la valeur écologique des types de bois (notamment des différentes essences) pour mieux évaluer le préjudice pour la biodiversité du prélèvement accru de certains types de bois, en interaction avec certaines variables stationnelles et historiques (ancienneté de l'état boisé notamment) ; valeur écologique relative des vieux peuplements pour la biodiversité ; biodiversité des sols forestiers, et de ses liens avec le fonctionnement de ce compartiment ;
- améliorer et tester les **indicateurs existants de forêts anciennes*** (couvert forestier ancien) et âgées ou vieillies (non exploitées depuis longtemps), en dépassant le strict cadre des forêts régulières, en élargissant aux arbres sénescents (Hamza *et al*., 2007) et en utilisant par exemple des relevés de souche (Rouvinen et Kouki, 2008) ;
- **analyse prospective territoriale/régionale de l'impact de différents scenarios sylvicoles potentiels sur la composition du paysage forestier** (proportion de parcelles non exploitées, densité de vieux peuplements, densité de coupes, distribution du bois mort). Le délicat bilan, à l'échelle du paysage, entre réduction généralisée et phénomènes de compensation sur le volume de bois mort devrait faire l'objet de modélisations fondées sur plusieurs scénarios sylvicoles ;
- enfin, il faudrait mener une réflexion sur l'articulation de ces besoins avec le projet de **trame verte et bleue** portée par le Grenelle de l'Environnement.

Tableau 2. Principales modifications des caractéristiques des écosystèmes forestiers en réponse aux pratiques de gestion des forêts pour la production intensive de biomasse, à l'échelle du peuplement.

(↗ : accroissement, ↘ : réduction). Certains aspects ne sont pas abordés ici (fréquence des essences…)

*Pour lire ce tableau : **en colonnes** les compartiments ou caractéristiques des écosystèmes forestiers, **en lignes** les pratiques sylvicoles, **dans les cellules** le bilan des effets attendus des tendances sur les caractéristiques des écosystèmes forestiers.*

Compartiments /caractéristiques des écosystèmes forestiers / **Tendances sylvicoles potentielles**	**Volume de bois mort**	**Densité des vieux peuplements et des vieux et gros arbres**	**Fragmentation des milieux forestiers**	**Conditions de sol (tassement, organo-minéralomasse…)**	**Ambiance forestière (ombrage, amplitude thermique...)**
1) Exploitation de nouvelles ressources					
Exploitation de peuplements abandonnés[1] ou peu ou pas exploités par classement **↳ Augmentation des surfaces exploitées**	↗ rémanents, ↘ source de renouvellement naturel de bois mort Résultat incertain	↘	↗ de la distance inter-habitats saproxyliques et cavicoles ↗ de l'effet de lisière ↘ de la taille des habitats homogènes et de la proportion de forêts âgées dans le paysage		↘ (à cause de l'effet de lisière)
Augmentation de la récolte des houppiers, arbres-entiers et rémanents	↘		↗ de la distance inter-habitats saproxyliques	↘ apports d'organo-minéralomasse ↘ protection physique du tapis de BM	
Exploitation des souches	↘			Déstructuration des sols et ↘ des apports d'organo-minéralomasse	

Compartiments /caractéristiques des écosystèmes forestiers / Tendances sylvicoles potentielles	Volume de bois mort	Densité des vieux peuplements et des vieux et gros arbres	Fragmentation des milieux forestiers	Conditions de sol (tassement, organo-minéralomasse…)	Ambiance forestière (ombrage, amplitude thermique...)
2) Intensification de l'exploitation des ressources déjà exploitées					
Raccourcissement des cycles, exploitation des gros bois	↘ source de renouvellement naturel de bois mort	↘			
Éclaircies plus fréquentes et/ou plus intenses	↗ rémanents, ↘ perches mortes			↗ tassement	↘
3) Moyens mis en œuvre					
Développement du réseau de desserte forestière			effet barrière et effet puits : ↘ flux et ↗ fragmentation des populations	↘ distance de débardage et ↘ de la surface parcourue par les engins	↘ (à cause de l'effet de lisière)
Développement de la mécanisation				↗ tassement (à moduler selon l'opération, l'opérateur et le matériel)	
Politique *a minima* pour réserves biologiques et îlots de vieux bois (par rapport aux objectifs initiaux)	↘ source de renouvellement naturel de bois mort	↘			

1. *Il s'agit notamment de la forêt privée morcelée, des vieux peuplements, des taillis vieillis, des forêts de montagne (en raison d'une meilleure desserte (voir texte et chapitre 3)*

Tableau 3. Réponse des groupes d'espèces aux changements dans les écosystèmes forestiers liés aux pratiques de gestion des forêts pour la production intensive de biomasse (tableau 2), à l'échelle du peuplement.

(**+** effet positif sur la biodiversité, **-**, **--**, **---**, effets peu, moyennement ou très négatifs sur la biodiversité,. = non concerné)

*Pour lire ce tableau : **en colonnes** les compartiments ou caractéristiques des écosystèmes forestiers, **en lignes** les réponses potentielles de plusieurs segments de la biodiversité, **dans les cellules** le bilan des effets attendus.*

Impacts négatifs attendus sur l'écosystème forestier vu en tant qu'habitat pour les espèces qu'il abrite / **Groupes d'espèces abrités**	**Baisse du volume de bois mort**	**Baisse de la densité des vieux peuplements et des vieux et gros arbres**	**Fragmentation des habitats**	**Altération des conditions de sol (tassement, organo-minéralomasse…)**	**Altération de l'ambiance forestière (ombrage, amplitude thermique...)**
Espèces associées aux vieux arbres (cavicoles…)	.	---	.	.	+/-
Espèces associées au bois mort	---	-(-)	-	.	+/-
Espèces forestières d'intérieur (Gastéropodes, certains Mycètes et Insectes)	.	.	--	-	-
Bryophytes et Mycètes terricoles, mycorhizes, faune du sol	.	.	(?)	--	--
Flore vasculaire, espèces animales de milieu ouvert (certains Oiseaux, certains Insectes, floricoles…)	.	(?)	+ (?) Refuges pour espèces en régression dans les milieux ouverts extra-forestiers intensifs (agrosystèmes…)	+/-	+
Espèces forestières à grand rayon d'action (territoire, domaine vital…)	.	.	-	.	.
Espèces des zones humides	.	.	(?)	(?)	(?)

9. Références bibliographiques

Allmér J., 2005. *Fungal communities in branch litter of Norway Spruce : dead wood dynamics, species detection and substrate preferences*. PhD thesis. Uppsala (Sweden), Swedish University of Agricultural Sciences, 29 p.

Araya K., 1993. Relationship between the decay types of dead wood and occurrence of lucanid beetles (Coleoptera: Lucanidae). *Applied Entomology and Zoology*, 28 (1) : 27-33.

Arpin P., Betsch J., Ponge J., Vannier G., Blandin P., Dajoz R., Luce J., 2000. *Les invertébrés dans l'écosystème forestier : expression, fonction, gestion de la diversité*. Paris, Office national des forêts, 224 p.

Aström M., Dynesius M., Hylander K., Nilsson C., 2005. Effects of slash harvest on bryophytes and vascular plants in southern boreal forest clear-cuts. *Journal of Applied Ecology,* 42 (6) : 1194-1202.

Bååth E., Berg B., Lohm U., Lundgren B., Lundkvist H., Rosswall T., Söderström B., Wiren A., 1980. Effects of experimental acidification and liming on soil organisms and decomposition in a Scots pine forest. *Pedobiologia*, (20) : 85–100.

Bartoli M., Gény B., 2005. Il était une fois… le bois mort dans les forêts françaises. *Revue forestière française,* 57 (5) : 443-456.

Bengtsson J., Persson T., Lundkvist H., 1997. Long-term effects of logging residue addition and removal on macroarthropods and enchytraeids. *Journal of Applied Ecology*, 34 (4) : 1014-1022.

Berg A., Ehnstrom B., Gustafsson L., Hallingback T., Jonsell M., Weslien J., 1994. Threatened plant, animal, and fungus species in Swedish forests: distribution and habitat associations. *Conservation Biology,* 8 (3) : 718-731.

Bergès L., 2004. Rôle des coupes, de la stratification verticale et du mode de traitement sur la biodiversité. *In* Gosselin M., Laroussinie O. (Eds.), *Gestion forestière et biodiversité : connaître pour préserver. Synthèse bibliographique*. Antony, Cemagref, 149-215.

Bouget C., 2007. Enjeux du bois mort pour la conservation de la biodiversité et la gestion des forêts. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, (16) : 55-59.

Brakenhielm S., Liu Q., 1998. Long-term effects of clear-felling on vegetation dynamics and species diversity in a boreal pine forest. *Biodiversity and Conservation*, 7 (2) : 207-220.

Branquart, E., Vandekerkhove, K., Bourland, N., Lecomte, H. 2005. Les arbres surâgés et le bois mort dans les forêts de Flandre et du Grand Duché de Luxembourg. *In* Vallauri *et al.* (eds). Bois mort et à cavités, une clef pour des forêts vivantes, Lavoisier, Paris, pp 19-28

Bunnell F., Boyland M., Wind E., 2002. How should we spatially distribute dying and dead wood. *In* Laudenslayer W., Shea P. *et al.* (Eds.), *Ecology and management of dead wood in western forests*. Reno (Nevada, USA), USDA Forest Service, 739-752.

Callot H., 1995. Coléoptères des branchages et tiges mortes de taillis. Essai d'inventaire pour l'Alsace. *Bulletin de la société entomologique de Mulhouse*. (janvier-mars 1995) : 1-10.

Deconchat M., Baient G., 2001. Effets des perturbations du sol et de la mise en lumière occasionnées par l'exploitation forestière sur la flore à une échelle fine. *Annals of forest science,* 58 (3) : 315-328.

Deconchat M., 1999. *Exploitation forestière et biodiversité : exemple dans les forêts fragmentées des coteaux de Gascogne*. Thèse de doctorat. Toulouse (France), Université Paul Sabatier III, 191 p.

Delvaux A., 1998. Espèces sensibles cherchent mise à blanc d'accueil. *Forêt wallonne,* (34) : 11-17.

Du Bus de Warnaffe G., 2002. *Impact des systèmes sylvicoles sur la biodiversité : une approche comparative en Ardenne. Réaction de la flore vasculaire, des coléoptères carabidés et de l'avifaune chanteuse à la structure de l'habitat forestier, à plusieurs échelles spatiales.* Thèse de doctorat. Louvain-la-Neuve (Belgique), Université Catholique de Louvain, Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale, 132 p.

Du Plessis M. A., 1995. The effects of fuelwood removal on the diversity of some cavity-using birds and mammals in South Africa. *Biological Conservation*, 74 (2) : 77-82.

Duelli P., Studer M., Marchand I., Jacob S., 1990. Population movements of arthropods between natural and cultivated areas. *Biological Conservation,* 54 (3) : 193-207.

Ecke F., Lofgren O., Sorlin D., 2002. Population dynamics of small mammals in relation to forest age and structural habitat factors in northern Sweden. *Journal of Applied Ecology,* 39 (5) : 781-792.

Esaki K., 1996. Emergence patterns and host wood diameter preference of seven cerambycid beetle species emerging from Pinus parviflora dead branches. *Elytra*, 24 : 383-387.

Flory, S.L., Clay, K., 2006. Invasive shrub distribution varies with distance to roads and stand age in eastern deciduous forests in Indiana, USA. *Plant Ecology* 184, 131-141.

Fuller R. J., Warren M. S., 1993. *Coppiced woodlands : their management for wildlife*. Peterborough (UK), Nature Conservancy Council, 34 p.

Gedminas A., Lynikiene J., Zeniauskas R., 2007. Cambio-xylofauna abundance and species diversity of cutting residues in Scots pine and Norway spruce clear-cuts in Lithuania. *Biomass and Bioenergy*, (31) : 733-738.

Godefroid S., Koedam N., 2004. Interspecific variation in soil compaction sensitivity among forest floor species. *Biological Conservation*, 119 (2) : 207-217.

Gosselin, F. (2004). Imiter la nature, hâter son œuvre ? Quelques réflexions sur les éléments et stades tronqués par la sylviculture. In *Gestion Forestière et Biodiversité : connaître pour préserver - synthèse bibliographique*, Gosselin, M. and Laroussinie, O. (eds), pp.217-256. Antony: Coédition GIP Ecofor - Cemagref Editions.

Gosselin F., Bouget C., 2003. L'évolution des pratiques d'exploitation forestière pourrait bénéficier à « la » biodiversité : réflexions scientifiques autour du guide de reconstitution de l'ONF, suite à la tempête. *Ingénieries*, (35) : 61-73.

Gucinski, H., Furniss, M.J., Ziemer, R.R., Brookes, M.H., 2000. Forest roads. A synthesis of scientific information : United States Department of Agriculture, Forest Service Report, 117 p.

Gunnarsson B., Nitterus K., Wirdenas P., 2004. Effects of logging residue removal on ground-active beetles in temperate forests. *Forest Ecology and Management,* 201 (2-3) : 229-239.

Hamza N., Boureau J.-G., Cluzeau C., Dupouey J.-L., Gosselin F., Gosselin M., Julliard R., Vallauri D., 2007. Evaluation des indicateurs nationaux de biodiversité forestière. Rapport de convention de recherche avec le GIP Ecofor. Nogent-sur-Vernisson, Inventaire forestier national, 108 p.

Hanowski J., Danz N., Lind J., Niemi G., 2003. Breeding bird response to riparian forest harvest and harvest equipment. *Forest Ecology and Management*, 174 (1-3) : 315-328.

Hespenheide H., 1976. Patterns in the use of single plant hosts by wood-boring beetles. *Oïkos*, (27) : 61-64.

Hilt M., Ammer U., 1994. Beetles inhabiting dead wood in managed forest – comparison of spruce and oak. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 113 (3-4) : 245-255.

Ikeda K., 1987. Distribution and habitat segregation of Japanese Platycerus species (Lucanidae). *In* Kimoto S., Takeda H. (Eds), *Insect community in Japan*. Tokyo (Japon), Tokai University Press, 93-101.

Jokimaki J., Huhta E., 1996. Effects of landscape matrix and habitat structure on a bird community in northern Finland : A multi-scale approach. *Ornis Fennica,* 73 (3) : 97-113.

Jonsell M., Hansson J., Wedmo L., 2007. Diversity of saproxylic beetle species in logging residues in Sweden - Comparisons between tree species and diameters. *Biological Conservation*, 138 (1-2) : 89-99.

Jonsell, M. (2007). Effects on biodiversity of forest fuel extraction, governed by processes working on a large scale. *Biomass and Bioenergy,* 31 (10) : 726-732.

Jonsell M., 2008. The effect of biofuel harvest on biodiversity. In : Röser D., Asikainen A. Raulund-Rasmussen K., Møller I. S. (eds.), *Sustainable use of wood for energy-a synthesis with focus on the Nordic-Baltic region*. Berlin (All.), Springer, 129-154.

Kouki J., Lofman S., Martikainen P., Rouvinen S., Uotila A., 2001. Forest fragmentation in Fennoscandia : Linking habitat requirements of wood-associated threatened species to landscape and habitat changes. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16 (supplément 3) : 27-37.

Kruys N., Jonsson B. G., (1999). Fine woody debris is important for species richness on logs in managed boreal spruce forests of northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research – Revue canadienne de recherche forestiere,* 29 (8) : 1295-1299.

Lindhe A., Lindelow A., Asenblad N., 2005. Saproxylic beetles in standing dead wood density in relation to substrate sun-exposure and diameter. *Biodiversity and Conservation*, 14 (12) : 3033-3053.

Mahendrappa M. K., Kingston D. G. O., 1994. Intensive harvest impacts on soil temperature and solution chemistry in the maritime region of Canada. *New Zealand Journal of Forest Science,* 24 : 402-414.

McInnis B. G., Roberts M. R., 1994. The effects of full-tree and tree-length harvest on natural regeneration. *Northern Journal of applied forestry,* 11 : 131-137.

Nitterus K., Gunnarsson B., Axelsson E., 2004. Insects reared from logging residue on clear-cuts. *Entomologica Fennica,* 15 : 53-61.

Nitterus K., Aström M., Gunnarsson B., 2007. Commercial harvest of logging residue in clear-cuts affects the diversity and community composition of ground beetles (Coleoptera : Carabidae). *Scandinavian Journal of Forest Research,* 22 (3) : 231-240.

Norden B., Gotmark F., Tonnberg M, Ryberg M., 2004. Dead wood in semi-natural temperate broadleaved woodland : contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps. *Forest Ecology and Management,* 194 (1-3) : 235-248.

Norden B., Ryberg M., Gotmark F., Olausson B., 2004. Relative importance of coarse and fine woody debris for the diversity of wood-inhabiting fungi in temperate broad-leaf forests. *Biological Conservation*, 117 (1) : 1-10.

Office National des Forêts, Conservatoire des Sites Naturels Bourguignons, 2003. L'arbre *autrement*. Fiches techniques, Programme Life Nature « Forêts et habitats associés de la Bourgogne Calcaire ».

Olsson B. A., Staaf H., 1995. Influence of harvesting intensity of logging residues on ground vegetation in coniferous forests. *Journal of Applied Ecology*, 32 (3) : 640-654.

Peterken G. F., Francis J. L., 1999. Open spaces as habitats for vascular ground flora species in the woods of central Lincolnshire, UK. *Biological Conservation*, 91 (1) : 55-72.

Pilate D., 2003. Terrestrial Molluscs as Indicator Species of Natural Forests. Biodiversity and Conservation of Boreal Nature. Proceedings of the 10 Years Anniversary Symposium of the Nature Reserve Friendship, Vantaa (Finlande), 216–220.

Ponge J.-F., Arpin P., Vannier G., 1993. Collembolan response to experimental perturbations of litter supply in a temperate forest ecosystem. *European Journal of Soil Biology*, 29 (3-4) : 141-153.

Poole A., Gormally M., Sheehy Skeffington M., 2003. The flora and carabid beetle fauna of a mature and regenerating semi-natural oak woodland in south-east Ireland. *Forest Ecology and Management,* 177 (1) : 207-220.

Proe M. F., Dutch J., Griffiths J., 1994. Harvest residue effects on micro-climate, nutrition, and early growth of Sitka spruce (Picea sitchensis) seedlings on a restock site. *New Zealand Journal of Forest Science*, 24 : 390-401.

Radford B. J., Wilson-Rummenie A. C., Simpson G. B., Bell K. L., Ferguson M. A., 2001. Compacted soil affects soil macrofauna populations in a semi-arid environment in central Queensland. Soil Biology and Biochemistry, 33 (12-13) : 1869–1872.

Reemer M., 2005. Saproxylic hoverflies benefit by modern forest management (Diptera : Syrphidae). *Journal of Insect Conservation*, 9 (1) : 49-59.

Rouvinen S., Kouki J., 2008. The natural northern European boreal forests : unifying the concepts, terminologies, and their application. *Silva Fennica*, 42 (1) : 135-146.

Rudolphi J., Gustafsson L., 2005. Effects of forest-fuel harvesting on the amount of deadwood on clear-cuts. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20 (3) : 235-242.

Schiess H., Schiess-Bühler C., 1997. Dominanzminderung als ökologisches Prinzip : eine Neubewertung der ursprünglichen Waldnutzungen für den Arten- und Biotopschutz am Beispiel der Tagfalterfauna eines Auenwaldes in der Nordschweiz. *Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft,* 72 (1) : 3-127.

Sippola A., Siitonen J., Kallio R., 1998. Amount and quality of coarse woody debris in natural and managed coniferous forests near the timberline in Finnish lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13 (2) : 204-214.

Smith J. E., Molina R., Huso M., Luoma D., McKay D., Castellano M., Lebel T., Valachovic Y., 2002. Species richness, abundance, and composition of hypogeous and epigeous ectomycorrhizal fungal sporocarps in young, rotation-age, and old-growth stands of Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii) in the Cascade Range of Oregon, U.S.A. *Canadian Journal of Botany*, 80 (2) : 186–200.

Speight M.C.D., Good J.A., 2003. Development of eco-friendly forestry practices in Europe and the maintenance of saproxylic biodiversity. *Workshop « Dead Wood : a key to biodiversity »*. Mantova (Italie), 29-31 May 2003.

Spitzer L., Konvicka M., Benes J., Tropek R., Tuf I., Tufova J., 2008. Does closure of traditionally managed open woodlands threaten epigeic invertebrates ? Effects of coppicing and high deer densities. *Biological Conservation,* 141 (3) : 827-837.

Stokland J., Tomter S., Söderberg U., 2004. Development of dead wood indicators for biodiversity monitoring : experiences from Scandinavia. *In* Marchetti M. (Eds), *Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe - From ideas to operationality*. Joensuu (Finlande), EFI Proceedings 51, 207-226.

Thuault F., 2003. Réponse à court terme de la biodiversité floristique à l'échelle des micro-habitats dans les trouées de chablis en Brie Francilienne (77). Rapport de stage, INA-PG, Cemagref, Nogent-sur-Vernisson, 93 p.

Tilman D., May R. M., Lehman C. L., Nowak M. A., 1994. Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 371 (6492) : 65-66.

Villard M. A., Trzcinski M. K., Merriam G., 1999. Fragmentation effects on forest birds : Relative influence of woodland cover and configuration on landscape occupancy. *Conservation Biology*, 13 (4) : 774-783.

Wegge P., Rolstad J., 1986. The spacing of capercaillie leaks in relation to habitat and social organization. *Behavior Ecology Sociobiology*, 19 : 401-408.

Wiktander U., Olsson O., Nilsson S., 2001. Seasonal variation in home range size, and habitat area requirement of the lesser spotted wood pecker Dendrocopos minor. *Biology. Conservation*, 100 (3) : 387-395.

CHAPITRE 8

IMPACTS DE LA PRODUCTION INTENSIVE DE BIOMASSE SUR LA BIODIVERSITÉ DANS LES FORETS DE PLANTATIONS – L'EXEMPLE DES FUTAIES A COURTE RÉVOLUTION DE PIN MARITIME

Hervé Jactel et Luc Barbaro, INRA Bordeaux

1. Contexte

Les forêts de plantations sont définies comme des forêts établies par semis ou plantation d'essences indigènes ou exotiques pour le boisement ou le reboisement (FAO, 2006). Elles sont en général caractérisées par des peuplements purs, équiennes, de structure régulière.

En France métropolitaine, les forêts de plantation représentent de l'ordre de 2 millions d'ha, soit 13 % de la surface forestière, et sont en augmentation de 0,5 % par an (0,4 % pour les résineux, 1,3 % pour les feuillus) (Indicateur 4.3 - MAP, 2006), soit un rythme de croissance sensiblement similaire à la forêt dans son ensemble. Sur la période 1984-1996, les inventaires de l'IFN montre que les boisements par plantation couvrent 16 % des nouvelles surfaces forestières et les données plus récentes de l'enquête Teruti du SCEES affichent la valeur de 13 % pour la période 1992-2002. **La dynamique d'extension de la forêt française reste** donc **plus le fait d'une colonisation naturelle des landes et friches que de plantations**.

Au niveau mondial, par contre, la surface des **forêts de plantation** est en constante augmentation avec un rythme de +2 % par an, soit +25 % depuis 1990 (FAO, 2007). Ce type de forêt produisait déjà **30 % de la**

ressource en bois au niveau mondial en 2000 et atteindra bientôt les 50 %. Jusqu'ici, leur expansion semble s'effectuer essentiellement sur d'anciennes terres agricoles et non au détriment d'autres types de forêts (hors exception notamment en Asie du Sud-Est). En fournissant un volume accru de biomasse à la filière forêt – bois, les forêts de plantation permettraient donc de limiter les prélèvements dans les forêts primaires* ou subnaturelles* et donc leur exploitation, contribuant ainsi de façon indirecte à la protection de la biodiversité des forêts naturelles. Il n'est pas certain, toutefois, que cette tendance vertueuse pour la biodiversité pourra persister à l'avenir, en raison notamment d'une plus forte tension sur les terres arables disponibles pour satisfaire aux besoins de l'alimentation. En France également, certains scénarios se basent sur une concurrence accrue entre forêt et agriculture à l'avenir (Bertin *et al*., 2008 ; chapitre 16).

Un nombre croissant d'études et de publications scientifiques montrent que **les forêts de plantation ne peuvent être considérées comme des « déserts biologiques »** mais qu'elles constituent bien des habitats potentiels pour un grand nombre d'espèces, y compris des espèces forestières. Par ailleurs, elles semblent pouvoir jouer un rôle important de complémentarité et de connectivité du couvert forestier à l'échelle du paysage (Brockerhoff *et al.,* 2008).

Les références scientifiques qui traitent des relations entre biodiversité et production intensive de biomasse dans les forêts de plantation sont très peu nombreuses (Perttu, 1995 ; Berndes *et al.,* 2003 ; Carneiro *et al.,* 2007). C'est pourquoi la prédiction des effets de la production intensive de biomasse sur la biodiversité des forêts de plantations ne peut être, pour l'instant, que spéculative. Si elle offre un cadre de réflexion utile pour évaluer les risques d'une telle gestion, il faut garder à l'esprit qu'elle souffre d'un manque de validation empirique ou expérimentale.

2. Le cas de la futaie à courte révolution des Landes de Gascogne : cadre conceptuel et itinéraire technique

L'approche théorique que nous proposons repose sur l'hypothèse que l'état actuel et la dynamique de la biodiversité des forêts sont contrôlés par des facteurs clés dont certains dépendent du mode de gestion (Larrson, 2001). Ces facteurs correspondent :

- à la structure, liée aux caractéristiques physiques des forêts ;
- à leur composition, notamment en espèces arborées ;
- à leur fonctionnement, via les perturbations naturelles ou anthropiques, y compris l'héritage de pratiques ou d'usages passés.

Compte tenu de l'importance des processus spatiaux dans la dynamique des espèces, ces facteurs clés sont souvent analysés à deux échelles, celle du peuplement et celle du paysage. Les publications scientifiques sur les relations entre biodiversité et structure, composition ou gestion des forêts de plantation, à différentes échelles spatiales et temporelles, sont par contre nombreuses, conduisant même à des recommandations aux gestionnaires (Hartley, 2002 ; Brockerhoff *et al.*, 2008). Connaissant ces liens, il devient alors possible d'évaluer les conséquences pour la biodiversité d'un écart par rapport à la gestion optimale et cette méthode peut également s'appliquer à la gestion pour la **production intensive de biomasse**. Pour analyser les conséquences de ce type de production sur la biodiversité, il faut en premier lieu déterminer les principaux éléments d'un tel itinéraire technique, qui reste hypothétique et peut être considéré comme extrême (figure 1).

Dans cet exercice sur les forêts de plantations de pin maritime dans les Landes de Gascogne (plus importante forêt de plantation d'Europe, première région en France pour la production forestière), nous avons retenu les cinq éléments suivants dans l'ordre chronologique qui définissent la « **futaie à courte révolution** » :

- un choix du site de plantation privilégiant les **stations les plus fertiles** et une **préparation du site** combinant désherbage chimique ou mécanique, labour et fertilisation (souvent P, parfois N, P, K) à dose élevée ;

- un mode de régénération par **plantation initiale à forte densité** (de l'ordre du double des densités actuellement pratiquées en futaie soit 2500 t/ha par exemple pour la Forêt des Landes de Gascogne) conduisant à des peuplements purs et équiennes ;
- un **nombre restreint de dépressages et d'éclaircies** (1 à 3, soit environ la moitié du nombre habituel) de forte intensité ;
- une récolte par **coupe rase** à l'issue d'une rotation raccourcie à la moitié de l'âge d'exploitabilité habituel, soit de l'ordre de 20 ans pour les plantations de pin maritime des Landes ;
- une **exportation maximale de biomasse** incluant les troncs et les branches, au moment des éclaircies et de la coupe finale, mais aussi, dans certains cas, les souches (pour les différents types de bois-énergie : bûches, granulés, briquettes, plaquettes, liqueur noire de papeterie, etc.).

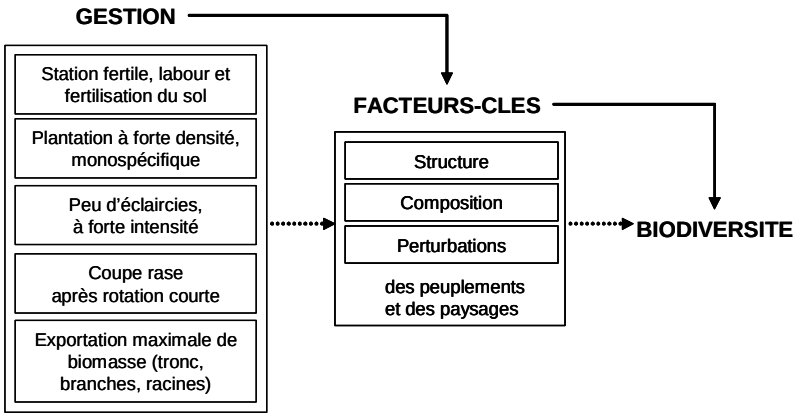


Figure 1. Diagramme conceptuel reliant les décisions de gestion sylvicole aux facteurs clés déterminant la biodiversité.

3. Biodiversité et gestion pour la biomasse à l'échelle du peuplement

A l'échelle du peuplement, la composition en essences forestières est l'un des principaux déterminants de la biodiversité. En général, la richesse faunistique et floristique est plus importante dans les peuplements mixtes que dans les forêts pures. Lorsque le peuplement est monospécifique, on trouve des assemblages d'espèces plus riches et divers avec une essence indigène qu'avec une essence exotique que ne colonisent en général que les espèces les plus ubiquistes (à l'exception de quelques exemples remarquables comme le kiwi dans les forêts de Pin radiata en Nouvelle Zélande, Brockerhoff *et al.* 2008). Les essences florifères ou fruitières et les espèces caducifoliées seraient aussi plus favorables au maintien d'une plus grande diversité biologique locale. Enfin, la composition et la diversité des plantes du sous-bois peuvent être plus importantes pour le maintien de la faune que celles des espèces d'arbres (Laarson 2001, Hartley 2002, Lindenmayer et Franklin 2002).

Constituées de peuplements purs d'essence à croissance rapide, parfois d'origine exotique (exemple du Douglas en France), les forêts de plantations gérées pour la production intensive de biomasse présentent donc une composition globalement défavorable au maintien de la biodiversité. La préparation intensive du sol et la forte densité initiale de plantation sont deux autres caractéristiques défavorables au développement de la végétation du sous-bois qui peut se traduire par une réduction supplémentaire de la diversité faunistique associée.

D'une manière générale, **plus la structure des peuplements forestiers est complexe, plus ils hébergent en général une riche diversité biologique**. Cette complexité est d'abord verticale, incluant l'étagement des strates arborées, arbustives, herbacées au niveau aérien et la présence de bois mort et de litière au

niveau du sol. Dans sa dimension horizontale, la complexité de structure provient de l'hétérogénéité des classes d'âge des arbres, de la répartition irrégulière des tiges, de la présence de clairières, points d'eau ou rochers. En général, cette complexité augmente avec l'**âge des forêts**. Un autre élément de structure essentiel à la biodiversité forestière est le **bois mort** dont le volume et la diversité déterminent la richesse des espèces, dites saproxyliques*, associées (Brin *et al*., 2009 ; chapitre 7). Enfin, au plan géométrique, les **peuplements de plus grande surface et de forme plus complexe**, se traduisant par des lisières plus longues, apparaissent plus riches en espèces que les peuplements petits et de forme circulaire.

Les plantations forestières destinées à la **production de biomasse** sont de structure régulière et équienne, avec une seule strate arborée et des strates arbustives ou herbacées réduites par contrôle mécanique ou du fait de la forte densité de plantation initiale. Par ailleurs, l'exportation maximale de biomasse et le passage d'engins se traduisent par une réduction drastique du volume de bois mort et une altération des litières. La mécanisation des travaux sylvicoles dans ces plantations peut également inciter les gestionnaires à privilégier des formes simples comme en témoigne la géométrie des champs cultivés en agriculture intensive. Enfin, le raccourcissement de la durée des révolutions empêche la création de trouées et la sénescence de certains arbres. Au bilan, la **structure** de ces plantations apparait **fortement simplifiée, limitant leur capacité de maintien d'une grande biodiversité**.

Un certain nombre de **perturbations naturelles** comme le feu, les tempêtes ou les épidémies d'insectes et de champignons pathogènes sont considérées comme des moteurs de l'évolution et de la régénération des forêts via des processus d'ouverture du couvert et de succession. Ces phénomènes **favorisent la dynamique de la biodiversité lorsqu'ils restent limités dans leur étendue et leur récurrence** (Monkkonen, 1999). A l'inverse des perturbations anthropiques, comme l'épandage d'engrais ou d'herbicide, qui s'accompagnent souvent d'un changement voire d'un appauvrissement de la flore, ou l'application de pesticides, qui peuvent toucher des espèces non cibles, constituent plutôt une menace pour la biodiversité forestière (Cobb *et al.*, 2007). Pour des raisons de rentabilité économique, les plantations pour la production de biomasse sont gérées de telle sorte que les risques naturels et leurs impacts soient limités, notamment en raccourcissant les durées de rotation et en réduisant le nombre d'éclaircies pour éviter les chablis et en limitant le combustible au sol pour diminuer l'intensité des incendies. A l'inverse, cette gestion forestière nécessite des intrants chimiques. **L'inversion du ratio perturbations naturelles / perturbations anthropiques conduit à une diminution de la biodiversité dans ce type de forêts.**

A l'échelle du peuplement, les effets sur la biodiversité de la gestion des forêts de plantations pour la production intensive de biomasse sont résumés au tableau 1.

4. Biodiversité et gestion pour la biomasse à l'échelle du paysage

A l'échelle du paysage, la **réduction et la fragmentation des forêts naturelles** sont considérées comme les deux causes principales de l'érosion de la biodiversité. Elles se traduisent en effet par une diminution de la surface des habitats favorables, un plus grand isolement géographique des taches d'habitats et une augmentation des effets de bordure qui sont autant de facteurs défavorables à la survie des espèces.

Dans ce contexte, et si elles ne remplacent pas les forêts naturelles, les plantations forestières peuvent contribuer positivement au maintien de la biodiversité via trois mécanismes (figure 1).

En premier lieu, les **forêts plantées** peuvent constituer des **habitats de substitution**, supplémentaires ou complémentaires, aux forêts naturelles pour certaines espèces forestières, en général les plus ubiquistes.

Deuxièmement, les plantations forestières peuvent constituer des **« pierres de gué »** (stepping stones) ou des corridors assurant une certaine connectivité entre des fragments de forêts naturelles disséminés dans le paysage (par exemple les ripisylves de la forêt des Landes).

Tableau 1. Réponse de la biodiversité aux pratiques de gestion des plantations forestières pour la production intensive de biomasse, à l'échelle du peuplement.

(↗: effet positif sur la biodiversité, ↘, ↘, ↘, effets peu, moyennement ou très négatifs sur la biodiversité)

Comment lire ce tableau : en lignes les caractéristiques des peuplements forestiers favorisant la biodiversité, en colonnes les pratiques sylvicoles de plantation pour la production de biomasse, dans les cellules le bilan des effets attendus de ces pratiques sur la biodiversité

Pratiques sylvicoles / Eléments favorables à la biodiversité	Labour, préparation du sol et fertilisation	Plantations équiennes, denses et pures	Peu d'éclaircies, intenses	Coupe rase, révolution courte	Exportation biomasse ligneuse
Composition					
Essences indigènes		↗ (indigène) ↘ (exotique)			
Peuplements mixtes		↘			
Végétation du sous-bois riche	↘	↘	↘ ou ↗	↘	↘
Structure					
Forme complexe	↘	↘			
Stratification		↘	↘	↘	
Peuplements inéquiennes		↘			
Présence de trouées	↘	↘	↘	↘	
Bois mort abondant, divers	↘	↘	↘	↘	↘
Perturbations					
Feu, vent, épidémies	↘	↘	↘	↘	
Engrais, herbicides, pesticides	↘				

Enfin, les fragments forestiers entourés de milieux ouverts ou agricoles sont souvent exposés à des températures plus élevées, des sécheresses plus marquées, des turbulences plus fortes (risques de chablis) et des pollutions plus grandes à leurs bordures, avec des conséquences néfastes pour certaines espèces de lisière. On constate en effet souvent une augmentation de la prédation dans les zones d'interface avec la matrice agricole. La présence de plantations autour de ces fragments peut constituer une **zone tampon** limitant ces effets. Bien entendu, ces contributions au maintien de la biodiversité à l'échelle du paysage dépendent encore de la composition, de la structure et des perturbations observées dans les peuplements plantés. Ainsi une plantation trop dense peut s'avérer imperméable au flux d'espèces, ou l'absence de végétation du sous-bois limiter sa qualité en tant qu'habitat supplémentaire. A l'inverse une plantation dense peut offrir un meilleur effet tampon aux aléas climatiques (tableau 2).

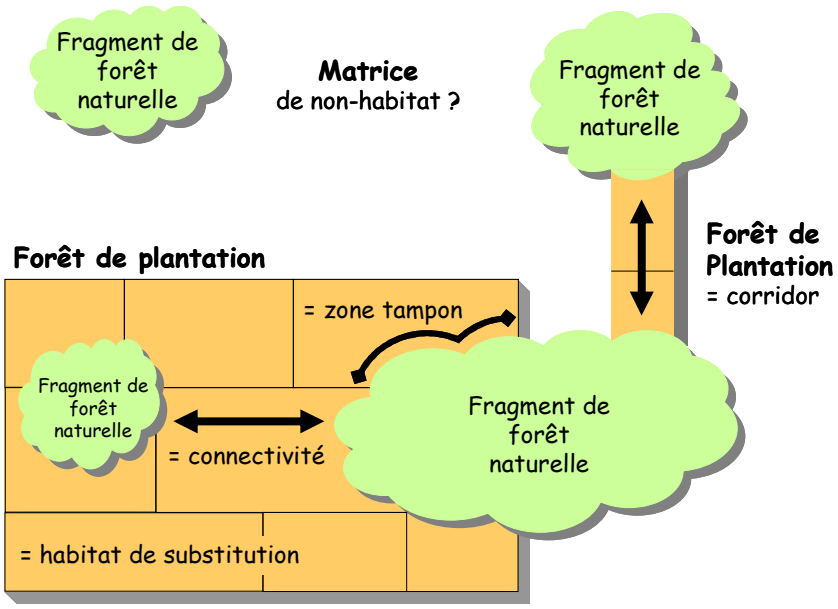


Figure 1. Modèle de paysage « corridor-fragment-matrice » : exemple de paysage très fragmenté caractérisé par une perte d'environ 85 % de la forêt naturelle et une présence de forêt plantée d'environ 20 % (Brockerhoff *et al.*, 2008, modifié d'après Forman [1995] et Lindenmayer et Franklin [2002]).

Tableau 2. Incidence théorique des pratiques de gestion pour la production intensive de biomasse sur les trois rôles joués par les forêts de plantation pour le maintien de la biodiversité à l'échelle du paysage (↗ effet positif sur la biodiversité, ↘ effet négatif sur la biodiversité).

Pratiques de gestion / Rôles dans le maintien de la biodiversité	Labour et fertilisation	Plantations denses et pures	Peu d'éclaircies intenses	Coupe rase, rotation courte	Exportation biomasse ligneuse
Habitat de substitution aux fragments forestiers naturels	↘	↘	↘	↘	↘
Connectivité des fragments forestiers naturels		↗	↘	↘	
Zones tampons autour des fragments forestiers naturels		↗	↗	↗	

Deux types de **recommandations** peuvent être proposés pour aménager différemment les forêts de plantations à l'échelle du paysage afin de mieux participer à la préservation de la biodiversité.

Au niveau spatial, il est tout d'abord suggéré que les forêts de plantations contribuent mieux à la complexité structurale des paysages en constituant une **marqueterie de plantations de compositions, de surfaces et de formes diverses**, augmentant la probabilité de fournir des habitats de substitution aux espèces forestières. En positionnant ces plantations de diverses configurations entre ou autour des fragments d'habitats semi-naturels permanents, forestiers ou prairiaux, elles pourraient également constituer de meilleures zones de transition ou de tampon que les milieux agricoles ou urbains.

Au plan temporel, une **plus grande diversité des durées de révolution et des modes de récolte** pourrait également permettre d'améliorer la préservation de la biodiversité. En particulier les plantations servant de protection autour des fragments naturels ou de zone de corridors entre ces fragments ne devraient pas être exploitées en même temps, suivant le principe de rotation des coupes, ce qui nécessiterait une concertation entre les gestionnaires. En ce qui concerne les techniques de récolte, de nombreuses études suggèrent d'éviter les coupes rases totales et favorisent la rétention d'arbres verts et de chandelles (arbres morts debout) (cf. chapitre 12), là encore pour assurer une meilleure continuité du couvert ou des habitats.

Autrement dit, il conviendrait de ne pas transformer l'intégralité d'un paysage de forêts de plantations en le couvrant de peuplements à unique vocation de produire de la biomasse ligneuse, mais au contraire de **maintenir une diversité des objectifs de production des plantations** selon un gradient pouvant aller de la production de bois d'œuvre de qualité jusqu'aux taillis à très courte rotation pour le bois-énergie.

Il convient également de rappeler que l'intérêt des plantations pour la biodiversité forestière dépend éminemment du **contexte historique et territorial**. Si elles sont installées dans des paysages forestiers en remplacement de peuplements naturels, elles constituent en elles-mêmes une menace pour la biodiversité. En revanche, si elles sont établies sur d'anciennes terres agricoles et permettent d'éviter les prélèvements de biomasse dans les fragments de forêts relictes alors elles représentent une protection pour la biodiversité forestière, indépendamment de leur mode de gestion. Enfin, il faut souligner que la biodiversité associée aux forêts de plantation, même gérées intensivement, sera toujours supérieure à celle hébergée par les cultures agricoles dédiées à la production intensive de biomasse (voir aussi chapitre 9).

5. Conclusions

Il apparaît donc clairement que la **production intensive de biomasse reposera sur des peuplements dont les caractéristiques sont peu propices au maintien d'une grande biodiversité. Ces plantations pourraient néanmoins contribuer à la complexité structurale du paysage et constituer des zones tampons permettant de limiter l'érosion de la biodiversité dans les fragments de forêt naturelle** (par exemple ripisylves*, îlots de feuillus (Jactel et Barbaro, 2004), airiaux* en forêt des Landes).

6. Pistes pour la recherche

Des actions de recherche et développement peuvent être mise en œuvre pour améliorer la gestion des forêts de plantations dans un but de préservation de la biodiversité. L'objectif qu'il est possible de poursuivre serait, comme nous venons de le montrer, de contribuer à la complexité structurale du paysage et constituer des zones tampons permettant de limiter l'érosion de la biodiversité dans les fragments de forêt naturelle. Une réflexion collective associant la recherche en écologie forestière, en sciences humaines, économiques et sociales, et les gestionnaires et acteurs de la filière forêt-bois, est indispensable pour clarifier les objectifs généraux (économiques, sociaux, protection…) et les objectifs spécifiques poursuivis en matière de conservation de la biodiversité dans une région où les plantations forestières sont importantes ou dominantes. Un tel travail est actuellement engagé dans le cadre de l'expertise à visée prospective sur l'avenir du massif landais animée par Ecofor à la demande des ministères de l'écologie et de l'agriculture » Sur une telle base, il devrait être possible d'orienter la nature et l'importance de l'effort de recherche qu'il faudra conduire ».

Si la préservation de la biodiversité dans les plantations forestières gérées pour la production intensive de biomasse correspond bien à une demande sociale (au-delà de l'intérêt scientifique), trois types de recherche peuvent être envisagés pour évaluer les risques et en déduire des méthodes de prévention ou d'atténuation :

- **l'observation** : c'est la démarche la plus classique en écologie, elle permet de comparer des **patrons*** de biodiversité dans des conditions contrastées, d'en déduire des **facteurs de contrôle** ou des réponses à des gradients écologiques ou de gestion. Elle pourrait être mise en œuvre pour comparer la richesse et la diversité de plusieurs groupes taxonomiques dans des forêts de

plantations variant par leur objectif de production (exemple : biomasse versus bois d'œuvre) ou par certaines pratiques importantes pour la production intensive de biomasse (exemple : différentes densités de plantation, différentes durées de rotation, différents niveaux d'exportation de biomasse ligneuse) ;

- **la simulation** : dans le cas où les modes de gestion dédiés à la production intensive de biomasse n'ont pas encore été mis en œuvre et ne peuvent donc être comparés à des pratiques plus courantes, il peut être utile de recourir à la simulation pour tenter d'**extrapoler les réponses de la biodiversité**. Il convient pour cela de développer ou de mobiliser des modèles reliant des variables descriptives de la composition ou de la structure des peuplements ou des paysages forestiers à des variables de réponse comme la richesse ou la diversité des espèces. Cette approche s'apparente au développement des indicateurs indirects de biodiversité. De tels modèles semblent accessibles à court terme en ce qui concerne l'effet de la gestion sur les caractéristiques du bois mort (déterminant de la diversité des espèces saproxyliques) et sans doute sur les conditions microclimatiques du sous-bois (contrôlant en partie la diversité floristique) ;
- **l'expérimentation** : c'est la démarche la plus robuste pour tester des hypothèses de relation entre gestion et biodiversité mais aussi la plus longue à mettre en œuvre. Elle devrait donc se concentrer sur la comparaison d'un nombre limité de facteurs à tester. Deux questions importantes semblent pouvoir être ciblées : l'effet des fortes densités de plantation initiale et les conséquences de l'exportation maximale de la biomasse ligneuse sous toutes ses formes.

7. Références bibliographiques

Berndes G., Hoogwijk M., van den Broek R., 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply : a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25 (1) : 1-28.

Brin, A., Brustel, H. Jactel, H. 2009 Species variables or environmental variables as indicators of forest biodiversity : a case study using saproxylic beetles in Maritime pine plantations. Ann. For. Sci. 66 : 306 – 316.

Brockerhoff E. G., Jactel H., Parrotta J. A., Quine C. P., Sayer J., 2008. Plantation forests and biodiversity : oxymoron or opportunity ? *Biodiversity and Conservation*, 17 (5) : 925-951.

Carneiro M., Fabiao A., Martins M.-C., Cerveira C., Santos C., Nogueira C., Lousa M., Hilario L., Fabiao A, Abrantes M., Madeira M., 2007. Species richness and biomass of understory vegetation in a Eucalyptus globulus Labill. coppice as affected by slash management. *European Journal of Forest Research*, 126 (4) : 475-480.

Cobb, TP ; Langor, DW) ; Spence, JR 2007. Biodiversity and multiple disturbances : boreal forest ground beetle (Coleoptera : Carabidae) responses to wildfire, harvesting, and herbicide. *Canadian Journal of Forest Research*, 37 (8) : 1310-1323

FAO, 2006. Planted Forests and Trees. Working Paper FP37E. Responsible Management of Planted Forests, Voluntary Guidelines. FAO, Rome (Italy).

FAO, 2007. *The State of the World's Forests* [en ligne].
Disponible sur : <http://www.fao.org/docrep/009/a0773e/a0773e00.HTM>.

Forman, R.T.T. (1995) Land mosaics : The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge, UK

Hartley M. J., 2002. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests. *Forest Ecology and Management*, 155 (1) : 81-95.

Jactel, H., Barbaro, L., 2004. Projet ISLANDES : Evaluation de la méthode des îlots de feuillus en mélange pour restaurer la biodiversité de l'écosystème simplifié de Pin maritime des Landes de Gascogne et améliorer sa résistance aux insectes ravageurs et champignons pathogènes. *In* : Millier C., Barre V. et

Landeau S. (coord.). Rapport de synthèse. Biodiversité et gestion forestière. Résultats scientifiques et actions de transfert. Paris, ECOFOR, MEDD, MAAPAR, 162 p.

Jactel, H., Brockerhoff, E., Piou, D. 2008. Le risque sanitaire dans les forêts mélangées. *Revue forestière française*, LX (2) 168-180

Larsson T. B. (eds), 2001. *Biodiversity evaluation tools for European forests*. *Ecological Bulletins, 50.* Wiley-Blackwell, 240 p.

Lindenmayer DB, Franklin JF (2002) Conserving forest biodiversity : a comprehensive multiscaled approach. Island Press, Washington, DC

MAP, 2006. *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises - Edition 2005.* Paris, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 148 p.

Monkkonen, M. 1999. Managing Nordic boreal forest landscapes for biodiversity : ecological and economic perspectives. BIODIVERSITY AND CONSERVATION, 8 (1) : 85-99

Perttu K. L., 1995. Ecological, biological balances and conservation. *Biomass and Bioenergy*, 9 (1) : 107-116.

CHAPITRE 9

IMPACT DE LA PRODUCTION INTENSIVE DE BIOMASSE SUR LA BIODIVERSITÉ DANS LES TAILLIS A TRÈS COURTE ROTATION

Marion Gosselin, Cemagref Nogent-sur-Vernisson

1. Contexte

Les scénarios de développement de la production de biomasse ligneuse prévoient tous un recours – plus ou moins important – aux **plantations de taillis à courte rotation (TCR) ou à très courte rotation (TTCR)** (chapitre 3) :

- les **TTCR sont des plantations à très forte densité** (10 000 à 15 000 tiges/ha), menées en taillis : on y récolte par coupe rase les tiges et rejets de souches tous les 2 ou 3 ans, en hiver. Ces tiges de petit diamètre sont directement transformées en broyat et valorisées en énergie. Il s'agit souvent de saules et de peupliers. La durée de vie moyenne de TTCR est de 25 ans ;
- les **TCR sont des plantations à densité de 1 000 à 4 000 tiges/ha**, menées en taillis et récoltées tous les 7 à 8 ans. Les arbres sont récoltés en billons ou en plaquettes, pour être valorisés en papeterie, trituration ou énergie. Il s'agit le plus souvent de peupliers.

Bien que la recherche se soit intéressée à titre expérimental à ces productions depuis une trentaine d'années (de façon intermittente en fonction de l'importance accordée au fil du temps aux énergies renouvelables), il existe encore peu de publications concernant leur impact sur la biodiversité (45 références trouvées à ce jour).

Les premières plantations de TCR et TTCR à des fins de recherche et de démonstration datent des années 1980 ; hormis les travaux pionniers mais isolés de Gustafsson (1987), les premières études concernant les impacts sur la biodiversité sont publiées au début des années 1990 aux États-Unis, à partir de 1995 en Europe. Pour l'Europe, c'est en Suède et au Royaume-Uni qu'on a le plus de recul (20 ans).

Nous n'aborderons pas ici les TCR car on a peu d'informations sur leurs incidences environnementales (voir toutefois le cas des futaies à courte rotation – chapitre 8 – qui pourraient s'en approcher) : la majorité des études publiées concerne en effet les TTCR (essentiellement de Saules ou de Peupliers), sur des parcelles de petites tailles (0,1 à 10 hectares), et porte essentiellement sur les Oiseaux, la Flore et les petits Mammifères. D'autres groupes ont été ponctuellement étudiés (Insectes, Arachnides, Lombrics) mais les résultats sont difficilement accessibles (non publiés ou publiés en danois, suédois ou allemand).

Cette contribution analyse les effets des TTCR au niveau de la parcelle, puis à celui du paysage. Leur impact sur la biodiversité est différent selon que les TTCR sont dans un paysage à dominante agricole ou forestière, d'une part, et selon l'antécédent cultural (culture agricole annuelle, jachère, prairie, forêt) auquel ils succèdent, d'autre part (Christian *et al.*, 1994 ; Ranney et Mann, 1994 ; Weih, 2004).

2. Effets des TTCR sur la biodiversité à l'échelle de la parcelle, en fonction de l'antécédent cultural et des itinéraires techniques

En tant que **culture pérenne, les TTCR offrent des avantages environnementaux par rapport aux cultures annuelles** (Paine *et al.*, 1996), dont elles ne partagent les « défauts » (labours, intrants) que pendant les 3 premières années :

- **moins d'intrants** : fertilisation azotée et herbicides sont limités à la phase d'installation, soit en moyenne pendant les 3 premières années (sur 25 ans) de la plantation. Il y a donc moins de risque de pollution de l'eau que pour des cultures annuelles. Les TTCR utilisent aussi moins de pesticides que les cultures annuelles (Borjesson, 1999 ; Ranney et Mann, 1994) : à l'heure actuelle, le seuil économique de tolérance des TTCR de Saules aux pathogènes (Chrysomèles principalement) est vraisemblablement plus élevé qu'en cultures annuelles (Sage, 1998) : ce seuil désigne le point à partir duquel le manque à gagner dû à la perte de productivité dépasse le coût que représenterait un traitement phytosanitaire .(Sur Peuplier, la Rouille (*Melampsora sp.*) cause d'ores et déjà des baisses de productivités et la question de la lutte par pesticide se pose (combinée à la prévention par mélange de clones sur les parcelles). Compte tenu du coût des traitements, seuls sont envisageables des traitements ponctuels en cas d'attaque exceptionnelle. À l'avenir, les problèmes phytosanitaires risquent d'augmenter avec l'augmentation des surfaces cultivées en TTCR ;
- **plus de matière organique dans les sols** : la chute des feuilles, qui ne sont pas exportées, enrichit le sol en matière organique (par rapport à une culture annuelle) : meilleure fertilité, moindre besoin d'intrants azotés, participation à la séquestration de carbone dans le sol ;
- **lutte contre l'érosion des sols agricoles** (Goor *et al.*, 2000 ; Paine *et al.*, 1996 ; Borjesson, 1999 ; Ranney et Mann, 1994).

Les inconvénients potentiels sont les suivants :

- les essences utilisées (*Salix* sp., *Populus* sp.) en TTCR sont **exigeantes en eau** : jusqu'à 6-7 mm/jour d'après Makeschin et Makeschin (1999) ;
- l'installation par boutures rend nécessaire un **labour** puis le **contrôle de la végétation** concurrente pendant 3 ans, par herbicides ou moyens mécaniques ;
- en fin de culture (25 ans en moyenne), un **dessouchage** est nécessaire, si l'on envisage un retour à des cultures agricoles annuelles.

2.1. Richesse, abondance et composition en espèces dans les TTCR par rapport aux antécédents culturaux

Dans les groupes étudiés, la composition en espèces est différente dans les TTCR de celle des cultures annuelles et les deux milieux ont peu d'espèces en commun. **Les groupes d'espèces observés en TTCR sont souvent plus riches et abondants que ceux des cultures agricoles annuelles,** mais pas toujours (tableau 1). En revanche, **les groupes d'espèces observés en TTCR sont souvent moins riches et moins diversifiés que ceux des antécédents forestiers ou d'espaces naturels**. Par exemple, dans un TTCR de Saules sur antécédent prairie, Gustafsson (1987) constate au bout de 4 ans un retour partiel à la

composition floristique initiale de la prairie (60 % des espèces), mais pas en abondance (nette domination des espèces rudérales).

Tableau 1. Résultats des études comparant les groupes d'espèces dans les TTCR à celles d'autres formes d'occupation du sol (cultures annuelles, forêt et milieu naturel non forestier).

Selon les cas, la richesse et l'abondance des taxons dans les TTCR sont plus élevés (+), moins élevés (-) ou sensiblement identiques (=) à celles observées dans les autres formes d'occupation du sol.

Richesse et abondance des taxons présents en TTCR…	… par rapport à :		
	Cultures agricoles annuelles	Forêt	Milieu naturel non forestier
Flore	+ (Gustafsson, 1987) – (Weih *et al.*, 2003)		– (Gustafsson, 1987)
Oiseaux	+ (Sage *et al.*, 2006 ; Berg, 2002) = (Christian *et al.*, 1994)	= (taillis classique) (Sage et Robertson, 1996) – (vieux peuplements) (Sage et Robertson, 1996) = (Berg, 2002) – (Christian *et al.*, 1994)	– (Berg, 2002)
Petits mammifères	= (Christian *et al.*, 1994)	– (Christian *et al.*, 1994)	– (Christian *et al.*, 1994)
Faune du sol	+ (Makeschin, 1994) + (Sjödahl-Svensson *et al.*, 1994, cités par Borjesson., 1999)		

2.2. Effet de la taille de la parcelle

Le nombre d'espèces par relevé est plus élevé en lisière qu'au cœur des parcelles de TTCR (Oiseaux : Sage *et al.*, 2006 ; Flore : Weih *et al.*, 2003).

2.3. Effets de l'essence et des clones utilisés

Les TTCR de **Saules abritent des communautés d'oiseaux plus riches et plus abondantes** que les TTCR de peupliers (Sage et Robertson, 1996). Certains clones (en Saules et en Peupliers) sont nettement préférés pour la nidification, mais ces résultats ont été obtenus aux États-Unis sur des communautés d'Oiseaux différentes des nôtres.

Les TTCR de Saules peuvent présenter un intérêt pour les **Insectes butineurs**, en offrant une ressource précoce de pollen et de nectar en début de printemps (Reddersen, 2001) : il reste à déterminer si les Insectes butineurs fréquentent effectivement les TTCR de Saules, et à comparer les effets et l'éventuelle complémentarité des TTCR de Saules et des jachères florales.

2.4. Hétérogénéité interne

La présence de clones différents, caractérisés par des hauteurs de tiges variables, la mortalité locale de certaines tiges ou encore la présence de couvert herbacé créent une **hétérogénéité structurale au sein des parcelles de TTCR**. Cette hétérogénéité favorise l'abondance des Oiseaux, voire la présence de certaines espèces de petits Mammifères ou d'Oiseaux nichant à terre.

2.5. Influence de la hauteur des rejets

La composition des communautés d'Oiseaux évolue selon la hauteur des rejets, donc l'âge depuis la dernière coupe (Berg, 2002 ; Paine *et al.*, 1996). Les TTCR favorisent les Oiseaux nichant à terre ou à mi-hauteur (buissons) par rapport aux cultures agricoles. Globalement, **la hauteur des rejets influence positivement l'abondance et la richesse spécifique des Oiseaux**, avec toutefois des différences marquées selon les familles : d'où l'intérêt d'avoir à proximité des parcelles d'âges différents (Sage et Robertson, 1996).

3. Effets des TTCR à l'échelle du paysage

3.1. Dans les paysages à dominante agricole

Lorsque les TTCR remplacent des cultures annuelles, les effets sur la biodiversité et sur la qualité des milieux sont plutôt positifs.

Dans un paysage à dominante de cultures annuelles, et sous réserve que l'utilisation de pesticides en TTRC reste inférieure à celle des cultures annuelles, les TTCR améliorent la biodiversité à l'échelle du paysage : ils diversifient l'offre d'habitats propices à la faune sauvage (Paine *et al.*, 1996) en particulier pour les Oiseaux (Berg, 2002 ; Dhont *et al.*, 2004 ; Sage et Robertson, 1996), qui y trouvent des supports ligneux de nidification qui n'existent pas en culture annuelle, et des ressources alimentaires abondantes (Insectes). Ils offrent aussi des habitats plus stables dans le temps que les cultures annuelles.

Toutefois, les espèces présentes dans les TTCR sont le plus souvent (cas de la Flore, des Oiseaux, des Mammifères) des espèces banales de large amplitude, alors que des espèces plus rares ou plus menacées, comme les Oiseaux de milieux ouverts (Outarde canepetière par exemple) ou les nombreuses espèces d'Abeilles sauvages, ne fréquentent pas les TTCR (résultats de Christian *et al.* [1994] et Goransson [1994] sur les Oiseaux). On n'y trouve pas (ou rarement) d'espèces forestières ni d'espèces de prairies. Peu d'espèces montrent une préférence pour les TTCR, même si elles les fréquentent : beaucoup restent nettement plus abondantes en forêt ou en prairies naturelles.

Il découle des points précédents que **les TTCR apportent un plus pour la biodiversité au sein de paysages agricoles *de grandes cultures*, à condition de rester dans des parcelles de petite taille (< 10 ha) (Weih, 2004) et de les installer en remplacement de cultures annuelles et non de forêts ou de prairies.**

Et si les TTCR remplacent des jachères ? Les études publiées n'abordent pas cette question. En France, les jachères non productives seront vraisemblablement les premiers espaces sollicités pour implanter des TTCR. Or une partie d'entre elles (environ 1500 ha pour les surfaces déclarées en 2006) sont des jachères florales, à but paysager ou écologique, bénéfiques pour les Insectes butineurs et leurs prédateurs, ou pour les Oiseaux de milieux ouverts (cas de l'Outarde canepetière en Poitou-Charente).

Dans un paysage à dominante de prairies pérennes, **les TTCR ont au contraire un effet négatif sur la biodiversité**. Dans ce cas, les TTCR fragmentent l'habitat « prairie » : ils jouent un rôle de barrière entre les parcelles de prairies et réduisent les possibilités d'échanges entre les communautés, souvent riches, de prairies (Paine *et al.*, 1996). En outre, ils induisent un effet lisière qui pourrait être néfaste aux espèces de prairies (en procurant un habitat aux prédateurs).

Cela étant, il faut aussi se demander si l'implantation de TTCR dans ces paysages prairiaux, qui ont tendance à régresser du fait des évolutions agricoles, est plus pénalisante du point du vue « fragmentation de l'habitat prairial » que le remplacement des prairies par des cultures annuelles, des accrus forestiers ou des forêts de plantation.

3.2. Dans les paysages à dominante forestière

Dans un paysage à dominante forestière, les TTCR installés sur des terres agricoles :

- **améliorent la perméabilité de la matrice agricole pour les espèces forestières**, à condition qu'ils soient composés d'essences autochtones : ils faciliteraient les échanges entre zones boisées (Paine *et al.*, 1996), mais cela reste à démontrer ;
- **permettent de limiter les augmentations de la pression de prélèvement de biomasse forestière en forêt**, donc d'épargner certaines espèces forestières sensibles (voir chapitre 7).

Ils favorisent alors le maintien d'espèces spécialistes en forêt. En contrepartie, des espèces nécessitant des espaces ouverts agricoles à proximité de forêts seraient défavorisées ; mais ce sont le plus souvent des espèces communes et non menacées, qui ne représentent pas un enjeu fort de biodiversité.

Les essences et provenances utilisées dans les TTCR doivent être choisies de manière à éviter tout risque de contamination génétique sur les peuplements autochtones présents alentour en forêt.

En revanche, **les TTCR installés en remplacement de forêt existante (et en particulier de forêt ancienne) sont défavorables à la biodiversité**, en pénalisant des organismes qui représent des enjeux forts de biodiversité forestière : espèces dont les populations sont présentes uniquement en forêt, sensibles aux coupes, ou encore en déclin, et notamment les espèces saproxyliques). En outre, les oiseaux semblent plus attirés par les TTCR en paysage agricole qu'en paysage forestier (Christian *et al.*, 1994).

Signalons enfin qu'en janvier 2008 est parue une proposition de directive européenne sur les énergies renouvelables[14]. Elle stipule que les implantations de cultures dédiées « énergie » ne doivent pas être faites sur des zones à stock de carbone important (ce qui exclurait donc les forêts et les prairies permanentes), ni sur des zones à biodiversité élevée (ce qui exclurait en outre les milieux ouverts associés aux forêts, les zones Natura 2000, etc.).

4. Recommandations

4.1. Localisation des TTCR

Il est préférable de **réserver les cultures de TTCR** :

- **aux paysages dominés par les cultures agricoles annuelles**, en bas de bassins versants ;
- **aux sols agricoles sensibles à l'érosion** ;
- **aux habitats qui ne jouent pas un rôle de séquestration de carbone** ;
- **aux habitats non sensibles écologiquement**.

En paysage à dominante de cultures agricoles annuelles, Goransson (1994) conseille comme optimum 10 à 20 % de TTCR à récoltes asynchrones. Il faut préférer les parcelles de petite taille (15 ha maximum) relativement proches les unes des autres pour assurer une continuité d'habitat aux Oiseaux sédentaires (d'après Sage et Robertson, 1996 et Weih *et al.*, 2003).

A l'inverse, il est préférable de :

- **ne pas implanter de TTCR en paysages de milieux ouverts semi-naturels** (prairies, pelouses calcaires) ;
- **ne pas installer de TTCR en remplacement de forêts anciennes* ou de milieux à biodiversité élevée** ;
- **ne pas généraliser les TTCR à la place de milieux ouverts en paysage à dominante forestière**. En paysage à dominante agricole, on pourra situer des TTCR en bordure de forêt (transition entre forêt et champs agricoles).

4.2. Choix des essences et variétés

On préférera un **mélange de variétés, clones ou provenances,** pour diminuer la sensibilité des TTCR aux agents pathogènes et éviter au maximum le recours aux pesticides. Pour les saules et peupliers, le mélange intra-parcellaire de clones n'est pas forcément efficace pour faire barrière aux agents pathogènes ; il peut être difficile à maintenir dans le temps, certains clones prenant le pas sur les autres. Pour concilier facilité de récolte et prévention des agents pathogènes, on envisagera une mosaïque de petites parcelles monoclonales. On peut conseiller de :

- ne pas planter de clones risquant de polluer génétiquement les peuplements naturels, *a fortiori* à proximité de sites classés pour la Conservation des Ressources Génétiques : choisir des provenances adaptées ou des clones stériles ;
- mélanger les matériels mâles et femelles en TTCR de Saules pour assurer la production de nectar *et* de pollen en faveur des Insectes butineurs (Reddersen, 2001).

14 http://ec.europa.eu/energy/climate_actions/doc/2008_res_directive_en.pdf

4.3. Conduite des peuplements

Limiter au maximum l'emploi d'herbicides et de pesticides

Les modalités suivantes pourraient être favorables à la biodiversité, mais leur faisabilité reste à tester : Laisser sur place des tiges de bois mort, laisser se développer le plus tôt possible après la phase d'installation une couverture herbacée, planter plusieurs variétés de tailles de rejets différentes, pour favoriser l'hétérogénéité structurale, au moins entre parcelles si le mélange intra-parcellaire rend trop difficiles les conditions de récoltes.

5. Besoins de recherche

Très peu d'études existent à l'heure actuelle et les résultats présentés ci-dessus méritent d'être vérifiés dans le contexte français d'utilisation du territoire et de cortèges écologiques.

5.1. Écologie du paysage

Les besoins portent sur les **effets des TTCR sur la biodiversité, en fonction de l'antécédent cultural et du paysage environnant** (nature et taille des parcelles, présence de haies). Les recherches méritent d'être :

- approfondies, notamment sur :
  - les effets écologiques respectifs des TTCR et des jachères non productives (jachères florales notamment),
  - la taille des parcelles de TTCR,
  - les effets sur la connectivité des habitats (ouverts ou forestiers) adjacents,
  - les effets de l'hétérogénéité intra et inter-plantations de TTCR ;
- élargies à d'autres groupes taxinomiques, notamment des groupes à enjeux parce qu'en déclin ou parce qu'importants pour le fonctionnement des écosystèmes (insectes pollinisateurs, faune du sol).

5.2. Méthodes culturales

Tassement du sol : les premiers résultats sur la faune du sol donnent l'avantage aux TTCR par rapport aux cultures annuelles et l'expliquent par un nombre moindre de passages d'engins, moins de labour, et stabilisation de la matière organique dans les horizons supérieurs. Toutefois, ces résultats sont obtenus dans des conditions pédo-climatiques différentes des nôtres (Scandinavie et Europe centrale) et la question mérite d'autant plus d'être posée que les tassements du sol risquent d'être d'autant plus forts que la récolte des TTCR a lieu hors feuille, en hiver, donc en période de sol humide. Il y a donc besoin de recherches sur des techniques et matériels de récoltes respectueux des sols et des souches.

Moyens de prévention et de lutte contre les pathogènes : recherches sur les variétés résistantes, rôle des mélanges de variétés, méthodes culturales permettant de limiter l'emploi de pesticides.

Moyens d'améliorer la capacité d'accueillir des espèces saproxyliques en TTCR : différentes modalités de gestion mériteraient d'être testées. Par exemple, en TTCR de Saules, essayer d'insérer des lignes traitées en têtards parmi les lignes de taillis, ne serait-ce qu'en bordure ou en coin de parcelle pour que cela reste compatible avec la mécanisation de la récolte.

Remerciements : A. Berthelot (FCBA), E. Dauffy-Richard, F. Archaux et L. Mietton (Cemagref Nogent) ont contribué à améliorer le document par leurs observations.

6. Références bibliographiques

Berg A., 2002. Breeding birds in short-rotation coppices on farmland in central Sweden - the importance of Salix height and adjacent habitats. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90 (3) : 265-276.

Borjesson P., 1999. Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden – I : Identification and quantification. *Biomass and Bioenergy*, 16 (2) : 137-154.

Christian D. P., Nieml G. J., Hanowski J. M., Collins P., 1994. Perspectives on biomass energy tree plantations and changes in habitat for biological organisms. *Biomass and Bioenergy*, 6 (1-2) : 31-39.

Dhont A., Wrege P., Sydenstricker K., 2004. Clones preference by nesting birds in short-rotation coppice plantations in central and western New York. *Biomass and Bioenergy*, 27 (5) : 429-435.

Goor F., Dubuisson X., Jossart J., 2000. Adéquation, impact environnemental et bilan d'énergie de quelques cultures énergétiques en Belgique. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, 9 (1) : 59-64.

Goransson G., 1994. Bird fauna of cultivated energy shrub forests at different heights. *Biomass and Bioenergy*, 6 (1-2) : 49-52.

Gustafsson L., 1987. Plant conservation aspects of energy forestry - A new type of land use in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 21 (1-2) : 141-161.

Makeschin F., Makeschin F., 1999. Short rotation forestry in Central and Northern Europe - introduction and conclusions. *Special issue : Short rotation forestry in central and northern Europe. For. Ecol. Manag.*, 121 (1-2) : 1-7.

Makeschin F., 1994. Effects of energy forestry on soils. *Biomass and Bioenergy*, 6 (1-2) : 63-79.

Paine L. K., Peterson T. L., Undersander D. J., Rineer K. C., Bartelt G. A., Temple S. A., Sample D. W., Klemme R. M., 1996. Some ecological and socio-economic considerations for biomass energy crop production. *Biomass and Bioenergy*, 10 (4) : 231-242.

Ranney J. W., Mann L. K., 1994. Environmental considerations in energy crop production. *Biomass and Bioenergy*, 6 (3) : 211-228.

Reddersen J., 2001. SRC-willow (Salix viminalis) as a resource for flower-visiting insects. *Biomass and Bioenergy*, 20 (3) : 171-179.

Sage R. B., 1998. Short rotation coppice for energy : Towards ecological guidelines. *Biomass and Bioenergy*, 15 (1) : 39-47.

Sage R., Cunningham M., Boatman N., 2006. Birds in willow short-rotation coppice compared to other arable crops in central England and a review of bird census data from energy crops in the UK. *Ibis*, 148 (s1) : 184-197.

Sage R., Robertson P., 1996. Factors affecting songbird communities using new short rotation coppice habitats in spring. *Bird Study*, 43 (2) : 201-213.

Weih M., Karacic A., Munkert H., Verwijst T., Diekmann M., 2003. Influence of young poplar stands on floristic diversity in agricultural landscapes (Sweden). *Basic Appl. Ecol.*, 4 (2) : 149-156.

Weih M., 2004. Intensive short rotation forestry in boreal climates : present and future perspectives. *Canadian Journal of Forest Research*, 34 (7) : 1369-1378.

CHAPITRE 10

IMPACTS DE PRÉLÈVEMENTS ACCRUS DE BIOMASSE SUR LES SOLS FORESTIERS

Jacques Ranger, Etienne Dambrine, INRA Nancy,

Manuel Nicolas, ONF-INRA,

Guy Landmann, Ecofor

1. Contexte et objectifs de la contribution

Milieu complexe à l'interface entre l'atmosphère, la lithosphère et la biosphère, le sol est constitué de matières minérales solides, de gaz, d'eau, de matières organiques et d'organismes vivants. Il constitue un support physique dans lequel s'enracinent les arbres, un réservoir dans lequel la végétation puise l'eau et les éléments nutritifs dont elle a besoin, ainsi qu'un habitat pour une faune très diverse et pour des micro-organismes décomposeurs permettant le recyclage des matières organiques. Il joue également un rôle important de stockage de carbone et intervient dans la qualité des eaux de surface (chapitre 11).

De façon générale, la gestion forestière induit, relativement aux pratiques agricoles, des perturbations relativement moindres des sols. Pour autant, au moins quatre des huit principales « menaces » listées par le projet de directive européenne sur la protection des sols concernent à divers degrés les sols forestiers :

- **l'acidification** ;
- le **tassement** par augmentation de la densité apparente et diminution de la porosité du sol ;
- l'**érosion** par l'eau ou le vent ;
- la **diminution des teneurs en matières organiques** due à une baisse constante de la fraction organique du sol.

Ces dégradations sont généralement cumulatives et seulement partiellement et lentement réversibles. Elles affectent la santé et la productivité des écosystèmes, y compris aquatiques, la biodiversité du sol et de la végétation et le stockage de carbone (sujets non traités ici).

Ces dégradations dépendent de la capacité très variable des sols à supporter la récolte de la biomasse forestière et notamment :

- de la **quantité et de la qualité de la biomasse exportée** en dehors du parterre de coupe ;
- des **systèmes d'exploitation** (nature et fréquence des interventions).

Cette synthèse abordera les trois principales dégradations des sols forestiers (acidification, tassement, érosion) en présentant pour chacune :

- les mécanismes en cause ;
- les facteurs de sensibilité des sols ;
- la distribution spatiale des sols sensibles : cartographie régionale ou nationale ;
- les règles de prévention (voir aussi chapitre 12) et les possibilités de remédiation* au niveau local.

2. État des connaissances

2.1. Appauvrissement des sols et acidification

Une bonne compréhension des principaux éléments du **cycle biologique*** est nécessaire pour une gestion avisée des écosystèmes concernés. Nous rappelons ici quelques éléments importants (voir par exemple Cole, D.W. & Rapp, M. (1981), pour une vue d'ensemble) avant d'envisager l'incidence de la sylviculture sur la qualité des sols.

Le cycle biologique en forêt

Au sein d'un écosystème forestier, les arbres absorbent dans le sol la partie disponible des éléments nutritifs qui sont distribués dans leurs différents organes (tronc, branches, feuilles). À la mort de ces organes, les éléments nutritifs retournent au sol avec la litière qui est décomposée, rendant ces éléments de nouveau disponibles pour les racines des arbres. Ce cycle, dit biologique, est la principale source d'éléments nutritifs, au moins pour les écosystèmes pauvres.

Les besoins importants des arbres en nutriments peuvent ainsi être satisfaits durablement malgré une réserve disponible dans le sol qui ne représente souvent que quelques dizaines d'années – et parfois seulement quelques années – de prélèvement par les racines. Cela signifie que **la fertilité réelle du sol repose sur un pool limité d'éléments circulant rapidement dans l'écosystème.** On voit ainsi que les écosystèmes forestiers sont parfaitement adaptés à leur milieu, y compris quand celui-ci est pauvre, mais que, plus le milieu est pauvre, plus le cycle biologique* prend de l'importance ; c'est particulièrement le cas de la forêt tropicale qui, selon le vieil adage, « vit sur son humus ». Si le cycle des éléments minéraux en forêt est extrêmement performant, il n'en est pas pour autant fermé.

Les flux d'éléments nutritifs entrant sont :

- les **apports atmosphériques** ;
- les **apports par altération des minéraux** contenus dans le sol (sauf pour l'azote) ;

et les flux sortant de l'écosystème sont :

- les **pertes par drainage** vers les eaux souterraines ;
- les **pertes par exportation** (exploitation forestière principalement).

Si le bilan de ces flux est négatif, le stock d'éléments biodisponibles du sol s'amenuise. Cet appauvrissement se conjugue alors avec une acidification du sol puisque les cations nutritifs perdus (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}) sont remplacés progressivement par des cations acides (H^{+}, Al^{3+}).

Les bilans entrées-sorties d'éléments minéraux effectués sur la base de mesures (lourdes) de terrain depuis une trentaine d'années en France dans le cadre des problématiques « feuillus/résineux » puis « pluies acides » (Dambrine *et al*., 1995 ; Ranger *et al*., 2002) en sols pauvres sont le plus souvent négatifs (tableau 1). Les mesures étant entachées d'inévitables erreurs, l'ampleur exacte du déficit n'est pas connue avec une très grande précision, mais ces résultats indiquent que les sols en question sont très vraisemblablement en phase d'appauvrissement.

Tableau 1. Bilan entrées-sorties pour le calcium dans 5 peuplements d'épicéas communs et un peuplement de Douglas.

Le Bonhomme, Vosges, pessière de 70 ans ; Aubure 30, Vosges, pessière de 30 ans ; Aubure 85, Vosges, pessières de 80 ans, Vosges ; Monthermé, Ardennes, pessière de 45 ans ; Gemaingoutte, Vosges, pessière de 85 ans ; Vauxrenard, Monts du Lyonnais, douglasaie de 60 ans). Les âges des peuplements indiqués sont ceux au moment des mesures. Les deux chiffres indiquent la fourchette des valeurs hautes et basses.

	Bonhomme	Aubure 30	Aubure 85	Monthermé	Gemaingoutte	Vauxrenard
Apports atmosphérique	4.7/7.5	6.1/6.9	8/8.5	14.8/20.2	3.3/6.8	7.3
Altération des minéraux	0.8/1.0	0.1/0.4	0.4/1.0	0.8/1.8	3.5/-	1.8
Drainage	-7.5	-2.9	-9.9	-14.0	-10.2	-13.5
Exportation par exploitation	-2.2	-9.9	-4.1	-6.8	-5.2	-6.8
Bilan minéral	-4.2/-1.2	-6.3/-4.9	-5.6/-4.5	-5.2/-1.2	-8.6/-	-2.0

L'appauvrissement récent et marqué des sols forestiers acides de certaines régions

La vraisemblance de ce résultat a été confortée par la comparaison à 20-30 ans d'intervalle de l'état des sols forestiers sur des sites bien identifiés (Dupouey *et al*., 1998 ; Ranger *et al.*, 2000 ; Thimonier *et al*., 2000). Cet appauvrissement qui porte principalement sur la calcium et le magnésium peut être assez rapide (de l'ordre de 1 % par an voire plus), et porter sur des sols de relativement meilleure fertilité que les sols vosgiens, à l'exemple de hêtraies du Nord-Est (Thimonier *et al.,* 2000). Ces résultats sont globalement cohérents avec les comparaisons à plus long terme réalisées par Tamm et Hallbacken (1986) et beaucoup d'autres réalisées à travers l'Europe.

L'analyse en cours des résultats du 2ème inventaire des sols du réseau 16 x 16 km et (partiellement) de RENECOFOR devrait compléter (si les problèmes de comparabilité le laps de temps entre les inventaires n'en limitent pas la portée) ce tableau, notamment en terme de couverture géographique, les données jusque-là disponibles couvrant principalement le Nord-Est de la France, région la plus affectée par les dépôts atmosphériques acides.

Les conséquences de l'appauvrissement sur la santé des peuplements forestiers

La réduction de la disponibilité peut se traduire par une réduction de la croissance ou, s'il s'agit d'un déséquilibre de l'offre nutritionnelle (on a ainsi souvent mis en évidence une augmentation du rapport entre l'azote et le magnésium), on peut assister à l'émergence de symptômes plus ou moins aigus de carence, voire de dépérissement en lien avec des crises climatiques.

On peut rappeler que les carences magnésiennes fortes observées dans tous les massifs montagneux acides en Europe moyenne (dont les Vosges et les Ardennes) dans les années 1980-1990 ont été attribuées à la faiblesse des ressources en Mg du sol liée à la nature des sols, aux effets anciens de l'utilisation du sol et aux conséquences des dépôts atmosphériques acides (Landmann et Bonneau, 1995), alors qu'en Nouvelle-Zélande, les facteurs sylvicoles et pédologiques seuls avaient abouti à des carences parfois très fortes (Landmann *et al*., 1997).

Des analyses de l'évolution de la nutrition minérale au cours des décennies écoulées ont été effectuées. Ces études ont montré une baisse de magnésium et de calcium, et une augmentation sensible du rapport

N/Mg (hêtraies du Nord-Est de la France, Duquesnay *et al*. 1998), mais également un résultat moins attendu, à savoir une baisse généralisée de nutrition en phosphore (réseau RENECOFOR, Jonard *et al*., 2008, 2009).

Les conséquences de l'appauvrissement des sols sur la productivité des peuplements forestiers

Un des paradoxes apparents révélé par les recherches sur le dépérissement des résineux en montagne au cours des années 1980 est que des symptômes aigus de carence minérale, signe d'unedétérioration de la nutrition minérale, se soient développés alors que la croissance des mêmes essences augmentait (voir notamment le cas des hêtraies du Nord-Est, Duquesnay, 1998), à moins que la détérioration de la nutrition minérale ne soit en partie qu'une conséquence de l'augmentation de croissance.

La perte de croissance (ou sa moindre augmentation) liée à l'appauvrissement des sols acides n'a pas pu être quantifiée dans ce contexte général d'augmentation de la productivité (dans laquelle les dépôts atmosphériques azotés joueraient aussi un rôle important), mais peuvent être approchés par les résultats des essais de chaulage.

L'impact de la sylviculture sur le cycle des éléments minéraux

Les études menées en France et dans des conditions similaires à l'étranger montrent que **dans une vaste gamme de sols acides, la quantité d'éléments minéraux K, Ca, Mg disponible dans le sol est de l'ordre de grandeur de celle stockée dans la biomasse ligneuse sur pied, mais de nombreux sites présentent une réserve du sol encore bien plus faible**, de l'ordre d'une dizaine d'années d'immobilisation annuelle (tableau 2).

Tableau 2. Stocks de calcium (kg/ha) dans les cimes, le tronc, les humus et les racines, sous forme échangeable de 4 peuplements adultes d'épicéas (voir tableau 1, pour la caractérisation des peuplements).

	Le Bonhomme Vosges	Aubure Vosges	Monthermé Ardennes	Gemaingoutte Vosges
	Epicéa	Epicéa	Epicéa	Epicéa
Cimes (feuillage et branches)	101	119	150	242
Tronc (bois et écorce)	143	311	146	371
Humus et racines	358	180	160	250
Calcium échangeable du sol	125	148	419	601

L'exportation en dehors du parterre de coupe* des éléments nutritifs contenus dans la biomasse entraîne des pertes nutritives qui sont fonction de la quantité mais aussi du type de biomasse exportée : les branches, les écorces et plus encore les feuillages présentent des concentrations bien plus fortes en éléments nutritifs que le bois de tronc (la figure 1 présente un exemple pour le Douglas et le tableau 3 donne une compilation de diverses études de la littérature).

Tableau 3. Exportations annuelles moyennes de calcium (kg/ha/an) sur l'ensemble de la révolution et pour différentes intensités d'exploitation, de divers peuplements. La production est indiquée en m3/ha/an ou en t/ha/an (compilation de résultats français et étrangers, Bonneau et Ranger, 1992)

	Bois (tronc)	Ecorce (tronc)	Bois et écorce (tronc)	Tronc + branches (+aiguilles résineux)	Rapport Tronc + branches / bois + écorce
Hêtre classe IV 130 ans (4,1 m^3/ha/.an)	1,7	1,2	2,9	4,1	1,4
Hêtre classe I 140 ans (8,9 m^3/ha/.an)	3,9	3,0	6,9	9,2	1,3
Taillis-sous-futaie (Ardennes) (1,4 t/ha/an)	-	-	1,7	3,3	1,9
Châtaignier 19 ans, découpe 4 cm (5,2 t/ha/an)	1,5	8,4	9,9	12,8	1,3
Châtaignier 9 ans, découpe 4 cm (3,2 t/ha/an)	1,6	8,9	10,5	18,9	1,8
Peuplier Rochester 7 ans, découpe 7 cm (5,1 t/ha/an)	6,8	21,3	28,1	57,5	2,0
Peuplier Rochester 7 ans, découpe 4 cm (8,0 t/ha/an)	11,2	36,5	47,7	77,1	1,6
Epicéa classe IV, 100 ans (5,6 m^3/ha/.an)	1,7	1,7	3,4	6,6	1,9
Epicéa classe I, 80 ans (12,2 m^3/ha/.an)	3,9	3,2	7,1	12,7	1,8
Epicéa Aubure 85 ans (2,8 t/ha/an)	1,7	2,0	3,7	5,1	1,4
Epicéa Monthermé 48 ans (2,6 t/ha/an)	1,5	1,5	3,0	6,5	2,2
Epicéa Aubure 30 ans (3,1 t/ha/an)	1,8	1,9	3,7	9,7	2,6
Epicéa Aubure 10 ans (1,2 t/ha/an)	0,8	1,6	2,4	34,1	14,2
Pin maritime Landes 16 ans (2,6 t/ha/an)	1,4	0,9	2,3	6,3	2,7

La sylviculture peut modifier plus ou moins profondément l'équilibre de l'écosystème en modifiant les essences, la structure des peuplements, en exportant des produits et aménageant les parterres de coupes (Ranger et Bonneau, 1984, 1986 ; Ranger et Turpault, 1999) :

- le **raccourcissement des révolutions** diminue l'efficience apparente des essences dans l'utilisation des éléments nutritifs pour produire la biomasse, en particulier quand on tend vers l'accroissement courant maximum*, car les recyclages internes ne sont pas complètement opérés ;
- **l'exploitation de fractions de plus en plus riches en éléments minéraux – tronc, écorce, branches (parfois feuillage) – de la biomasse** grève fortement les budgets dans les écosystèmes les plus pauvres (il y a deux ordres de grandeur entre la concentration d'une feuille et celui du bois de cœur d'un arbre pour un élément comme l'azote) :
    - la pratique du **soutrage***, autrefois répandue a pu appauvrir sensiblement les sols forestiers dans certaines régions en Europe (Glatzel, 1991). En s'appuyant sur l'étude d'un cas précis en Autriche, Hofmeister *et al*. (2008) estiment que l'effet historique du soutrage peut être d'une importance comparable à celle des dépôts atmosphériques.
    - inversement, l'arrêt de **l'écorçage manuel des grumes sur coupe pratiqué jusqu'à assez récemment sur épicéa ou sapin** a par contre doublé les exportations liées au bois seul,

- l'évolution d'une exportation limitée, pour partie, aux branches 7 cm fin bout, vers un exportation des branches fines (< 7 cm), aujourd'hui envisagée, augmenterait dans d'assez fortes proportions les exportations. Comme les petites branches (et les feuillages) se décomposent bien plus vite que le tronc des arbres, l'exportation de ces petits compartiments (ou de litière) en dehors du parterre de coupe peut fortement diminuer le retour au sol d'éléments nutritifs,
- la récolte d'arbres entiers reste pour l'instant très marginale (chapitre 4) ;

- un **traitement mal maîtrisé des rémanents sur le parterre de coupe** (andainage* mal contrôlé, brûlage des rémanents) peut équivaloir à une exportation totale.

S'agissant des systèmes cultivés :

- les **systèmes cultivés très intensifs** de type TCR et TTCR nécessitent des conditions d'alimentation en eau (sols bien alimentés en eau mais non hydromorphes) et en éléments nutritifs (on extrait de la matière très jeune et très concentrée) que les sols forestiers n'offrent pas sans recours à la fertilisation. Les essais d'introduction en sol pauvre ont montré les limites d'utilisation de ces plantations malgré une fertilisation complète (Gelhaye *et al*., 1997). Le recours aux apports artificiels d'éléments nutritifs peut comporter un risque de pollution des sols et des eaux à mettre en balance avec les opportunités de traiter des déchets à moindre coût tout en imposant une exigence environnementale forte, et un allègement de la pression sur les écosystèmes naturels. Bien entendu, les précautions – et recherches – à envisager seront d'autant plus importantes que le développement (chapitre 3) de ces cultures sera conséquent ;
- dans le cas des **Landes de Gascogne**, la fertilisation consiste actuellement en un apport unique d'environ 100 kg/ha de superphosphate pour une révolution de pin maritime de 50 ans. Cet apport limité d'éléments a permis une nette augmentation de la production (Gelpe et Lefrou, 1986). Cependant, l'intensification des prélèvements de biomasse (rémanents et souches) pourrait induire des risques de carences en éléments mobiles (N, K) et peu retenus par les sols très sableux (Cacot *et al.*, 2007). Le risque de pertes par drainage serait alors accru et la fertilisation devrait être raisonnée en conséquence.

Dans les écosystèmes tempérés, la démonstration des effets d'une intensification des récoltes requiert des expériences sur le très long terme, peu communes, et les conclusions définitives ne seront disponibles que dans plusieurs décades. On peut en avoir une idée, malheureusement mal quantifiée, en examinant la production des vieux taillis sous futaie de chêne.

Une autre voie d'investigation possible repose sur les **essais de chaulage en forêt pratiqués depuis 30 ans**. A titre d'exemple, sur le long terme, le chaulage à faible dose des hêtraies de Fougères (35) augmente la production de 20 %. Mais, faute de synthèse portant sur un ensemble plus vaste d'essais de fertilisation, il n'est pas possible de généraliser ces conclusions. Par contre, en milieu tropical où la croissance est plus rapide, la démonstration a été faite dans les plantations intensives d'eucalyptus (Deleporte *et al*., 2008) : plus les exportations sont intenses lors d'une première révolution de 7 ans d'eucalyptus, moins la seconde génération est productive.

Facteurs de sensibilité des sols

La sensibilité des sols à l'appauvrissement et à l'acidification est très variable. Elle dépend de l'ensemble des flux d'éléments entrant et sortant de l'écosystème. Toutefois, elle est principalement liée à la **richesse originelle du substrat et à l'âge** (durée de formation) **du sol, via les apports par altération des minéraux** (Party, 1999) qui demeurent très difficiles à estimer. L'état actuel des réserves nutritives des sols en donne une idée approximative, ce qui fait du **taux de saturation du sol ou de son pH** une première approche de sa sensibilité à l'acidification (Cacot *et al*., 2006 ; chapitre 12). Cependant, dans le cas de plantations sur d'anciennes terres agricoles, la fertilité chimique héritée des sols peut masquer de faibles ressources naturelles et, à moyen terme, une forte sensibilité à l'appauvrissement.

Ainsi, les sols développés sur des matériaux riches et altérables (calcaires, marnes, basaltes, gneiss, granites calco-alcalins…) bénéficient d'un fort pouvoir tampon vis-à-vis de l'acidité et peuvent supporter

d'importants dépôts atmosphériques acides ou bien des exportations d'éléments nutritifs liés à une exploitation intensive de bois.

En revanche, les sols formés sur des matériaux pauvres et/ou peu altérables (sables, grès, granites grossiers et pauvres, schistes…) sont très sensibles aux contraintes d'appauvrissement et d'acidification. Dans ce cas, la fertilité chimique du sol dépend presque exclusivement du recyclage biologique des matières organiques et peut être fortement menacée par des prélèvements de biomasse intensifs ou fréquents.

Cartographie des sols vulnérables à l'échelle nationale et régionale

Depuis le milieu des années 1990, on dispose d'une vision nationale de l'état des sols forestiers basé sur les résultats analytiques du premier inventaire des sols forestiers français (MAP, 2006)[15].

Les sols forestiers sont nettement plus acides et désaturés (faible proportion de cations basiques dans le complexe d'échange cationique) que les sols agricoles (Badeau *et al.*, 1999). Cette différence tient au fait de l'occupation par les forêts de sols généralement ingrats (sols de montagne, sols hydromorphes, sols superficiels, etc.), sans apport d'intrants (engrais et amendements*) et où une perte d'éléments minéraux est souvent enregistrée, du fait de l'exportation sans restitution d'éléments minéraux par la sylviculture, du prélèvement de litière (soutrage) et du lessivage accru d'éléments minéraux par les dépôts atmosphériques acides.

L'importance des sols sensibles à l'acidification en France

La répartition spatiale du taux de saturation (S/T) du complexe cationique en éléments nutritifs (calcium, magnésium, potassium) de l'horizon 0-20 cm des sols du Réseau européen de suivi des forêts (MAP, 2006) montre que :

- **45 % de ces sols ont un taux de saturation en bases supérieur à 80 %, mais que ;**
- **16 % des sols ont un taux de saturation en bases faible, inférieur à 20 %.**

Il n'existe pas de seuils précis à partir desquels les arbres forestiers auraient nécessairement des problèmes de nutrition minérale, mais on sait que les risques augmentent fortement pour les S/T inférieurs à 10 % (6 % des sols). Les sols les plus désaturés sont principalement localisés dans les Vosges, le Grand Ouest (Normandie, Bretagne), le Massif central et le Massif landais.

Récemment, une carte de pH de surface des sols forestiers de France a été établie par le Le LERFoB (UMR INRA-AgroParisTech) à partir des données floristiques recueillies sur les placettes de l'IFN (figure 1). L'optimum de présence des espèces végétales forestières a été déterminé par rapport au pH du sol à partir de 3 835 placettes répertoriées dans la base ECOPLANT (Gégout *et al.*, 2005) et comprenant à la fois un inventaire floristique et une mesure de pH_{eau}* de l'horizon A. Le pH du sol a ensuite été estimé sur 104 375 relevés de l'IFN par calcul de la moyenne de pH optimal des espèces végétales recensées. Enfin, l'interpolation par krigeage* des valeurs de pH obtenues sur l'ensemble des relevés de l'IFN a permis d'obtenir une carte de France au pas kilométrique. La carte obtenue a été validée sur un jeu de données de pH indépendant et représentatif des forêts françaises : le réseau européen de suivi des dommages forestiers (maillage de 16x16 km).

Une carte des pH des sols dans les Vosges au pas de 50 m, résolution a été obtenue par le LERFoB en combinant aux données de l'IFN des variables de co-krigeage : géologie, topographie, climat. Quelle que soit sa résolution, une telle approche demeure estimative ; elle ne peut se substituer à l'observation de terrain mais constitue un intéressant outil d'aide à la gestion permettant d'estimer les ressources durablement mobilisables et d'optimiser l'organisation des exploitations à l'échelle d'un territoire.

L'application des classes de pH du guide ADEME (Cacot *et al*., 2007) à la carte de pH des sols LERFoB-IFN permet ainsi d'obtenir une **carte de sensibilité à l'acidification des sols forestiers de France**. Si sa

[15] Cet inventaire a été réalisé dans le cadre du programme européen de suivi des forêts (règlement Union européenne / Programme international concerté sur l'évaluation et le suivi des dommages de la pollution atmosphérique aux forêts)

résolution kilométrique est bien trop imprécise pour déterminer la sensibilité du sol dans une parcelle forestière donnée, elle donne un aperçu des possibilités d'exploitation des rémanents et des surfaces amendables à l'échelle nationale ou régionale. En la croisant avec les surfaces forestières définies dans la base de données d'occupation des sols CORINE Land Cover, on obtient la répartition suivante des surfaces forestières selon les classes de sensibilité aux exportations du guide ADEME (Cacot *et al*., 2007) :

- **57 % sur sols peu sensibles (pH ≥ 5,5) ;**
- **29 % sur sols moyennement sensibles (4,5 < pH < 5,5) ;**
- **14 % sur sols fortement sensibles (pH ≤ 4,5).**

On retrouve sensiblement la répartition globale des sols selon leur sensibilité donnée par le réseau 16 x 16 km, mais la représentation spatiale (figure 1) est bien entendu d'une bien meilleure résolution.

La proportion de sols « sensibles » et « moyennement sensibles » situe la France à mi-chemin entre des pays comme l'Allemagne qui comporte une proportion bien supérieure de sols sensibles et les pays du sud, protégés notamment par des retombées importantes de calcium lié aux poussières sahariennes (Loÿe-Pilot *et al*., 1986).

Prévention et remédiation

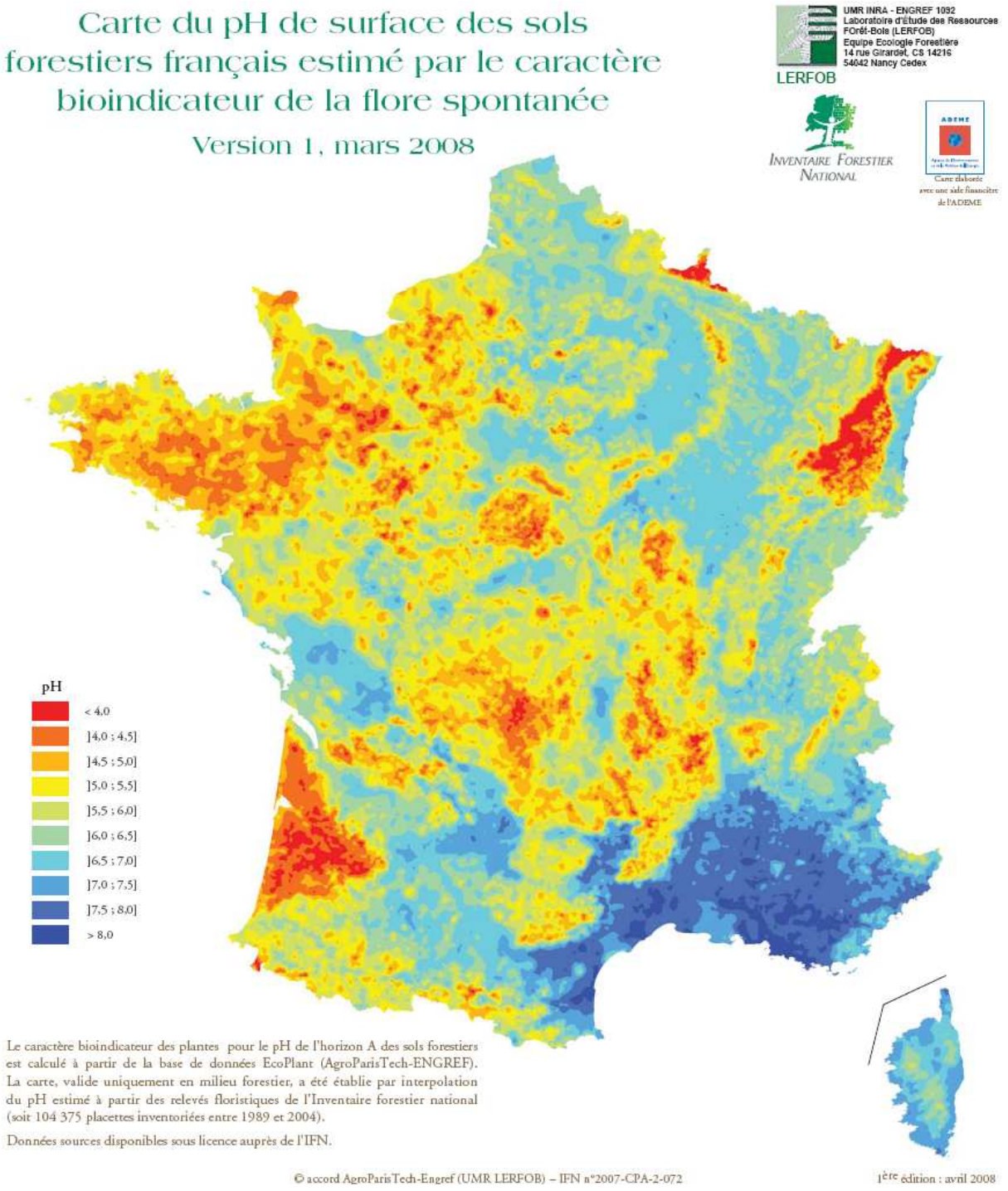
Il est possible d'éviter l'appauvrissement excessif des sols et l'acidification des eaux de surface :

- en adaptant les prélèvements de biomasse aux réserves nutritives des sols (Cacot *et al.*, 2006 ; chapitre 12) ;
- en procédant éventuellement à des amendements* calcaires préventifs sur les sols très sensibles.

Les amendements* calcaires (ou calco-magnésiens) constituent un remède bien connu et largement utilisé récemment, particulièrement en Allemagne, pour compenser les effets des dépôts atmosphériques acides (Bonneau, 1995). Il est parfois utile d'y adjoindre des éléments tels que P ou K pour résoudre les problèmes de déséquilibre de l'offre en éléments nutritifs du sol. Ils permettent de restaurer le bon fonctionnement des sols à moyen terme, de remédier aux éventuelles carences minérales des arbres (Bonneau *et al*, 1994, 1995) et même, dans certains cas, d'améliorer la qualité des cours d'eau acidifiés en aval (Angéli, 2006). Cependant, les dommages de l'acidification, notamment à la biodiversité des sols et des écosystèmes aquatiques cicatrisent lentement. Beaucoup d'espèces disparues des milieux acidifiés ont besoin de temps pour les recoloniser une fois qu'un amendement* a été réalisé.

Or la gestion forestière se passe généralement (à l'exception notable en France du massif landais) de fertilisation* ou d'amendement* et de travail mécanique, mis en œuvre pour maintenir la fertilité et la structure des sols agricoles. Il est probable que, pour des raisons de coût et – peut-être paradoxalement – pour des considérations environnementales, les gestionnaires souhaiteront continuer à s'en passer à l'avenir. Cependant, il paraît inévitable que se reposera dans la perspective d'intensification de l'exploitation de biomasse, la question de l'intérêt ou la nécessité d'étendre ces pratiques compensatrices.

Figure 1. Image de la carte de pH de surface des sols forestiers de France (LERFoB-IFN) disponible sur le site Internet de l'IFN (http://www.ifn.fr/spip/).



2.2 Tassement des sols

En forêt, le prélèvement de biomasse implique généralement le recours à des engins d'exploitation lourds pour le débusquage*, le débardage* et de plus en plus aussi pour l'abattage des arbres (chapitre 4). La circulation de ce type d'engins induit sur le sol une contrainte de tassement et, très rapidement, des dégradations : moins de 3 passages d'engins suffisent à provoquer l'essentiel du tassement d'un sol humide au cours d'une intervention (McNabb *et al.*, 2001). Ces dégradations ont des conséquences à long terme, dont la réversibilité naturelle reste souvent incertaine sinon très lente, et les possibilités de remédiation artificielle très partielles. Il convient donc de se concentrer sur leur prévention.

Mécanismes et conséquences

Le tassement du sol altère sa structure et réduit son aération. La perte de porosité du sol entraîne (voir la synthèse de Lamandé *et al*., 2005) :

- un ralentissement des transferts d'eau et de gaz dans le sol, à l'origine de temps de ressuyage plus long après les pluies et de phénomènes d'engorgement et d'asphyxie plus fréquents ;
- une augmentation de la résistance du sol à la pénétration.

Ces deux facteurs se répercutent sur la prospection des racines (Wilpert et Schäffer, 2006) et par conséquent sur la stabilité, la croissance et la capacité de régénération des peuplements forestiers.

L'activité biologique des sols est également altérée, la perte d'aération inhibant l'activité de nombreux organismes, notamment celle des lombriciens (Radford *et al*., 2006), qui intervient fortement dans la décomposition des matières organiques et dans la structuration du sol. La plus grande fréquence de conditions anoxiques favoriserait par ailleurs l'émission de gaz à effets de serre (N_2O, CH_4) (Teepe *et al*., 2004).

Facteurs de sensibilité des sols

La sensibilité d'un sol au tassement dépend de ses caractères intrinsèques (texture, pierrosité, hydromorphie) mais aussi, pour une bonne part, de son état d'humidité (cf. contribution impacts sur les sols). Ainsi, un sol gorgé d'eau sera toujours sensible tandis qu'un sol sec sera toujours portant. Dans la plupart des cas, le risque de dégradation du sol ne pourra donc être évalué que la veille ou quelques jours avant la date prévue pour une exploitation. Cependant, la connaissance des caractères intrinsèques du sol permet d'appréhender différentes hypothèses de sensibilité au tassement suivant l'état d'humidité (Jabiol *et al.*, 2000). On pourra ainsi distinguer *a priori* :

- des **sols peu sensibles toute l'année** (cas des sols très sableux ou très caillouteux non hydromorphes) ;
- des **sols très sensibles toute l'année** (cas des tourbières et autres sols avec traces d'hydromorphie permanente) ;
- des **sols sensibles une partie de l'année** parmi lesquels il est difficile de déterminer à l'avance combien de temps et à quel moment il est possible de mener une exploitation terrestre au cours d'une année. En revanche, l'observation de la texture et de l'hydromorphie permet de distinguer des sols présentant une sensibilité au tassement plus prononcée et/ou sur une période *a priori* plus longue :
- un sol à **texture dominante limoneuse ou sablo-limoneuse** présentant à la fois une grande sensibilité au tassement à l'état humide et une très faible capacité de restructuration ne doit être parcouru que s'il est bien sec pour écarter tout risque de dégradation ;
- la présence de traces d'**hydromorphie temporaire** nettes et proches de la surface (moins de 50 cm de profondeur) indique un ressuyage lent du sol, qui restreint les périodes de portance par rapport à un sol bien drainé et qui peut lui-même être aggravé par des dégâts de tassement.

La réalité de terrain est parfois nettement plus complexe, le sol étant constitué d'horizons superposés dont les propriétés et donc les sensibilités au tassement peuvent être très différentes (ex : limons sur argiles, sables sur argiles hydromorphes…). Ces différences de sensibilité au sein d'un profil de sol varient également au cours du temps en fonction de son état d'humidité : en phase d'humectation notamment, la surface du sol est plus humide tandis qu'elle est plus sèche que les horizons profonds en période de ressuyage. De ce fait, le passage d'engins peut parfois engendrer des dégâts superficiels bien visibles mais sans conséquences profondes. A l'inverse, ce passage peut créer un tassement important en profondeur, pouvant aggraver une contrainte d'engorgement, sans dégâts apparents de surface.

Cartographie à l'échelle nationale

Il n'existe pas pour le moment de carte de sensibilité des sols forestiers au tassement. Néanmoins, il serait envisageable d'établir des cartes de sensibilité potentielle des sols tenant compte de la texture, de la pierrosité et de la présence de traces d'hydromorphie temporaire ou permanente.

A l'échelle nationale ou régionale, il serait possible d'utiliser les mêmes points de relevé de l'IFN que ceux employés pour l'estimation du pH de surface des sols. En effet, parmi les informations enregistrées par l'IFN figurent des données de texture, de pierrosité et d'hydromorphie des sols. Ces données collectées par observation morphologique des sols sont assez sommaires mais suffisantes pour déterminer quelques grands types de sensibilité de sols au tassement. Cette piste de cartographie est actuellement à l'étude en Lorraine dans le cadre d'un partenariat regroupant IFN, ONF, CRPF, Forêt et Bois de l'Est, INRA et ENGREF-AgroParisTech.

Prévention et remédiation*

La restauration naturelle des sols tassés fait appel à de lents processus de restructurations physiques (alternances de retrait/gonflement des argiles ou de gel/dégel) et biologiques (activité d'organismes fouisseurs, principalement des lombriciens et prospection racinaire). Les activités biologiques susceptibles de restructurer les sols sont de fait très inhibées et, dans le cas de sols très limoneux, le faible taux d'argile limite les possibilités de restructuration physique. On observe ainsi, sur ces sols limoneux, des impacts visibles plusieurs dizaines d'années après le passage d'engins (Wilpert et Schäffer, 2006). Les outils de restauration artificielle des sols tassés (labour, sous-solage…) sont d'une efficacité limitée et d'un coût important, alors que les possibilités d'accélération des processus biologiques de restructuration des sols par amendement* en contexte acide restent encore à approfondir.

La prévention demeure donc le principal moyen de lutte contre la dégradation des propriétés physiques des sols. En bref, il suffit de ne pas circuler avec des engins communs d'exploitation terrestre sur des sols sensibles au tassement. Concrètement, cela nécessite avant tout une meilleure organisation de l'exploitation :

- dans l'espace et dans le temps, en réservant en période humide l'exploitation sur sols peu sensibles par tout temps (sols très sableux ou très caillouteux non hydromorphes) et en focalisant le prélèvement de bois sur les autres sols en période sèche. Il faudrait pour cela pouvoir déterminer l'état hydrique du sol en continu à partir de variables climatiques, ce qui nécessiterait l'utilisation de modèles à tester sur des sites de recherche ;
- au sein de chaque parcelle forestière, en limitant le passage d'engins aux seuls cloisonnements* ;
- dans les filières de transformation, en reconstituant des stocks de bois et en évitant de travailler en flux tendus, afin de ne pas avoir à exploiter la forêt par tout temps ;
- en développant des systèmes de débusquage* et de débardage* respectueux des sols (câbles aériens y compris en plaine, cheval, cheval de fer).

2.3. Érosion des sols

L'érosion est un phénomène naturel de transport des particules de sol par le ruissellement et par le vent.

Mécanismes et facteurs de sensibilité

L'érosion touche tous les sols, mais elle est nettement plus importante dans des conditions de :

- forte pente et dénivelé ;
- fortes précipitations (érosivité des pluies) ;
- sol instable : la stabilité structurale du sol et l'érodibilité du matériau parental dépendent par exemple du taux d'argiles ou de matières organiques du sol (respectivement positivement et négativement) ;
- sol provisoirement dépourvu de couvert végétal (Hartanto *et al*., 2003).

C'est donc bien entendu en montagne que les problèmes de perte de sol sont les plus importants ; cela a motivé au 19e siècle le reboisement des massifs montagneux fortement érodés, particulièrement dans le Sud-Est de la France. Aujourd'hui, les services de restauration des terrains de montagne (RTM) se préoccupent de l'état des forêts qui assurent ce rôle de protection important. Le risque d'érosion fait ainsi partie intégrante de la gestion des forêts de montagne.

C'est principalement en **modifiant la couverture végétale que le gestionnaire forestier peut influer, positivement ou négativement, sur le risque d'érosion**.

En montagne, **l'entretien de peuplements jeunes et peu denses** constitue un axe important de lutte contre l'érosion ; il vise à assurer une plus grande résistance et une meilleure résilience du couvert forestier face aux fortes perturbations (tempêtes, attaques parasitaires, feu…) (Rey et Berger, 2006). Par contre, le prélèvement de biomasse peut accélérer le phénomène d'érosion **s'il met le sol à nu** (Fernandez *et al.*, 2004).

En dehors du contexte spécifique des forêts de montagne, l'érosion des sols peut avoir des conséquences dommageables quoique moins spectaculaires en causant des dommages aux milieux aquatiques par **colmatage et des perturbations du fonctionnement hydrologique des cours d'eau** (chapitre 11).

En outre, les **voies de passage d'engins** semblent responsables de la plus grande partie de l'érosion hydrique sur des reliefs de collines ou de moyenne montagne (Croke *et al*., 1999). En particulier, sur des pentes de l'ordre de 20 à 45 %, la circulation d'engins d'exploitation reste possible mais uniquement sur des cloisonnements implantés dans le strict sens de la pente, qui constituent des couloirs de ruissellement importants.

En milieu forestier, l'absence de travail du sol et la couverture permanente du sol par la végétation limitent fortement l'érosion par rapport au domaine agricole et notamment aux paysages de grandes cultures (Le Bissonnais *et al*., 2002). Cependant, les **accidents climatiques ainsi que certaines pratiques forestières** peuvent amener un risque d'érosion

- transitoire en dénudant les sols de manière temporaire, suite à des chablis, coupes rases ou en cas d'andainage*, ou ;
- plus permanent, par ouverture de cloisonnements.

Le risque associé aux cloisonnements varie en fonction de la pente qui joue sur les dégâts potentiels d'érosion par la pluie et module les possibilités de passage d'engins d'exploitation terrestre et l'orientation des cloisonnements. C'est ainsi que :

- en haute montagne, la pente plus forte empêche le passage d'engins d'exploitation terrestre et donc le risque d'érosion préférentielle sur des cloisonnements. En revanche, elle accentue le risque associé aux coupes rases ;
- en moyenne montagne, le risque est lié à l'enlèvement du couvert forestier mais surtout au ruissellement sur les cloisonnements, l'inclinaison permettant souvent le passage d'engins d'exploitation mais strictement dans le sens de la pente ;
- en plaine, la couverture quasi-permanente du sol par la végétation et l'absence générale de travail du sol limite très fortement le risque d'érosion des sols forestiers par la pluie ou par le vent.

Par ailleurs, les ripisylves* jouent un rôle très important dans la stabilisation des bordures de cours d'eau, leur érosion pouvant entraîner des pertes considérables de matériau. Toutefois ces zones boisées

occupent une surface restreinte et font l'objet d'une gestion particulière où les impacts potentiels des prélèvements de biomasse sont difficilement estimables.

Cartographie à l'échelle nationale

Plusieurs études ont été menées depuis une vingtaine d'années pour cartographier le risque d'érosion des sols au niveau national (Pihan, 1979 ; Cadeville et Vogt, 1995 ; Le Bissonnais *et al.* 2002) ou à un niveau régional (King *et al.*, 1991 ; ESAP, 1993 ; Souadi *et al.*, 2000). Les études les plus récentes (Souadi *et al*., 2000 ; Le Bissonnais *et al*., 2002) ont l'avantage d'intégrer l'ensemble des facteurs énumérés plus haut (pente, érosivité des pluies, érodibilité et occupation des sols) et d'utiliser une méthodologie homogène à l'échelle nationale.

Cependant, ces études sont axées sur le risque d'érosion des sols agricoles, le risque d'érosion en sol forestier étant globalement réputé négligeable. Ces études ne tiennent pas compte des risques liés à la mise à nu des sols forestiers et à la conception de la desserte.

Il existe par ailleurs plusieurs types de **cartes d'aléas érosion au niveau local à destination de la prévention des risques en montagne**. Parmi elles, les cartes d'aléas communales, réalisées ou validées par les services RTM, renseignent un **risque de ravinement sur la base d'observations de terrain** (lithologie, couverture végétale, pente) à l'échelle du 1/10 000^{e}. De plus, une nouvelle cartographie d'aléas au 1/25 000^{e} doit être réalisée pendant les 5 prochaines années pour l'ensemble les forêts domaniales de montagne, afin d'appréhender le renouvellement des forêts de protection. La méthode appliquée pour le diagnostic de l'aléa érosion est simple, principalement basée sur la lithologie, mais présente l'avantage, en faisant abstraction de la couverture végétale et des éventuels ouvrages de protection, de bien traduire les aléas potentiels à l'échelle du bassin versant.

Ces cartes locales d'aléas ne couvrent certes qu'une part limitée des forêts concernées par l'érosion en excluant notamment la majeure partie des moyennes montagnes (Massif central et Vosges notamment), où l'expertise en matière d'érosion est moindre.

Prévention et remédiation

La prévention de l'érosion implique donc principalement des précautions dans les modalités d'exploitation en sol pentu :

- maintenir un **couvert végétal permanent**, notamment en limitant la taille des trouées et en évitant l'andainage* ou le brûlage des rémanents (Gauquelin et Courbaud, 2006) ;
- stabiliser les voies de passage d'engins par une couverture de rémanents et/ou par la mise en place régulière de passages d'eau permettant au matériau d'atterrir dans des petits sites de décantation hors des cloisonnements.

3. Recommandations et besoins de recherche

Concernant les risques liés à un appauvrissement des sols

La biomasse peut pratiquement toujours être récoltée, mais les impacts potentiels de son prélèvement dépendent fortement des modalités d'exploitation et de la sensibilité – très variable – des sols aux différentes contraintes. Les dégradations peuvent être lentes, non flagrantes, et parfois peu réversibles. Il nous faut :

- poursuivre le développement de **modèles de croissance des peuplements couplés à des tarifs de biomasse et de minéralomasse**. Un recours systématique à la modélisation pour évaluer les itinéraires sylvicoles conseillés aux praticiens est recommandé ;
- développer des **typologies de sensibilité des sols** et des **cartes nationales et territoriales de sensibilité des sols** afin d'optimiser la distribution de l'exploitation dans l'espace et dans le temps ;
- **former des gestionnaires et exploitants forestiers** pour le diagnostic local de la sensibilité des sols aux diverses contraintes ;

- approfondir nos connaissances de la dynamique des **matières organiques** en forêt pour prévoir l'impact des prélèvements de biomasse sur l'activité biologique des sols, la **nutrition des arbres en azote et en phosphore** ainsi que sur l'**évolution des stocks de carbone** ;
- analyser les résultats des essais de fertilisation. Une perte de fertilité, au sens de la **productivité des peuplements** (hauteur dominante), est probable si l'on passe en courte révolution sur des sols à ressources limitées. Quelques publications traitent de cette question dans des conditions proches des nôtres (Wimsley *et al*., 2009 en Ecosse). Les essais de fertilisation mis en place depuis 40 ans (Bonneau, 1995) – dont il n'existe pas de synthèse à l'heure actuelle – pourraient fournir des informations précieuses et irremplaçables s'ils étaient expertisés.

Concernant les risques de tassement

Les efforts récemment engagés dans ce domaine devront être poursuivis, et probablement diversifiés. Les recherches menées sur les deux sites expérimentaux mis en place en Lorraine en 2007 devraient permettre de progresser dans la compréhension des **dégâts de tassement** (influence des propriétés permanentes du sol, de l'humidité du,sol, de la charge des engins urd'exploitation) et des **possibilités de restauration** des sols à long terme. Parmi les sujets à évaluer plus avant, on peut citer l'idée d'un réseau dédié à cette question et comportant une gamme de sols plus variée, un **système d'alerte** basé sur la relation entre données climatiques (au jour le jour) et risque de tassement et, en amont, une évaluation de l'**état de tassement** des sols analysés dans les dispositifs de suivi continu.

Concernant les risques d'érosion

On pourrait probablement appliquer des méthodes de cartographie **intégrant les mêmes facteurs de risque** (topographie, pluies, stabilité et occupation des sols) pour estimer la sensibilité des sols forestiers à la perte de couverture végétale sur toute ou partie de leur surface. Concernant le facteur de stabilité des sols, les **relevés de l'IFN** pourraient en outre fournir une information spatiale dense et plus représentative que les cartes de sols majoritairement construites à partir de données agricoles. La topographie (pente et longueur de pente) pourrait être prise en compte à l'aide d'un modèle numérique de terrain au pas de 50 m et la pluviométrie à l'aide du modèle AURELHY au pas du km.

Gestion intégrée d'un ensemble de contraintes

En outre, il sera important :

- d'appréhender le croisement des différents types de sensibilité des sols afin de simplifier les outils de diagnostic et produire des recommandations techniques cohérentes dans tous les cas de figure ;
- de réfléchir sur les moyens d'adapter l'exploitation forestière, en lien étroit avec l'ensemble des acteurs de la filière bois. Car les modalités d'adaptation technique de l'exploitation à la sensibilité des sols (types d'engins, organisation des chantiers, capacités de stockage de bois) dépendent elles-mêmes d'aspects économiques (répartition des coûts d'exploitation entre gestionnaires, débardeurs et acheteurs de bois), juridiques (mode de vente des bois, clauses des contrats d'exploitation) et politiques (taxes et subventions). La recherche s'y attèle progressivement, en évaluant notamment des coûts d'exploitation intégrant les dégâts au sol (Bruciamacchie *et al.*, 2008). Mais l'adaptation de l'exploitation forestière nécessitera, pour être efficace, un travail coordonné avec l'ensemble des acteurs.

4. Références bibliographiques

Angéli N., 2006. Évolution de la composition chimique des ruisseaux Vosgiens. Analyse rétrospective et effet d'un amendement. Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en Géosciences de l'Université Henri Poincaré, Nancy I. Nancy, INRA (Biogéochimie des Ecosystèmes forestiers), 419 p.

Badeau, V., Dambrine, E., Walter, C. (1999) : Propriétés des sols forestiers français : Résultats du premier inventaire systématique. *Etude et Gestion des Sols*, 6, 3 : 165-180.

Bonneau M. et Ranger J., 1992, Exportations d'éléments minéraux par les exploitations forestières. In Landmann G. (ed), 1992. *Les recherches en France sur les écosystèmes forestiers. Actualités et perspectives*. Paris, Ministère de l'agriculture et de la forêt, fiche 39 : 81-82.

Bonneau, M. 1995. Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. Théorie, bases de diagnostic, conseils pratiques, réalisations expérimentales. ENGREF (Ed), Nancy 367 p.

Bonneau M., Landmann G., Garbaye J., Ranger J., Nys C., 1994. La gestion de la nutrition minérale et la restauration de la qualité des sols. n° sp. *Revue forestière française.*, 46 (2) : 579-585.

Bonneau M., Landmann G., Nys C., Ranger J., Dreyer E., 1995. Fertilization of declining conifers in the Vosges and the Ardennes : effects on soils nutrient cycling and tree health, growth and physiology. *In* : Landmann G., Bonneau M. (eds) 1995. *Forest decline and air pollution effects in the French mountains*, Springer Berlin Heidelberg New York, 300-328.

Bruciamacchie M., Costa S., Ibanez L., 2008. Analyse économique des coûts d'exploitation d'un chantier. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, (19) : 43-49.

Cacot E. (coord.), Charnet F., Graffin A., Pitocchi S., Ranger J., Nicolas M., Eisner N., Banet C., Berthelot A., Bouvet A., Fauconnier T., Fraysse J.-Y., Kermoal P., Lapeyre P., Maine P., Mendow N., Moreau J., Perinot C., 2007. Etude de l'impact du prélèvement des rémanents en forêt – Volet 3. Rapport final. Convention ADEME-FCBA n° 0501C0057. Paris, FCBA, 61 p. + annexes

Cacot E. (coord.), Eisner N., Charnet F., Leon P., Rantien C., Ranger J., 2006. Pour la récolte raisonnée des rémanents en forêt. Angers, Ademe, 36 p.

Cadeville G., Vogt H., 1995. « Fragilité des terres agricoles ». *In* Wieber J.-C., Brunet R., Auriac F. (coord.), *Atlas de France, milieux et ressources (vol 6).* Montpellier (GIP Reclus), Paris, *La documentation Française*, 108-112.

Cole, D.W. & Rapp, M., 1981 Elemental cycling in forest ecosystems. : 69 p. in : Reichle, D.E. (Ed.) : Dynamic properties of forest ecosystems : 341-409.

Croke J., Hairsine P., Fogarty P., 1999. Sediment transport, redistribution and storage on logged forest hillslopes in South-Eastern Australia. *Hydrological Processes*, 13 (17) : 2705-2720.

Dambrine E., Bonneau M., Ranger J., Mohamed D., Nys C., 1995. Cycling and budgets of acidity and nutrients in Norway Spruce stands in northeastern France and the Erzgebirge (Czech Republic). *In* : Landmann G., Bonneau M. (Ed.), 1995. *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains*. Berlin, Heidelberg, New-York, Springer, 233-258.

Deleporte P., Laclau J.-P., Nzila J.-D. *et al.* Effects of slash and litter management practices on soil chemical properties and growth of second rotation Eucalypts in the Congo. In : Nambiar EKS (Ed). Site Management and productivity in tropical plantation forests. Proceedings of workshops in Piracicaba (Brazil) 22-26 November 2004 and Bogor (Indonesia) 6-9 November 2006. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor 2008 : 236 p.

Dupouey J.-L., Thimonier A., Lefèvre Y., Le Tacon F., Bonneau M., Dambrine E., Poszwa A., Landmann G., 1998. Désaturation et enrichissement en azote des sols forestiers du Nord-Est de la France au cours des dernières décennies. *Revue forestière française* 50(5) : 391-401.

Duquesnay, A. 1998. Changements de la composition foliaire et de la productivité des hêtraies dans le quart Nord-Est de la France entre 1970 et 1995. Thèse Univ. Nancy I, 222 p.

Duquesnay A., Dupouey J.L. Clement A., Ulrich E. and Le Tacon F., 2000, Spatial and temporal variability of foliar mineral concentration in beech (*Fagus sylvatica*) stands in north-eastern France, *Tree Physiology.* 20 (2000) : 13–22.

Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan, 1993. Gestion régionale sols et sensibilité à l'érosion. Mise au point d'une méthodologie basée sur les SIG. 41 p.

Fernandez C., Vega J.-A., Gras J.-M., Fonturbel T., Cuinas P., Dambrine E., Alonso M., 2004. Soil erosion after *Eucalyptus globulus* clearcutting - differences between logging slash disposal treatments. *Forest Ecology and Management*, 195 (1-2) : 85-95.

Gauquelin X., Courbaud B. (Coord.), 2006. *Guide des sylvicultures de montagne. Alpes du Nord françaises*. Grenoble, Cemagref, CRPF Rhône Alpes, ONF, 289 p.

Gégout J.-C., Coudun C., Bailly G., Jabiol B., 2005. EcoPlant : a forest site database linking floristic data with soil and climate variables. *Journal of Vegetation Science*, 16 (2) : 257-260.

Gelhaye D., Ranger J., Bonneau M., 1997. Biomasse et minéralomasse d'un taillis à courte révolution de peuplier Beaupré installé sur sol acide hors vallée, amélioré par fertilisation. *Annales des Sciences forestières*, 54 (7) : 649-665.

Gelpe J., Lefrou G., 1986. Essai de fertilisation minérale sur Pin maritime à Mimizan (Landes). Résultats après la 26e année. *Revue forestière française*, 38(4) : 294-400.

Glatzel G., 1991. The impact of historic land use and modern forestry on nutrient relations of Central European forest ecosystems. *Fertilizer Research*, 27 : 1-8.

Hartanto H., Prabhu R., Widayat A.S.E, Asdak C., 2003. Factors affecting runoff and soil erosion : plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. *Forest Ecology and Management*, 180 (1) : 361-374.

Hofmeister J., Oulehle F., Krám P. and Hruška J., 2008. Loss of nutrients due to litter raking compared to the effect of acidic deposition in two spruce stands, Czech Republic Biogeochemistry,88 (2) : 139-151

Jabiol B., Ranger J., Richter C., 2000. Sol sensible ou résistant ? Eléments simples de diagnostic de la sensibilité à la dégradation chimique ou physique. *La Forêt Privée*, (253) : 30-46.

Jonard M., André F., Dambrine E., Ponette Q., Ulrich E., 2009. Temporal trends in the foliar nutritional status of the French, Walloon and Luxembourg broad-leaved plots of forest monitoring. *Annals of Forest Science*, 412-422.

Jonard M., Ulrich E., Giot-Wirgot P., Dambrine E., 2008. RENECOFOR - Facteurs explicatifs de la variabilité et évolution temporelle de la nutrition foliaire dans les réseaux de suivi à long terme des écosystèmes forestiers de France (RENECOFOR), de Belgique (Wallonie) et du Grand-Duché de Luxembourg (période 1993-2005). Editeur : Office National des Forêts, Direction Technique et Commercial Bois, 67 p.

King D., Hardy M., Le Bissonnais Y., 1991, *Evaluation spatiale de la sensibilité à l'érosion hydrique des terres agricoles de la région Nord-Pas-de-Calais*. INRA, Conseil régional de la région Nord-Pas-de-Calais, 208 p.

Lamandé M., Ranger J., Lefèvre Y., 2005. Effets de l'exploitation forestière sur la qualité des sols. Paris, Office national des forêts. Collection « *Les Dossiers Forestiers* », n° 15, 131 p.

Landmann G., Bonneau M. (Ed.), 1995. *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains*. Berlin, Heidelberg, New-York, Springer, 461 p.

Landmann G., Hunter I.R., Hendershot W., 1997. Temporal and spatial development of magnesium deficiency in forest stands in Europe, North America and New Zealand. *In* : Huttl R.F.; Schaaf W. (eds) : *Magnesium Deficiency in Forest Ecosystems*. Great Britain, Kluwer Academic Publishers, 23-64.

Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C., Daroussin J., 2002. *L'érosion hydrique des sols en France*. Orléans, IFEN-INRA, 106 p.

M. D. Loÿe-Pilot, J. M. Martin & J. Morelli, 1986. Influence of Saharan dust on the rain acidity and atmospheric input to the Mediterranean *Nature* 321, 427 – 428.

MAP, 2006. *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises - Edition 2005.* Paris, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 148 p.

McNabb D. H., Startsven A. D., Nguyen H., 2001. Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 65 (4) : 1238-1247.

Party J.-P., 1999. *Acidification des sols et des eaux de surface des écosystèmes forestiers français : facteurs, mécanismes et tendances. Taux d'altération sur petits bassins-versants silicatés. Applications au calcul des charges critiques*. Thèse de doctorat. Soutenance du 5 mars 1999. Strasbourg, Université Louis Pasteur de Strasbourg I (mention Géochimie de l'Environnement), 235 p.

Pihan J., 1979. Risques climatiques d'érosion hydrique des sols en France. Colloque sur l'érosion agricole en milieu tempéré non méditerranéen, Strasbourg, 20 - 23 Septembre 1978, 13-18.

Radford B. J., Wilson-Rummenie A. C., Simpson G. B., Bell K. L., Ferguson M. A., 2001. Compacted soil affects soil macrofauna populations in a semi-arid environment in central Queensland. *Soil biology and biogeochemistry*, 33 (12-13) : 1869-1872.

Ranger J., Badeau V., Dambrine E., Dupouey J.-L, Nys C., Party J.-P., Turpault M.-P., Ulrich E., 2000. Evolution constatée des sols forestiers au cours des dernières décennies. *Revue forestière française*, 52 (n° sp) : 49-70.

Ranger J., Allie S., Gelhaye D., Pollier B., Turpault M.-P., Granier A., 2002. Nutrient budgets for a rotation of a Douglas-fr plantation in the Beaujolais (France) based on a chronosequence study. *Forest Ecology and Management,* 171 (1) : 3-16.

Ranger J., Bonneau M., 1984. Effets prévisibles de l'intensification de la production et des récoltes sur la fertilité des sols de forêt. I. Le cycle biologique en forêt. *Revue forestière française*, 36 (2) : 93-112.

Ranger J., Bonneau M., 1986. Effets prévisibles de l'intensification de la production et des récoltes sur la fertilité des sols de forêt. II. Les effets de la sylviculture. *Revue forestière française*, 38 (2) :105-123.

Ranger J., Turpault M.P., 1999. Input-output nutrient budgets as a diagnostic tool for sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, 122, 1-2 : 139-154.

Rey F., Berger F., 2006. Management of Austrian black pine on marly lands for sustainable protection against erosion (Southern Alps, France). *New Forests*, 31 (3) : 535-543.

Souadi T., King C., Bourguignon A., Maurizot P., Denis L., Le Bissonnais Y., Souchere V., Lecour A., 2000. Cartographie régionale de l'aléa « érosion des sols » en région Haute-Normandie. BRGM – INRA, rapport BRGM, octobre 2000, 6 p.

Tamm C.O., Hallbacken, L., 1986. Changes in soil acidity from 1927 to 1982-1984 in a Forest area of SoutWest Sweden, Scand. j. For. Res. 1, 219-232.

Teepe R., Brummme R., Beese F., Ludwig B., 2004. Nitrous oxide emission and methane consumption following compaction of forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 68 (2) : 605-611.

Thimonier A, Dupouey J L et Le Tacon F (2000) Recent losses of base cations from soils of *Fagus sylvatica* L. stands in northeastern France. *Ambio*, 29, 414-321.

Ulrich E., Lanier M., Croise L., 2007. Evolution de l'acidité, des concentrations de soufre et de l'azote dans les précipitations analysées sur le réseau Renécofor (période 1993 à 2005). *Rendez-vous techniques de l'ONF*, (15) : 3-8.

Wilpert K. V., Schäffer J., 2006. Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics : a preliminary study. *European Journal of Forest Research*, 125 (2) : 129-138.

Walmsley J.D., Jones D.L., Reynolds B., Price M.H., Healey J.R., 2009. Whole tree harvesting can reduce second rotation forest productivity. *Forest Ecology and Management* 257: 1104-1111.

CHAPITRE 11

IMPACTS DE L'UTILISATION ACCRUE DE BIOMASSE FORESTIÈRE SUR LES EAUX DE SURFACE

Etienne Dambrine, André Granier

et Nathalie Bréda, INRA Nancy,

François Guérold, Université de Metz,

Anne Probst, CNRS - Université de Toulouse

Claude Cosandey, CNRS Paris,

Manuel Nicolas, ONF-INRA

1. Contexte

L'incidence de la gestion forestière sur les eaux est une question aussi ancienne que l'hydrologie forestière. Pour autant, on est loin d'avoir clarifié tous les mécanismes très complexes en jeu, et on a encore moins exploré toutes les hypothèses à présent évoquées d'évolution de la gestion forestière et des autres utilisations du sol (voir les scénarios en chapitre 3).

Doit-on craindre que certaines évolutions ne remettent en cause les avantages naturels liés – ou supposés liés – à la forêt ?

Dans ce chapitre, nous présentons une courte analyse de l'influence d'une utilisation accrue de biomasse forestière sur :

- le bilan hydrique des écosystèmes forestiers et les quantités d'eau drainées ;
- les modifications de la composition des eaux.

Ces deux termes sont d'ailleurs souvent liés par le jeu des effets de concentration-dilution.

Nous n'analyserons pas les répercussions sur les nappes souterraines mais ferons par contre référence à l'avantage que l'on pourrait tirer d'une instrumentation des propriétés épuratrices des forêts par le biais

de zones humides construites (constructed wetlands), pour permettre de combiner production de biomasse et épuration naturelle des eaux.

2. Impacts de l'utilisation accrue de biomasse forestière sur le régime des cours d'eau et l'alimentation des bassins versants

2.1. Impacts des changements d'utilisation des terres et de la gestion forestière sur le bilan hydrique des écosystèmes et les quantités d'eau drainées

Les changements d'utilisation des terres et de la gestion forestière ont un impact sur les flux d'eau, notamment sur l'évapotranspiration et le drainage.

De façon schématique, on peut établir une typologie des pratiques de gestion ayant un impact sur le bilan hydrique des surfaces végétales.

Les changements d'utilisation des terres

Quelques données expérimentales démontrent de **fortes différences d'évapotranspiration (ETR) entre forêts et prairies** (Granier, 2007), la différence entre forêts et certains types de cultures grandes consommatrices d'eau étant moins évidentes. Ces végétations basses sont caractérisées par :

- des flux de transpiration sensiblement plus faibles que les forêts, en liaison avec une différence d'indice foliaire (LAI*), souvent plus élevé pour les forêts ;
- une interception des précipitations souvent faible à négligeable, alors que ce terme atteint 20 à 35 % de la pluie incidente sous les climats tempérés pour les arbres ;
- des enracinements relativement plus superficiels pour les végétations herbacées, conduisant à une plus faible capacité d'extraction d'eau dans le sol en conditions de sécheresse.

Il est maintenant bien connu que les arbres sont capables de dessécher très fortement les sols, au-delà de ce que peuvent dessécher les prairies ou la plupart des cultures. De ce fait, **la substitution d'un taillis à courte révolution (TCR) à une forêt gérée de manière extensive aura un impact bien moindre sur le bilan hydrique que la substitution d'un TCR ou d'une forêt à une prairie**.

La modélisation est nécessaire pour analyser quantitativement des situations concrètes en utilisant cette typologie d'utilisation du sol. A cet effet, il est nécessaire de connaître : 1) les paramètres des différentes espèces, 2) la distribution spatiale de la couverture végétale, des sols et du climat. Ces paramètres sont issus de mesures de flux et de stocks d'eau réalisés à l'échelle de la parcelle, notamment dans des sites-ateliers sur des cultures, prairies ou forêts. Les observatoires de recherche sur l'environnement fournissent ce type d'informations.

La gestion des écosystèmes forestiers

La gestion de la structure et de la composition des peuplements forestiers module également leurs bilans hydriques. Les deux facteurs qui ont une influence bien connue sur ces derniers sont :

- l'**éclaircie des peuplements forestiers**) (Aussenac *et al.*, 1982, 1995). La conséquence directe est une diminution des surfaces foliaires (Bréda, 1999) et d'absorption d'eau dans le sol. **L'effet sur l'évapotranspiration (ETR) n'est réellement significatif que si la diminution de l'indice foliaire* ou LAI* est conséquente**. Des expérimentations réalisées sur résineux et sur feuillus montrent que jusqu'à un prélèvement de 25-30 % des arbres, l'incidence sur l'ETR donc sur les flux de drainage restait faible (Granier et Bréda, 2007). La raison est qu'après éclaircie : i) la transpiration des arbres restants dans le peuplement augmente, ii) alors que l'interception des précipitations diminue peu et iii) que la transpiration du sous-étage et l'évaporation du sol augmentent. En d'autres termes, une dynamisation de la sylviculture peut augmenter les réserves d'eau disponibles pour les arbres sur pied (dans la perspective notable d'un risque sécheresse augmenté) mais sans accroître de manière conséquente le drainage d'eau sous le peuplement global (Bréda et Roman Amat, 2002) ;

- **la substitution d'espèces forestières.** Il existe, au niveau du bilan hydrique, des différences marquées entre des peuplements de feuillus et de résineux. La première, d'ordre phénologique, tient à la présence de feuilles (aiguilles) des résineux toute l'année ; alors que les espèces décidues n'ont pas encore de feuilles, les résineux peuvent transpirer notablement lorsque l'énergie disponible est suffisante, particulièrement pendant les mois d'octobre, mars et avril. La deuxième raison est liée à la structure contrastée de ces deux types de peuplements : l'interception des précipitations par les couverts résineux est plus élevée, son augmentation entraînant celle de l'ETR et en conséquence la diminution du drainage (Granier *et al*., 1995, Bréda *et al*., 2004). Ainsi, globalement, **à climat et LAI* identiques, les écoulements sous peuplements de résineux sont plus faibles que sous feuillus**.

2.2. Impacts du passage d'engins d'exploitation sur le régime des cours d'eau

Les études de terrain montrent que ce sont souvent les **aménagements associés à la déforestation** (mise en culture, drainage des sols, construction de routes, compaction des sols pendant les travaux forestiers) qui **sont responsables des pointes de crue** (Cosandey, 1993 ; Cosandey et Robinson, 2000). Lors d'opérations de déboisement, les travaux forestiers peuvent modifier l'état de surface, en créant de larges plages de sol à nu sur lesquelles un ruissellement peut prendre naissance ; les pistes forestières construites pour les besoins de l'exploitation sont autant de surfaces susceptibles de générer, conduire ou accélérer un ruissellement.

La circulation d'engins d'exploitation, en déclenchant ou en aggravant des phénomènes d'érosion des sols (chapitre 10), ont des **répercutions plus ou moins fortes sur le colmatage, le transfert de matières (re-suspension, mobilisation) et le fonctionnement hydrologique des cours d'eau** (forestiers ou non) en aval. C'est ce que montre une étude récente réalisée en Alsace et en Lorraine sur les conséquences de la tempête de 1999 et de la gestion forestière qui en a découlé sur les milieux aquatiques vosgiens (ONF, 2006). La mobilisation de particules dans le lit des ruisseaux, consécutive à l'érosion des versants et à l'augmentation de pics de crue, a eu des effets très négatifs sur les frayères*. Ces effets sont d'autant plus négatifs que les trajets des engins d'exploitation se rapprochent des ruisseaux. Lors de leur franchissement, il convient en particulier de prendre des précautions (chapitre 12). Dans un contexte différent, Fritsch (1990) et Bruijnzeel (1990) ont conclu de leurs études en forêt primaire amazonienne, sur les conséquences de la disparition de la forêt, que le tassement lié à l'utilisation d'engins lourds était responsable d'une grande partie du ruissellement qui se produit après la coupe. Dans une forêt primaire en Australie, Croke *et al.* (1999) estiment que les perturbations de surface perdurent pendant 5 ans après l'achèvement des travaux de coupe.

D'autres perturbations, comme une modification du régime hydrologique d'un bassin versant, peuvent également se produire. Par exemple, dans le petit bassin de la Latte, situé sur le versant du Mont Lozère, un tracteur est tombé dans une narse* lors de la coupe, et les ornières qu'il a créées pour en sortir ont évolué en ravine l'hiver suivant. Cette ravine a alors fonctionné en drainant la petite zone humide dont elle était issue. Lors de pluies même faibles pour la région, la nappe de versant, qui d'habitude ne participait pas aux écoulements de crue, s'est alors trouvée connectée par voie de surface avec le cours d'eau. Lorsque la nappe était suffisamment haute, les débits de crue ont pu être doublés. En contrepartie, lors des très fortes crues, qui résultent de la saturation de l'ensemble du bassin, le comportement du bassin n'apparaît pas modifié par la disparition de la forêt, ni même par les opérations de coupe, dont les effets deviennent négligeables au regard du facteur climatique (Cosandey, 1993).

3. Impacts du prélèvement de biomasse sur la qualité chimique des eaux de surface

3.1. L'acidification des eaux de surface

Les importants **dépôts atmosphériques acides** reçus par les sols depuis les années 1950 dans une partie de l'Europe, et dans le Nord-Est de la France en particulier, ont eu un triple effet d'apport au sol d'acidité, de désaturation des sols en éléments nutritifs et d'accélération du drainage de cations par lixiviation de

nitrates et de sulfates (Landmann et Bonneau, 1995). Cela a entraîné, au début des années 1980, dans certains écosystèmes sensibles (Vosges, Ardennes) une **acidification des eaux de surface** (Probst *et al.*, 1990 ; Février *et al.*, 1999 ; Probst *et al.*, 1999) et une **altération du fonctionnement des écosystèmes aquatiques** (Massabuau *et al.*, 1995 ; Guérold *et al.*, 2000) :

- diminution de la biodiversité des cours d'eau, à l'exemple de la disparition des truites de nombreux ruisseaux vosgiens (Probst *et al*., 1990), réduction du nombre d'espèces d'invertébrés (Massabuau *et al.*, 1995 ; Guérold *et al*., 2000) et de champignons aquatiques (Baudoin *et al*., 2008) ;
- altération du fonctionnement écologique des ruisseaux forestiers, avec notamment un ralentissement marqué de la dégradation de la matière organique allochtone (Dangles *et al*., 2004) ;
- baisse du pouvoir tampon des eaux de source (Probst *et al.*, 1999), augmentation des concentrations en aluminium (Probst *et al.*, 1990) et métaux lourds (comme le plomb) dans les captages d'eaux potables (Dambrine *et al*., 1999).

L'acidification des eaux de surface peut intervenir à la suite de l'acidification des sols, mais ne se manifeste que lorsque plusieurs facteurs sont réunis :

- les **dépôts atmosphériques** ;
- de **fortes précipitations annuelles** ;
- **des sols et des couches géologiques** traversées par les eaux de pluie de compositions minéralogique et chimique **pauvres** (Probst *et al.*, 1995b ; Party, 1999 ; Nedeltcheva *et al*., 2006).

Si des sols et des roches riches en minéraux altérables sont soumis à un faible excès de précipitation par rapport à l'évapotranspiration, les sols et les eaux resteront bien entendu alcalins, mais, à l'inverse, dans le cas de sols très acides et soumis à fortes précipitations, les eaux de pluies qui traversent des substrats très pauvres en minéraux altérables produiront des sols très acides et des eaux de très faible alcalinité, sans cependant être nécessairement acides. Ceci s'explique par le fait que l'acidité carbonique résultant de la dissolution du CO_2 produit dans les sols par l'activité biologique ne peut abaisser le pH des eaux en dessous d'une valeur approximative de 5,6 et que les acides organiques (acides faibles) produits dans l'humus sont rapidement dégradés dans les sols de sorte qu'ils parviennent rarement dans les eaux.

En conclusion, il faut retenir que **pour entraîner une forte acidité des eaux, il faut mettre en œuvre des acides forts, nitrique ou sulfurique, dont l'origine est principalement la pollution atmosphérique**.

La sylviculture joue vis-à-vis de l'acidification des eaux de plusieurs façons :

- **en favorisant les résineux dans certains massifs, elle a accru, à conditions de pollution donnée, un drainage accru de sulfates et nitrates**. En effet, en raison de leur couvert permanent, les résineux captent davantage de polluants atmosphériques acides sous forme de dépôts secs* ou occultes* notamment et augmentent ainsi les dépôts de protons, de sulfates et nitrates. Probst *et al.* (1995b) ont ainsi montré que la perte de pouvoir tampon des eaux de ruisseaux des Vosges était plus importante sous résineux et Nedeltcheva *et al*. (2006) ont établi que la couverture résineuse des bassins versants vosgiens a un impact sur les concentrations en sulfates de l'eau à leur exutoire. De plus, il semble que certaines espèces comme le Douglas augmentent le drainage de nitrates (Jaffrain *et al*., en préparation), tandis que d'autres comme le hêtre le réduisent (Andrianarisoa *et al*., en préparation) ;
- **une exploitation forestière intensive et non compensée par amendement* peut accélérer un processus d'acidification des eaux** en cours en réduisant le taux de saturation en Ca et Mg des sols (c'est-à-dire en concourant à leur acidification). Un bilan à l'échelle de bassins versants plantés en résineux a montré que les prélèvements de cations par la biomasse constituent une source importante de protons (dans des pessières des Vosges ou du Mont-Lozère - Probst *et al*., 1995a), ce qui contribue largement à l'acidification des sols. Ce processus est d'autant plus significatif : i/ en présence d'espèces à forte productivité implantées sur sols désaturés (Durand *et al*., 1992) ; ii/ sur des sols recevant de faibles dépôts atmosphériques de cations nutritifs (particules de calcium notamment) capables de compenser les prélèvements par la biomasse (Moncoulon *et al.*, 2004) ;

- une exploitation forestière qui a recours à des **coupes rases**, et qui met **le sol à nu par les engins** peut accélérer les effets d'une acidification en cours en rendant plus superficiel le cheminement de l'eau ou/et en réduisant les temps de transit de l'eau dans les sols. Dans certains cas, les coupes rases entraînent une mise en solution de quantités importantes de **nitrates** (Didon-Lescot *et al*., 1998), mais de façon générale, l'effet n'est pas durable.

Par ailleurs, le prélèvement accru de biomasse peut aussi affecter directement l'**alimentation des ruisseaux forestiers en carbone**. En effet leur fonctionnement écologique repose en grande partie sur la dégradation de la biomasse végétale allochtone et des feuilles mortes (hétérotrophie) (Gessner *et al*., 1999).

En revanche, l'**apport d'amendement* calcaire** permet de restaurer la fertilité de sols appauvris (chapitre 10) et **améliore également dans certains cas les propriétés chimiques de cours d'eau acidifiés**. L'effet dépend notamment du temps de réponse des eaux de surface à ce type de traitement, lequel peut varier très fortement selon le temps de parcours de l'eau jusqu'à l'exutoire du bassin versant. Dans les Vosges, un amendement* calcaire en forêt dans un contexte de sols peu perméables a pu avoir une influence positive rapide sur la composition chimique de l'eau d'un bassin versant, tandis que la même opération dans un contexte de sols profonds et perméables et de roche poreuse (grès) n'a pas eu d'effet notable sur la qualité de l'eau pendant plusieurs années (Angéli, 2006).

3.2 Pollutions de natures diverses des eaux de surface

Dans des systèmes intensifs imparfaitement maitrisés, il y a des **risques de pollution liés** par exemple à un recours accru à **la fertilisation ou à des épandages de déchets industriels** (eaux usées, boues d'épuration, boues de papeterie, cendres) et à l'apport accidentel d'hydrocarbures par des engins d'exploitation en forêt (chapitre 12).

Dans l'hypothèse où ces pratiques de fertilisation ou d'épandage seraient intensifiées et étendues à des surfaces gérées jusqu'ici de manière extensive, elles pourraient engendrer un **drainage plus important en phosphate et en nitrate vers les eaux de surface**, de manière analogue aux effets d'une fertilisation agricole mal maîtrisée**. La fertilisation azotée pourrait contribuer à acidifier les sols** (production de protons par la nitrification) voire, d'après des travaux originaux récents, à augmenter les émissions de CO_2 liées aux processus d'altération (Perrin *et al.*, 2008).

4. Les systèmes combinant production de biomasse et pouvoir épurateur de la végétation: une opportunité réaliste ?

Le propos est ici d'introduire brièvement deux approches qui ont en commun d'utiliser les propriétés épuratrices de la végétation, mais dans des contextes différents.

Dans le premier cas, il s'agit de l'idée – qui a fait l'objet de quelques expérimentations (et d'un réseau de suivi) – de **l'utilisation d'eaux usées au sein de systèmes « classiques » de production (généralement intensive) de biomasse de type TTCR**. Beaucoup de travaux se développent à l'étranger et en particulier en Suède sur ces « constructed wetlands* ». Le développement de tels systèmes constitue une des opportunités liées au développement du bois-énergie. La bonne maîtrise des pollutions diverses des eaux à l'échelle du bassin versant, avec des répercutions écologiques et sanitaires potentielles est une condition au développement durable et accepté de ces systèmes. Il faudrait, le cas échéant, mener des recherches et déboucher sur des recommandations à l'échelle territoriale. Pour l'anecdote, signalons qu'il y a 40 ans déjà, Poncet (1970), alors ingénieur au service de restauration des terrains de montagne au CERAFER (Cemagref) et soucieux de trouver des solutions d'épuration plus esthétiques que les stations classiques, avait rapporté les travaux étrangers, particulièrement américains, sur la question dans la *Revue forestière française*.

Dans le second cas, l'idée est d'aménager de vastes zones de végétation forestière dans les bas fonds, pour favoriser l'épuration des eaux de surface polluées par les usages agricoles, par le jeu du ralentissement de l'eau et de la récolte de biomasse**. Ce thème n'a guère été abordé en France pour des raisons probablement liées à la sectorisation historique des questions de recherche liées à la forêt, à**

l'eau et au territoire. Pourtant, l'influence très positive des ripisylves* naturelles sur la qualité des eaux de surface a été largement démontrée et en particulier par des équipes de recherche en France (voir notamment Pinay et Decamps, 1988).

5. Conclusions et recommandations

L'influence de la forêt sur l'hydrologie des cours d'eau (écoulement annuel, atténuation des crues) est imparfaitement connue[16], mais il apparaît clairement que la **forêt réduit – quoique dans une proportion incertaine - l'écoulement annuel, au moins à l'échelle où peuvent intervenir des aménagements humains**.

En bref, plus le déficit hydrique est grand, les réserves en eau du sol abondantes, mais aussi les précipitations fines et fréquentes, et plus la végétation forestière aura tendance à réduire l'écoulement annuel (Cosandey, 2006). **Ses conséquences sur les ressources en eau peuvent apparaître comme négatives dans les régions où les ressources en eau sont limitées, et où il y a alors concurrence entre différents usages**. C'est en ayant à l'esprit ces conclusions qu'il faudra aller plus loin dans l'analyse (ou la prévention) des risques liés à certains scénarios d'aménagement du territoire et aux changements climatiques.

S'agissant de l'influence de la forêt sur de la qualité des eaux à l'échelle du bassin versant, il est clair que, de façon générale, **la forêt alimente cours d'eau (**Benoit et Fizaine, 1999) **et nappes souterraines en eau de grande qualité**. Les modifications négatives que peut entraîner la forêt (acidification des eaux dans les sites exposés aux dépôts acides, perte de nitrates) restent le plus souvent mineures par rapport à celles provoquées par l'agriculture intensive, la forêt recevant très peu d'intrants. Cette appréciation serait bien entendu remise en cause dans le cas d'une évolution radicale des pratiques en la matière, mais dans les conditions actuelles, les précautions prises (ou recommandées) doivent permettre que la forêt reste la source – et la référence - d'eau propre.

Au total, l'incidence d'un prélèvement accru de biomasse est susceptible de modifier de diverses manières les quantités et qualité des eaux de surface, à l'échelle locale comme à celle du grand bassin versant, mais **les problèmes sérieux seraient davantage à envisager dans le cadre de modifications importantes de l'utilisation des terres et, éventuellement, de modifications drastiques des pratiques sylvicoles qui pourraient intervenir, qui plus est, dans un contexte d'évolution défavorable du régime hydrique liée au changement climatique.** On serait donc avisé d'investir sans tarder dans un effort de recherche soutenu sur l'influence de ces facteurs à l'échelle du bassin versant.

6. Références bibliographiques

Angéli N., 2006. *Évolution de la composition chimique des ruisseaux Vosgiens. Analyse rétrospective et effet d'un amendement.* Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en Géosciences de l'Université Henri Poincaré, Nancy I. Nancy, INRA, 419 p.

Aussenac G., Granier A., Naud R., 1982. Influence d'une éclaircie sur la croissance et le bilan hydrique d'un jeune peuplement de Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Canadian Journal of Forest Research,* 12 (2) : 222-231.

Aussenac G., Granier A., Bréda N., 1995. Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. *Revue forestière française,* 47 (1) : 54-62.

Baudouin J.-M., Guérold F., Felten V., Chauvet E., Wagner P., Rousselle P., 2008. Elevated aluminium concentration in acidified headwater streams lowers aquatic hyphomycete diversity and impairs leaf litter breaddown. *Microbial Ecology*, 56 (2) : 260–269.

Benoit M., Fizaine G., 1999. Qualité des eaux en bassins forestiers d'alimentation. *Revue forestière française*, 51 ('2) 162-172.

[16] et comme le souligne Bruijnzeel (in Consandey, 2006), les travaux et la communication en la matière sont souvent sujet quatre "M" ; "Misinformation, Misinterpretation, Mis-understanding and Myth".

Bréda N., Granier A., Aussenac G., 2004. La sécheresse de 2003 dans le contexte climatique des 54 dernières années : analyse écophysiologique et influence sur les arbres forestiers. *Revue forestière française*, 56 (2) : 109-131.

Bréda N., 1999. L'indice foliaire des couverts forestiers : mesure, variabilité et rôle fonctionnel. *Revue forestière française*, 51 (2) : 135-150.

Bréda N., Roman-Amat B., 2002. Impact de la conduite des peuplements forestiers sur les ressources en eau. *La Houille Blanche*, (3) : 145-166.

Bruijnzeel L. A., 1990. *Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion : a state of knowledge review*. Paris, Unesco, 224 p.

Cosandey C., 1993. *Forêt et écoulements : rôle de la forêt sur la formation des crues et le bilan d'écoulement annuel. Impact d'une coupe forestière.* Meudon, CNRS, 81 p.

Cosandey C., 2006. Conséquences des forêts sur l'écoulement annuel des cours d'eau. *Revue forestière française*, 58 (4) : 317-327.

Cosandey C., Robinson M., 2000. *Hydrologie continentale.* Paris, Colin, 360 p.

Croke J., Hairsine P., Fogarty P., 1999. Runoff generation and re-distribution in logged eucalyptus forests, south-eastern Australia. *Journal of Hydrology*, 216 (1-2) : 56-77.

Dambrine E., Party J.-P., Pollier B., Nicolaï M., Probst A., Rozin CH., Duc M., 1999. Acidification des eaux de source et saturnisme dans le Massif vosgien. *Revue forestière française*, 51 (2) : 173-183.

Dangles O., Gessner M. O., Guérold F., Chauvet E., 2004. Impact of stream acidification on litter breakdown : implication for assessing ecosystem functioning. *Journal of Applied Ecology*, 41 (2) : 365–378.

Didon-Lescot J.-F., Guillet B., Lelong F., 1998. Nitrate in streamwater as an indicator of forest status and forest ecosystem manipulations. Example at Mont-Lozère (South-East France). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 327 (2) : 107-113.

Durand P., Neal C., Lelong F., Didon-Lescot J.-F., 1992. Effects of land-use and atmospheric input on stream and soil chemistry - field results and long-term simulation at Mont-Lozère (Cevennes National Park, southern France). *Science of the Total Environment*, 119 : 191-209.

Février C., Party J.-P., Probst A., 1999. Acidité des eaux de surface et charges critiques dans le massif des Ardennes françaises. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 328 (1) : 29-35.

Fritsch J.-M., 1990. Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie des petits bassins versants. Thèse de doctorat. Montpellier, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 392 p.

Gessner M. O., Chauvet E., Dobson M., 1999. A perspective on leaf litter breakdown in streams. *Oikos*, 85 (2) : 377–384.

Granier A., 2007. Rôle des prairies dans le cycle de l'eau. Comparaison avec la forêt. *Fourrages*, (192) : 399-408.

Granier A., Badeau V., Bréda N., 1995. Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. *Revue forestière française,* 47 (n° spécial) : 59-68.

Granier A., Bréda N., 2007. Ecophysiologie et fonctionnement des écosystèmes forestiers. *Rendez-vous techniques de l'ONF*, hors série n° 3 : 81-88.

Guérold F., Boudot J.-P., Jacquemin G., Vein D., Merlet D., Rouiller J., 2000. Macroinvertebrate community loss as a result of headwater stream acidification in the Vosges mountains (N-E France). *Biodiversity and Conservation*, 9 (6) : 767–783.

Landmann G., Bonneau M. (Eds.), 1995. *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains*. Berlin, Heidelberg, New-York, Springer, 461 p.

Massabuau J.-C., Probst A., Guérold F., 1995. Critical loads of acidity to streamwaters in the Vosges mountains (France) : Biological criteria. *In* Landmann G., Bonneau M. (Eds), *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains*. Berlin, Heidelberg, New-York, Springer, 387-393.

Moncoulon D., Probst A., Party J.-P., 2004. Weathering, atmospheric deposition and vegetation uptake : role for ecosystem sensitivity to acid deposition and critical load. *Comptes rendus - Geosciences*, 336 (16) : 1417-1426.

Nedeltcheva T., Piedallu C., Gégout J.-C., Boudot J.-P., Angéli N., Dambrine E., 2006. Environmental factors influencing streamwater composition on sandstone (Vosges Mountains). *Annals of Forest Science,* 63 (4) : 369–376.

ONF, 2006. Rapport d'étude sur les conséquences de la tempête de 1999 et de sa gestion forestière sur les milieux aquatiques vosgiens. Présentation des résultats et approche générale des impacts sur le milieu physique, Office national des forêts, DT Alsace – Service d'Appui Technique.

Party J.-P., 1999. Acidification des sols et des eaux de surface des écosystèmes forestiers français : facteurs, mécanismes et tendances. Taux d'altération sur petits bassins versants silicatés. Applications au calcul des charges critiques. Thèse de Doctorat. Université Louis Pasteur de Strasbourg, Mention Géochimie de l'Environnement. Strasbourg, Université Louis Pasteur Strasbourg I, 235 p.

Pinay, G., Décamps H., 1988. The role of riparian woods in regulating nutrient fluxes between the alluvial aquifer and surface water : a conceptual model. *Regulated Rivers,* 2 : 507-516 (1988).

Perrin A.-S., Probst A., Probst J.-L., 2008. Impact of nitrogenous fertilizers on the dissolution of carbonate bedrock in small agricultural catchments : implications for regional and global atmospheric CO2 source/sink. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 72 (13), 3105-3123.

Poncet A., 1970. Rénovation des eaux urbaines usées et fertilisation forestière par irrigation. *Revue forestière française,* 22(1) : 85-88.

Probst A., Lelong F., Viville D., Durand P., Ambroise B., Fritz B., 1995a. Comparative hydrochemical behaviour and element budgets of the Aubure (Vosges Massif) and Mont-Lozère (Massif Central) spruce forested catchments. *In* Landmann G., Bonneau M. (Eds), *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains*. Berlin, Heidelberg, New-York, Springer, 203-225.

Probst A., Massabuau J.-C., Probst J.-L., Fritz B., 1990. Acidification des eaux de surface sous l'influence des précipitations acides : rôle de la végétation et du substratum, conséquences pour les populations de truites. Le cas des ruisseaux des Vosges. *Comptes rendus de l'Académie des sciences - Série 2 - Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre*, 311 (3) : 405-411.

Probst A., Party J.-P., Février C., Dambrine E., Thomas A.-L., Stussi J.-M., 1999. Evidence of springwater acidification in the Vosges mountains (North-East of France) : influence of bedrock buffering capacity. *Water Air and Soil Pollution,* 114 (3-4) : 395-411.

Probst A., Probst J.-L., Massabuau J.-C., Fritz B., 1995b. Surface water acidification in the Vosges mountains : relation to bedrock and vegetation cover. *In* Landmann G., Bonneau M. (Eds), *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains*. Berlin, Heidelberg, New-York, Springer, 371-386.

PARTIE 3
GESTION DES RISQUES ET DES OPPORTUNITES ET GOUVERNANCE

CHAPITRE 12

PRÉCONISATIONS POUR LIMITER LES IMPACTS LOCAUX SUR LA BIODIVERSITE ET LES RESSOURCES

Emmanuel Cacot, FCBA,

Marion Gosselin et Christophe Bouget, Cemagref, Nogent-sur-Vernisson

1. Contexte et objectifs

Les chapitres précédents ont illustré le fait que l'intensification de la récolte de biomasse (augmentation du prélèvement en volume de biomasse par hectare lors de chaque coupe, réduction de la durée des révolutions*, etc., cf. chapitre 3) pouvait avoir des impacts biologiques, physiques et chimiques sur les écosystèmes forestiers.

Dans un souci de promouvoir une gestion durable des forêts, plusieurs acteurs importants de la filière forêt-bois ont souhaité que soient menées des réflexions et développés des « manuels » ou « guides » qui puissent aider le gestionnaire individuel ou l'acteur des aménagements en la matière. Des groupes d'experts ont établi d'une part un guide, édité par l'ADEME (Cacot *et al*., 2006) sur « *la récolte raisonnée des rémanents en forêt* » qui vise à répondre aux interrogations des sylviculteurs sur l'impact de la récolte des rémanents sur la richesse des sols des forêts et, d'autre part, des préconisations de gestion forestière favorables à la biodiversité, à la demande de l'Office national des forêts (Gosselin *et al*., 2006).

Ce chapitre s'appuie sur ces deux publications pour présenter une synthèse des préconisations qui permettraient de limiter les impacts d'une augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière. Ces préconisations sont applicables quelle que soit la gestion considérée mais s'avèreront d'autant plus primordiales que la pression de récolte augmente. Par ailleurs, un cas particulier est fait aux

préconisations pour les taillis à très courte rotation étant donné l'opportunité de développement qui pourrait leur être donnée.

2. Préconisations pour les opérations de récolte

Il existe des méthodes simples pour pallier ou au moins réduire les impacts sur le milieu des opérations de récolte de la biomasse. Ce sont des précautions à prendre par les propriétaires et gestionnaires, ainsi que par les professionnels de la mobilisation de biomasse (coopératives, exploitants, entrepreneurs de travaux forestiers…). La plupart de ces méthodes sont des mesures de bon sens, issues qualitativement – notamment pour tout ce qui traite de la biodiversité – de résultats publiés dans la littérature scientifique.

Il existe plusieurs guides pratiques cités en bibliographie d'où sont extraits les conseils donnés ci-dessous. Nous pouvons distinguer trois grands types de précautions locales :

- celles à appliquer de façon **systématique** quel que soit le chantier de récolte de biomasse concerné, il s'agit des précautions concernant la biodiversité et les mesures générales pour la prise en compte de l'environnement lors des travaux d'exploitation forestière (gestion des déchets, vidanges, franchissement des cours d'eau…) ;
- celles à adapter à chaque parcelle en fonction d'un **diagnostic préalable**, il s'agit des précautions concernant la fertilité, le tassement des sols ou les enjeux locaux de biodiversité (présence de populations ou espèces rares, par exemple) ;
- celles **à moduler selon les régions**, il s'agit des précautions à prendre sur les zones de pente (érosion) et en zone méditerranéenne (incendies).

2.1. Préconisations à caractère systématique

Mesures générales concernant l'environnement lors des travaux d'exploitation forestière

Il s'agit là de toutes les mesures de bon sens visant à réduire les impacts de l'exploitation forestière, qu'il y ait ou non intensification de la récolte :

- **réduire le risque de pollution** en stockant les hydrocarbures dans des cuves agréées et loin des zones humides ou cours d'eau, avoir à proximité des kits anti-pollution pour récupérer les hydrocarbures en cas de fuite, réaliser les vidanges des machines en atelier en récupérant les huiles usagées via des filières de recyclage, utiliser de l'huile biodégradable pour les chaînes de tronçonneuses et les huiles hydrauliques des engins… ;
- **ne pas laisser en forêt les déchets** liés à l'exploitation forestière, à l'utilisation d'engins et de tronçonneuses (chaînes et guides chaînes, bombes de peinture…), en particulier les déchets potentiellement polluants (batteries, matériels souillés par les hydrocarbures comme les flexibles ou les cartouches de graisse…), il existe des filières pour le recyclage de tous ces déchets ;
- **préserver les cours d'eau**, notamment (i) en évitant d'y circuler sans structures adaptées (tuyaux de polyéthylène haute densité, ponts mobiles…), en particulier lors du franchissement des cours d'eau (demande d'autorisation obligatoire), et (ii) en câblant les arbres de bordure des cours d'eau pour éviter de circuler à proximité avec des engins lourds… ;
- **préserver les milieux humides, comme les mares et les tourbières : les contourner et ne pas y déposer de rémanents ;**
- **réduire les nuisances sonores et les dérangements de la faune sauvage**, en particulier les espèces protégées en décalant par exemple l'exploitation en période de nidification et mise-bas, en respectant les zones protégées (réserves naturelles, sites classés…) ;
- **limiter la surface parcourue sur les parcelles,** en raisonnant les itinéraires de débardage (cloisonnements) et en adaptant aux conditions de terrain les modalités de débardage : dans les milieux les plus sensibles, on préfèrera le débardage par câble, petite mécanisation ou trait animal.

Mesures spécifiques concernant la biodiversité liée aux bois morts

Sans entrer dans les détails techniques, différents conseils peuvent être préconisés pour réduire l'impact de l'intensification de la récolte forestière sur la biodiversité :

- **laisser du bois mort en place**, sous différentes formes (gros bois / petits bois, bois dépérissants sur pieds / chandelles / arbres morts au sol…) et d'essences variées ; il existe à l'étranger des pratiques artificielles pour créer des bois morts dans une coupe rase de résineux (figure 1) ;
- **respecter l'intégrité des bois morts** en cours de décomposition sur place, notamment en évitant de rouler ou de faire passer des grumes sur les grosses pièces de bois se trouvant sur le sol ;
- **ne pas récolter la totalité des rémanents ou éviter de les brûler** ; en règle générale, éviter une récolte de 100 % de la biomasse aérienne d'un peuplement, en particulier : (i) ne pas éradiquer le sous-bois ; (ii) laisser les purges en forêt ; (iii) limiter la récolte de menus bois et branches aux peuplements sur sols les plus riches, hors coupes de régénération, et en priorité sur peuplements présentant des risques phytosanitaires avérés ;
- **conserver au moins un vieil arbre par hectare**, si possible par îlots de sénescence ;
- **conserver quelques houppiers non démembrés ;**
- éviter de conserver en forêt des piles de bois ou des arbres abattus pendant la période d'essaimage des insectes saproxyliques (d'avril à septembre, avec un pic vers mai-juin), car ces bois constitueront des pièges pour les larves que les femelles seront venues pondre, attirées par les kairomones émis par ces bois morts.

Figure 1. Exemple de bonne pratique mise en place aux États-Unis ou en Suède et à évaluer pour la France : couper volontairement à quelques mètres de hauteur des arbres pour laisser quelques chandelles « artificielles » par hectare.

2.2. Préconisations basées sur un diagnostic préalable

La fertilité chimique des sols

Certains sols présentent une bonne richesse minérale avec des processus biogéochimiques dynamiques, d'autres pas. Un des principes de base est de raisonner la récolte des rémanents, fortement concentrés en éléments minéraux, selon les potentialités des sols (chapitre 10). Le guide ADEME « La récolte raisonnée des rémanents en forêt » (Cacot *et al.*, 2006) propose ainsi une classification des sols en 3 niveaux de potentialité à supporter une intensification de la récolte forestière.

Deux critères d'identification sont essentiels pour la classification de ces sols : le type d'humus et la texture dominante à 20 cm de profondeur. Le pH de l'horizon A et la présence de calcaire actif viennent

renforcer le diagnostic humique (tableau 1). D'autres critères, comme les plantes indicatrices, permettent d'affiner la classification.

Tableau 1. Diagramme de potentialité des sols à supporter une intensification de la récolte forestière en fonction de la texture et du niveau trophique.

S Pôle sableux	**S1**		**S2**					
L Pôle limoneux	**L1**		**L2**		**L3**			
A Pôle argileux			**A1**		**A2**		**K**	
Calcaire actif	Pas d'effervescence de la terre fine à HCl dilué							Effervescence
pH hor. A	<4	]4-4,5]	]4,5-5[	[5-5,5[	[5,5-6[	[6-6,5[	[6,5-7[	>7
Humus	**Mor Dysmoder**	**Moder**	**Dysmull**	**Oligo-mull**	**Méso-mull**	**Eu-mull**	**Mull calcique**	**Mull carbo-naté**

Potentialité faible Potentialité moyenne Potentialité forte

Pour chacun des types de sol, des conseils spécifiques de récolte des rémanents sont établis (tableau 2).

Tableau 2. Conseils spécifiques à chaque type de sol pour la gestion des rémanents.

	Sols à faible potentiel	**Sols à potentiel moyen**	**Sols à fort potentiel**
Capacité du sol vis-à-vis de la production sylvicole	Diminution de la production forestière en cas de récolte de rémanents	Diminution de la production en cas de récolte répétée des rémanents (au-delà d'une récolte par révolution en général)	Sol pouvant supporter une sylviculture relativement intensive
Pratique de fertilisation conseillée	Fertiliser après récolte des rémanents avec une quantité égale à 1,5 fois les exportations	Au-delà d'une récolte des rémanents par révolution, fertiliser avec une quantité minérale égale aux exportations	Pas de fertilisation compensatoire nécessaire
Pratique de gestion des rémanents	Laisser sécher les rémanents sur coupe 4 à 6 mois avant leur récolte		

Ces recommandations de récolte et de compensation présentées dans le guide ADEME sont basées sur une analyse du bilan minéral, c'est-à-dire les quantités minérales entrantes dans l'écosystème (apports atmosphériques et altération de la roche mère) desquelles sont déduites les quantités sortantes (récolte de biomasse et pertes par drainage). Ces bilans sont établis sur la durée d'un cycle sylvicole pour tous les éléments minéraux (azote, phosphore, calcium…). S'ils sont négatifs (flux sortants > flux entrants), c'est à terme la croissance et la production du peuplement qui en pâtiront. Ils varient suivant les essences, le type de peuplement, les sols… Les pratiques de récolte des rémanents sont donc à affiner au cas par cas. Ainsi, en taillis ou taillis sous futaie, il faudra laisser au moins 30 ans entre deux récoltes des arbres entiers (troncs + branches) sur sols moyennement sensibles, alors que sur sols faiblement sensibles, la durée

entre deux récoltes de rémanents pourra être réduite à 15-20 ans (voir Cacot *et al.*, 2006 pour plus de détails).

Le tassement des sols

Contrairement au diagnostic précédent qui, une fois qu'il est fait, reste immuable pour le sol d'une parcelle donnée (au moins à l'échelle humaine), le diagnostic de la sensibilité des sols au tassement prend en compte un paramètre très important : l'humidité du sol qui, elle, est variable au cours des saisons et suivant les conditions climatiques précédant la période d'exploitation. Le diagnostic et la définition des mesures de précaution à prendre ne peuvent donc être réalisés que peu de temps avant les travaux d'exploitation.

Cependant, certaines caractéristiques permanentes des sols permettent de définir *a priori* une sensibilité potentielle des sols :

- sols peu sensibles toute l'année (cas des sols très sableux ou très caillouteux non hydromorphes) ;
- sols très sensibles toute l'année (cas des tourbières et autres sols avec traces d'hydromorphie permanente) ;
- sols sensibles une partie de l'année (autres cas).

Au sein de cette dernière classe, il est possible de distinguer des sols plus sensibles que d'autres et pour lesquels il conviendra d'être particulièrement vigilant : les sols à texture dominante limoneuse et/ou présentant des traces d'hydromorphie à moins de 50 cm de profondeur.

Pischedda *et al.* (2009) distinguent ainsi plusieurs classes de sensibilité des sols au tassement suivant l'état hydrique du sol, sa texture et sa charge en éléments grossiers (tableau 3).

Tableau 3. Classification des sols selon leur sensibilité au tassement.

EG : éléments grossiers

		Etat d'humidité			
		Sol sec sur 50 cm de profondeur	Sol frais	Sol humide	Nappe d'eau présente à moins de 50 cm de la surface
Texture	Sol très caillouteux (EG ≥ 50 %)				
	Sol très sableux (Sable ≥ 70 %)				
	Argile dominante				
	Limon dominant et sable limoneux				

Pour chaque classe sont formulés des conseils spécifiques (ici en bref) :

Pas de restriction pour la circulation des engins sur cloisonnements (à ouvrir si nécessaire)

Tous les systèmes d'exploitation forestière peuvent être mis en œuvre

Circulation sur cloisonnements possible avec précautions (utilisation d'accessoires type pneus larges et tracks) et/ou mettre les rémanents sur les cloisonnements

Aucun passage d'engins terrestres.

Utiliser les systèmes alternatifs (petite mécanisation, câble aérien)

Un des conseils avancés fréquemment pour limiter les tassements et l'orniérage du sol est de circuler sur les rémanents. Cependant, si ceux-ci servent à protéger les cloisonnements des contraintes des engins, ils ne peuvent plus être exploités par la suite. Selon la sensibilité du sol au tassement, il faudra donc choisir entre la protection physique des sols et la récolte des rémanents (figure 2).

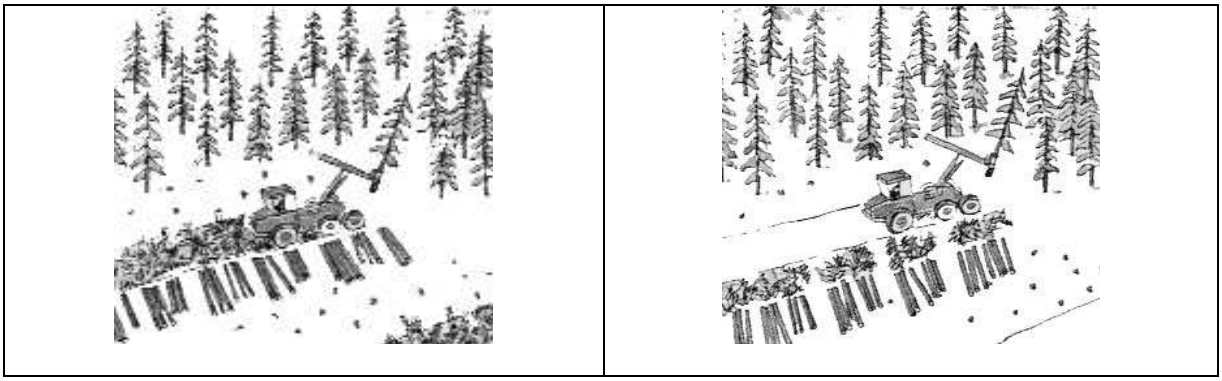


Figure 2. Organisation de chantier selon le mode d'utilisation des rémanents : protection des sols à gauche, énergie à droite (d'après Skogkorsk).

2.3. Préconisations spécifiques à certaines régions

Le risque incendie

Chaque année, des arrêtés préfectoraux sont pris par département pour préciser les droits et devoirs en termes de travaux forestiers, en particulier dans les départements du sud de la France (pourtour méditerranéen, bassin aquitain). Sont ainsi précisées les précautions à prendre pour éviter tout départ de feu lors de travaux forestiers : présence d'extincteurs avec une capacité minimale, présence d'une réserve d'eau… Des arrêtés précisent la réglementation départementale en matière d'emploi du feu et notamment les modalités d'incinération des rémanents de coupe, branchages et bois morts regroupés en tas ou en andains*. Les années de sécheresse, des arrêtés complémentaires sont pris pour limiter au cours de la journée les périodes de travail en forêt (par exemple, travaux autorisés de 6 h à midi) voire les interdire complètement pendant une période donnée.

Enfin des arrêtés préfectoraux réglementent l'ampleur et la nature du débroussaillement obligatoire autour des constructions et des installations, ainsi que le long des voies ouvertes à la circulation publique.

Concernant le cloisonnement des massifs forestiers par les coupures de combustible, l'assiette et la nature des débroussaillements sont généralement définies dans des Plans départementaux (ou régionaux) de protection des forêts contre les incendies et précisées dans les Plans Intercommunaux de Débroussaillement et d'Aménagement Forestiers (PIDAF). Des dispositions particulières propres à prendre en compte des objectifs environnementaux (maintien d'îlots arbustifs, lisières non linéaires), peuvent être envisagées, éventuellement accompagnées de mesures compensatoires (sur-largeurs locales).

L'érosion

Concernant l'érosion, l'exploitation devra veiller avant tout à ne pas laisser de sols nus. En particulier, sur pente supérieure à 15 %, il faut protéger les cloisonnements par une couche de rémanents. Sur des pentes supérieures à 15 %, si des cloisonnements sont ouverts, il faut en plus tracer quelques rigoles et barres d'eau en travers de ces cloisonnements pour réduire le risque d'érosion.

3. Préconisations pour la conduite des peuplements

3.1. Reboisement et entretien des jeunes peuplements

L'intensification des travaux sylvicoles porte en particulier sur le reboisement des parcelles et/ou lors des entretiens des jeunes peuplements issus de plantations ou de régénérations naturelles. Nous listons ici

quelques mesures sans entrer dans le détail des préconisations (en grande partie connues) à mettre en œuvre : andainage* ou broyage après coupe rase, parfois dessouchage, travaux du sol en plein type labour ou sous-solage*, travaux localisés du sol type potets, débroussaillage mécanique (au tracteur équipé de gyrobroyeur ou à la débroussailleuse à dos) ou chimique des jeunes peuplements. Pour ces derniers, l'usage des produits agro-pharmaceutiques devient de plus en plus restrictif en forêt mais l'ensemble de ces travaux engendre également des impacts sur l'écosystème forestier.

3.2. Choix des essences

Raisonner les mélanges et privilégier les essences locales !

À **l'échelle de la parcelle**, il faut **privilégier les essences locales en station**, en fonction de la faisabilité technique et du marché du bois. Les essences locales **rares** doivent être conservées dans *tous* les peuplements où elles se développent.

Lors des dégagements et dépressages, conserver les essences minoritaires dans tous les cas où elles ne menacent pas les semis d'essence objectif. On choisira également de les favoriser ponctuellement aux dépens de l'essence principale pour diversifier le peuplement. De premières éclaircies vigoureuses favoriseront le sous-étage.

À **l'échelle de la propriété**, et *a fortiori* aux échelles supérieures, éviter la **transformation massive de peuplements autochtones en peuplements exotiques monospécifiques**. À l'inverse, dans le cas de massifs dominés par des essences exotiques, on pourra reconvertir une partie du massif en essences locales avec une base génétique adaptée et suffisamment large.

Les peuplements mélangés seront favorisés mais pas systématiquement. Les essences en mélange devront être bien adaptées à la station et s'appuyer sur la dynamique naturelle (par ex. exploiter la capacité du sapin à bien régénérer sous hêtre en montagne). Dans les stations où le mélange est naturellement faible, il n'est pas nécessaire de forcer le mélange par plantation.

Au moment de la régénération, le mélange est assuré par le choix des semenciers en régénération naturelle ou par le choix de plusieurs essences en semis ou plantation. Par la suite, les coupes d'amélioration permettent d'adapter le mélange.

La prise en compte du changement climatique

En attendant des résultats scientifiques fortement étayés, le principe de précaution prévaut : dans le contexte de changement climatique, **le choix d'essences doit être réfléchi en fonction du degré d'incertitude sur le risque de dépérissement** ; en aucun cas, il ne doit aller à l'encontre du maintien de la diversité génétique. Le recours systématique à telles provenances ou essences supposées providentielles est donc à éviter. La Commission sur les Ressources Génétiques Forestières (2008) distingue trois cas de figure :

- en l'absence de signe notable d'épuisement de la ressource locale, favoriser la régénération naturelle car c'est elle qui permet le mieux l'émergence de nouvelles combinaisons génétiques et la sélection naturelle des combinaisons les plus adaptées dans un environnement changeant ;
- lors des premiers signes notables d'épuisement de la ressource locale (dépérissement, déficit de fructification), envisager des enrichissements génétiques par plantation de matériel de reproduction originaire de régions ou de provenances voisines mais de climat plus chaud ;
- si la disparition complète de la ressource locale est engagée, il faudra planter de nouvelles provenances ou essences en mélange.

En cas de plantation, il faut toujours s'assurer de la diversité génétique des plants utilisés.

3.3. Âge d'exploitabilité – trame de vieux arbres

En la matière, on peut conseiller de **ne pas réduire drastiquement et systématiquement l'âge d'exploitabilité, surtout en forêt ancienne et de prévoir une trame d'îlots de vieux bois (îlots de**

vieillissement ou sénescence) à l'échelle du massif. Dans toutes les parcelles, de manière généralisée, il est bon de maintenir quelques arbres-habitats : arbres vieux, gros ou à cavités, notamment des arbres de faible qualité économique, en complément de trames d'îlots de vieux bois prévues aux échelles supérieures. Il n'y a pas lieu d'exploiter ces arbres, dispersés à l'intérieur des peuplements ou en concentration plus forte dans les îlots de vieux bois. On veillera en particulier à conserver des vieux arbres d'essences pionnières et post-pionnières.

3.4. Cas particulier des taillis à très courte rotation (TTCR)

Choix des essences et variétés

Mélanger les variétés, clones ou provenances, pour diminuer la sensibilité des taillis à courte rotation (TCR) et des taillis à très courte rotation (TTCR) aux agents pathogènes et éviter au maximum le recours aux pesticides.

Ne pas planter de clones risquant de polluer génétiquement les peuplements naturels, a fortiori à proximité de sites classés pour la Conservation des Ressources Génétique : choisir des provenances adaptées ou des clones stériles.

Mélanger les matériels mâles et femelles en taillis à très courte rotation de Saules pour assurer la production de nectar et de pollen en faveur des Insectes butineurs (Reddersen, 2001).

Conduite des peuplements

Limiter au maximum l'emploi d'herbicides et de pesticides

Laisser sur place des tiges de bois mort, laisser se développer le plus tôt possible après la phase d'installation une couverture herbacée, planter plusieurs variétés de tailles de rejets différentes pour favoriser l'hétérogénéité structurale.

4. Conclusion

Ce chapitre a présenté une synthèse des préconisations actuellement les mieux établies. Il n'en reste pas moins que **le diagnostic de sensibilité des sols peut devenir très complexe lorsque l'on croise tous les facteurs à prendre en compte**, **et qu'il peut exister à l'occasion des contradictions entre les précautions à prendre suivant que l'on s'intéresse à la biodiversité ou au sol.**

La **sensibilisation des opérateurs de terrain** aux impacts potentiels de la gestion sur le milieu et leur formation sur des préconisations reconnues est primordiale. Elle doit toucher les propriétaires forestiers, les gestionnaires, les entrepreneurs de travaux forestiers, etc.. Il a été montré (Cacot et Peuch, 2006) que le facteur opérateur avait une incidence primordiale pour expliquer la qualité finale d'un chantier d'exploitation du point du vue environnemental.

De même, il faut encourager les entreprises à s'engager dans des **démarches de certification** (type ISO ou certification de gestion durable) dans le souci de respecter un ensemble de règles pour intégrer la biodiversité dans la gestion, de s'améliorer en continu et de former leurs personnels et sous-traitants.

5. Recommandations d'études

Actuellement, de nombreuses pratiques de gestion en faveur de la biodiversité et des sols sont proposées tant en France qu'à l'étranger (figure 1) ; il faudrait pouvoir évaluer leur impact et leur performance sur des écosystèmes donnés. Cette évaluation et les suivis afférents pourraient rentrer dans le cadre d'un observatoire de la biodiversité forestière.

A l'aune des nouvelles connaissances qui seront nécessairement faites dans les prochaines années sur les impacts et la sensibilité des écosystèmes forestiers à la gestion**, il sera important de réajuster les préconisations** à prendre par les acteurs de terrain. Il faudra veiller à ne pas préconiser le seul recours à

de la petite mécanisation ou au cheval par exemple, méthodes certes intéressantes ponctuellement mais difficilement compatibles avec les volumes à mobiliser et la disponibilité en main-d'œuvre.

Enfin, il est important de tester de nouvelles techniques ou méthodes de récolte, intégrant la dimension environnementale et pas uniquement technico-économique.

6. Références bibliographiques

Bouget C., 2008. Gestion forestière et bois mort : vade mecum. Document pédagogique, Nogent-sur-Vernisson, Cemagref, 2 p.

Cacot E., 2008. Organisation des chantiers d'exploitation forestière « traditionnels ». *Rendez-vous techniques de l'ONF*, (19) : 30-33.

Cacot E., Charnet F., Eisner N., Leon P., Ranger J., Rantien C., 2006. *La récolte raisonnée des rémanents en forêt*. Angers, Ademe (Collection « Connaître pour agir »), 36 p.

Cacot E., Peuch D., 2006. Observatoire des impacts de l'exploitation forestière. Nangis, Afocel (Fiche Informations-Forêt, n° 733), 6 p.

Cacot E., *et al.*, 2003. Laissez une bonne impression ! Guide de gestion environnementale des chantiers forestiers. Afocel, MAAPAR, CTBA, ONF, Entrepreneurs des Territoires, FNCOFOR, FNB.

Commission sur les Ressources Génétiques Forestières (CRGF) et DGPAAT, 2008. Préserver et utiliser la diversité des ressources génétiques forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts au changement climatique. Disponible à l'adresse : http://agriculture.gouv.fr/sections/thematiques/foret-bois/conservation-ressources, ou dans *Forêt-Entreprise* n°182 (pp. 40-43) ou dans les *Rendez-Vous Techniques* de l'ONF, n°22, automne 2008, pp. 13-16.

Cuchet E., Roux P., Spinelli R., 2003. *Récolte de rémanents pour le bois-énergie avec le FIBERPAC*. Nangis, Afocel (Fiche Informations-Forêt, n° 669), 6 p.

Gosselin M., Valadon A., Bergès L, Dumas Y., Gosselin F., Baltzinger C., Archuax F., 2006. *Prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière : état des connaissances et recommandations*. Paris, Office national des forêts, 161 p.

Laurier J.-P., *Marien JN, Michaud D., Cacot E., Viéban S.*, 2001. Classeur pédagogique n° 4 : exploitation forestière et environnement. Nangis, AFOCEL.

Pischedda D., Bartoli M., Brêthes A., Cacot E., Chagnon J.-L., Gauquelin X., Nicolas M. 2009. Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt "PROSOL". Guide pratique, ONF, 110 p

Villette A., Nguyen-Thé N., Laurent A., 2006. *Guide de gestion des déchets d'exploitation forestière (GEDEON) – Outils pédagogiques*. Nangis, Afocel, 19 p.

Fafsea, 2001. Outils pédagogiques du Fafsea – Bûcherons, débardeurs : des professionnels respectueux de l'environnement – Amélioration des compétences des opérateurs d'exploitation forestière. Fafsea, Afocel, Fédération Française des Producteurs de Pâtes de Cellulose, 40 p.

CHAPITRE 13

LES ESPACES PROTEGES FACE A L'INTENSIFICATION DES PRELEVEMENTS DE BIOMASSE EN FORET

Grégoire Gautier,
Parc national de Cévennes

Les milieux forestiers occupent une part prépondérante des espaces naturels protégés français. A titre indicatif, la forêt occupe 40 % de la partie terrestre de la partie française du réseau Natura 2000. Par ailleurs, l'utilisation accrue de biomasse – objet de cette étude – peut avoir deux conséquences majeures pour les forêts : l'**augmentation des prélèvements de bois et l'apparition de nouvelles pratiques forestières**. Ces deux volets risquent d'affecter la biodiversité (voir notamment Bouget *et al.* ce vol.). Inévitablement, **se pose la question de savoir comment l'intensification de récolte de biomasse peut être envisagée, canalisée, éventuellement interdite, dans ces espaces protégés**. Compte tenu de la diversité des espaces naturels protégés, la réponse doit être examinée au regard du statut de protection, du type de milieu naturel concerné et de la nature des travaux s'y appliquant. **Dans certains cas, l'utilisation accrue de biomasse peut** même **présenter une opportunité pour la biodiversité des territoires protégés**.

1. Cadre légal des pratiques sylvicoles au sein des espaces protégés

De l'arrêté préfectoral de protection de biotope au parc national, la nature juridique des espaces naturels protégés français est extrêmement variée (tableau 1). Les pratiques liées à l'intensification de la sylviculture y sont rarement interdites a priori. **Le plus souvent, une réglementation propre à chaque site est établie lors de l'instauration de la protection, en fonction des enjeux locaux**. Pour un même statut de protection, les modes de gestion du milieu naturel peuvent varier d'un lieu à l'autre. L'analyse de ce que les gestionnaires des espaces peuvent faire ou non doit donc s'envisager au regard de la réglementation locale.

Tableau 1. Restrictions légales et règles de gestion envisageables pour éviter les effets néfastes d'une intensification de la sylviculture dans les espaces naturels protégés.

L'ensemble des statuts évoqués ci-dessous est détaillé sur le site internet de l'Atelier Technique des Espaces Naturels (ATEN) : http://bibliothequeenligne.espaces-naturels.fr/outilsjuridiques/

Statut	Réf. Juridiques	Objet	Dispositions légales en matière sylvicole et nature des dispositions de gestion
Zone Naturelle d'Intérêt Écologie Faunistique et Floristique (ZNIEFF) Zone d'Importance Communautaire pour les Oiseaux (ZICO)	L. 411-5, R. 411-22 à 30 du Code de l'Environnement (CE)	Il s'agit d'outils de connaissance, indiquant la présence sur certains espaces d'un intérêt écologique.	**Autorisé** *L'inventaire n'a pas de valeur juridique directe et ne constitue pas un instrument de protection réglementaire des espaces naturels. La présence d'une ZNIEFF/ZICO doit cependant inciter à se renseigner sur la présence d'espèces protégées ou à grande valeur patrimoniale plus abondantes sur ces territoires.*
Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope (APB)	L. 411-1 à 2 et R. 411-15 à 17 du CE	Protection du biotope d'une ou plusieurs espèces protégées	***Pas d'interdiction* a priori** L'arrêté préfectoral peut interdire les prélèvements de bois notamment au cours des périodes sensibles (nidification) notamment lorsque l'espèce protégée visée est forestière ou attachée à des milieux semi-ouverts
Réserve naturelle régionale (RNR) et nationale (RNN)	L. 332-1 à 27 et R. 332- 1 à 81 du CE	Protection d'un espace naturel remarquable du point de vue de la biodiversité	**Pas d'interdiction *a priori*** *Le décret peut interdire les prélèvements de bois/l'exploitation forestière notamment lorsque le site accueille des milieux ou des espèces patrimoniales forestières ou associées à des milieux semi-ouverts à haute valeur patrimoniale.*
Site inscrit	L. 341-1 à 22 R. 341-1 à 31 du CE	Protection d'un espace remarquable du point de vue paysager	**Pas d'interdiction**
Site classé	L. 341-1 à 22 R. 341-1 à 31 du CE	Protection d'un espace remarquable du point de vue paysager	***Soumis à autorisation*** Si les travaux sont décrits dans un plan simple de gestion ou un aménagement forestier validé conformément à l'article L. 11 du Code Forestier, pas d'autorisation nécessaire.
Réserve Biologique Dirigé (RBD) Réserve Biologique Intégrale (RBI)	L. 133-1, L. 143-1, R. 133-5, du code forestier (CF)	Protection d'un espace naturel remarquable du point de vue de la biodiversité au sein des terrains relevant du régime forestier.	**Strictement interdit dans les RBI** **Pas d'interdiction *a priori* en RBD** La réalisation des travaux est possible si elle est compatible avec les objectifs de conservation de la RBD
Forêt de Protection	L. 411-1 et suivants R. 411-1 et suivants du CF	Protection des bois et forêts nécessaires à la prévention des risques (avalanches, érosion…) ou situés à la périphérie des grandes agglomérations	**Pas d'interdiction *a priori*** Le décret peut réglementer les coupes et travaux sylvicoles.
Parc national (PN)	L. 331-1 à 39 R. 331-1 à 85 du CE	Préservation des milieux et des espaces naturels et le développement économique, social et culturel de la zone géographique comprenant le parc national	**Pas d'interdiction *a priori*** *La charte du parc est susceptible de réglementer les coupes et travaux sylvicoles, notamment dans les cœurs de parc où une protection forte est instaurée. Le prélèvement de biomasse doit être explicité dans les aménagements forestiers des forêts soumises et dans les plans de gestion des forêts privées, soumis à l'accord du PN en cœur de PN*

Statut	Réf. Juridiques	Objet	Dispositions légales en matière sylvicole et nature des dispositions de gestion
Site Natura 2000	L. 414-1 à 7 R. 414-1 à 24 du CE	Conserver ou rétablir dans un état favorable à leur maintien à long terme les habitats naturels et les populations des espèces de faune et de flore sauvages qui ont justifié la désignation du site Natura 2000	**Pas d'interdiction *a priori*** *Les coupes et travaux sylvicoles peuvent (s'ils sont inscrits dans une liste établie au niveau national ou départemental) être soumis à évaluation des incidences. Dans ce cas, si ces travaux et coupes engendrent un effet notable dommageable sur les habitats et espèces de faune et de flore sauvages qui ont justifié la désignation du site Natura 2000, ils ne pourront pas être autorisés.*
Parc Naturel Régional (PNR)	L. 333-1 à 4 R. 333-1 à 16	Concourt à la politique de protection de l'environnement, d'aménagement du territoire, de développement économique et social, d'éducation et de formation du public	**Pas d'interdiction**
Espace Naturel Sensible (ENS) Terrains du Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres (CELRL)	L. 322-1 à 14 R.322-1 à 42 L. 142-2 et 3 L. 142-1 à 13 R. 142-1 à 19 du CE	Acquisition foncière d'espaces remarquables	**Pas d'interdiction a priori** L'autorisation dépend du propriétaire.

2. Mobilisation de la biomasse forestière dans les espaces naturels : les principales précautions

2.1. Prendre en compte les enjeux de protection et le type d'habitats et d'espèces de l'espace protégé visé

Ces éléments conditionneront la restriction légale des activités liées au prélèvement de la biomasse. Ainsi, de plus en plus d'aires protégées se voient confortées dans leur **vocation à préserver le bois mort,** ce qui peut restreindre le développement d'itinéraires techniques diminuant la quantité de bois mort. La présence d'espèces forestières animales ou végétales ou d'habitats forestiers à fort enjeu écologique – comme par exemple des **habitats forestiers d'intérêt communautaire dans un site Natura 2000** – pourra entraîner les mêmes conséquences. A contrario, lorsque l'espace protégé inclut des milieux forestiers moins riches (plantation en plein d'essences allochtones par exemple), une sylviculture particulière ne sera interdite que dans quelques rares cas (présence d'une aire de rapace, etc.).

Notons cependant que certains espaces protégés tels les Parcs nationaux ou les réserves naturelles ne font pas mention d'espèces ou d'habitats particuliers dans leur décret de classement.

2.2. Analyser l'impact des pratiques concernées

Dans quelques cas les pratiques sylvicoles peuvent faire l'objet d'**autorisation individuelle**. L'emplacement et le type de pratiques seront alors déterminants. Les nouvelles pratiques sylvicoles (TCR, plantation d'essences exotiques à croissance rapide, etc.) feront souvent l'objet d'un examen particulier compte tenu de leur impact potentiel élevé sur la biodiversité. En revanche les pratiques en cours ou s'inscrivant dans un cadre déjà approuvé (coupes de premières éclaircies par exemple) seront plus facilement autorisées.

2.3. La question sensible de la desserte routière

Une partie de la ressource en bois aujourd'hui disponible est inaccessible au regard du réseau de desserte existant. Ainsi, la mobilisation accrue de bois nécessitera souvent la construction de pistes forestières dont l'impact sur la biodiversité peut s'avérer important (destruction directe et fragmentation), d'autant plus si ces pistes ne sont pas condamnées après exploitation et servent d'accès permanents aux véhicules, bergers, chasseurs, promeneurs. La construction de pistes fait généralement l'objet d'une réglementation assez stricte au sein des espaces protégés. C'est ainsi l'ensemble du projet lié à la production de bois-énergie (sylviculture et infrastructures) qui devra être étudié pour juger de l'opportunité de sa réalisation en espace protégé.

2.4. Une question en suspens : l'effet de l'intensification à l'échelle du territoire

L'augmentation de la récolte de biomasse en forêt peut avoir des conséquences à large échelle à la suite de la sous-représentation des phases de sénescence des peuplements forestiers. Comment aborder cet enjeu au sein des espaces protégés ? Pour les espaces protégés qui s'étendent sur des territoires de grande superficie (PN, PNR, quelques sites Natura 2000), la question peut être abordée dans leur règlement spécifique notamment en identifiant des secteurs où préserver ces phases de sénescence. La contribution des autres types d'espaces protégés pourra être appréciée au travers de documents de planification de la gestion forestière régionaux (ORF*, SRGS*, DRA *et SRA). En effet, ces documents doivent présenter une **réflexion et des décisions particulières pour la prise en compte des espaces protégés dans la gestion forestière**. Il pourrait également être intéressant que cette question soit traitée lors de la déclinaison régionale de la **trame verte et bleue***, démarche en cours de réflexion dans le cadre du Grenelle de l'Environnement.

3. Les opportunités, pour les espaces protégés, liées à un prélèvement accru de biomasse forestière

Mécanisation forestière poussée, taillis à courte voire très courte révolution, plantation d'essences allochtones sont des pratiques qui affectent le patrimoine naturel et qui n'ont pas bonne presse auprès des gestionnaires d'espaces naturels protégés. Il y a pourtant des possibilités de convergence entre les objectifs de conservation de la nature et la production de bois-énergie, dans certains contextes.

Ainsi, maintenir des milieux ouverts ou lutter contre la **progression des ligneux liée à la déprise agricole sont des enjeux forts de la gestion de certains milieux des espaces protégés**. Cette problématique se rapproche donc sensiblement de celle concernant la prévention des incendies de forêts par l'entretien de coupures DFCI (chapitre 14). Aujourd'hui, la réalisation de ces travaux dépend en grande partie du budget de gestion propre à chaque espace protégé et est souvent limitée aux surfaces de plus forts enjeux. Le développement d'une filière bois-énergie viable pourrait faciliter leur réalisation sans soutien externe et ainsi l'étendre à des surfaces beaucoup plus importantes. Une opération pilote réalisée au sommet du mont Aigoual dans le Parc national des Cévennes (Salvaudon, 2008) a permis de ré-ouvrir, au profit de l'activité pastorale, 18 ha anciennement plantés de pins à crochets. Production d'énergie, protection de la nature, amélioration du paysage et maintien d'activité agricole ont ainsi pu être conciliés dans une même opération. Ces opérations concernant donc des **opérations à caractère unique, destinées à faire basculer un système vers un autre** (forêt à pâturage entretenu) ou des **débroussaillements « classiques »** à l'exclusion de tout recours à des essences allochtones ou à des cultures dédiées type TCR.

Soulignons par ailleurs que certains espaces protégés (notamment les PNR et les aires d'adhésion des PN) ont vocation à soutenir et développer une politique de développement durable au sein de laquelle la filière bois-énergie a toute sa place…

4. Recommandations et besoins de recherche

On peut recommander :

- de renforcer le **dialogue entre gestionnaires forestiers et gestionnaires d'espaces naturels protégés** ;
- d'identifier **les pratiques sylvicoles émergentes qui porteraient préjudice aux objectifs fondamentaux de chaque espace considéré** ;
- de mettre en œuvre des projets de **recherches-action** permettant de tester des pratiques combinant une utilisation accrue de la biomasse forestière et des fonctions de protection dans les espaces considérés ;
- de mener une réflexion sur les **actions** qui permettent dans le cadre du changement climatique, de **combiner mobilisation de biomasse et meilleure adaptation des peuplements forestiers** ;
- de déterminer les conséquences de la mobilisation accrue de la biomasse forestière à **large échelle** et faire le **lien avec les documents régionaux de planification** de la gestion pour en atténuer les impacts (chapitre 15).

5. Références bibliographiques

Salvaudon A., 2008. Le Bois énergie sous conditions. *Espaces naturels*, (21) : 31.

CHAPITRE 14

L'AUGMENTATION DU PRÉLÈVEMENT EN FORÊT MÉDITERRANÉENNE : UNE OPPORTUNITÉ POUR GÉRER LE RISQUE D'INCENDIES OU UNE MENACE POUR LA BIODIVERSITÉ ?

Eric Rigolot, INRA d'Avignon

1. Contexte général : la maîtrise de la biomasse comme base de la prévention des incendies en zone méditerranéenne

Le développement de l'utilisation de la biomasse forestière pour des usages énergétiques apparaît immédiatement comme une opportunité intéressante dans la perspective de la réduction du risque d'incendie de forêt. En effet, **la gestion du combustible constitue la clé de voûte de la politique de prévention des incendies de végétation**. La réduction de la biomasse inflammable et combustible permet de diminuer la puissance du feu, de faciliter les actions de lutte et de limiter les impacts du feu sur les enjeux. Pour être efficaces, ces travaux sont généralement concentrés sur des aménagements de Défense des Forêts Contre les Incendies (DFCI), **les coupures de combustible**.

Ces coupures répondent à trois objectifs principaux : (i) la limitation des départs de feu pour éviter les éclosions et faciliter l'attaque initiale du feu, (ii) la limitation des surfaces parcourues par le feu en cloisonnant les massifs forestiers par un réseau d'ouvrages stratégiquement localisés ou (iii) la protection rapprochée d'enjeux comme le débroussaillement obligatoire autour des habitations à l'interface forêt - urbanisme. Dans cette troisième catégorie entrent aussi les pratiques plus extensives de sylviculture préventive visant à la réduction du combustible pour la protection en plein de certains peuplements remarquables par leurs potentialités de production, leur qualité paysagère ou leur rôle de protection.

Quel que soit leur objectif, ces coupures comprennent toutes l'élimination de la biomasse en excès, à laquelle s'ajoute dans certains cas la création d'accès signalisés pour les moyens de lutte et de points d'eau pour leur ravitaillement. **Le débroussaillement sur ces ouvrages concerne non seulement les strates basses herbacées et arbustives, mais comprend aussi l'élagage des arbres et la mise à distance des houppiers par des éclaircies afin d'éviter la propagation du feu en cime**. L'objectif de ces actions est de ramener le traitement de l'incendie à un problème de feu courant au sol maîtrisable par les moyens de lutte terrestres et aériens. Dans tous les cas, le débroussaillement est assuré par des séquences techniques où sont mis en œuvre de manière simple ou combinée le **débroussaillement mécanique, le dessouchage, le pâturage contrôlé ou le brûlage dirigé**. Cette dernière technique est en pleine extension depuis une quinzaine d'années.

La clé de la réussite de ce volet de la politique de prévention des incendies réside dans la qualité de la conception initiale des coupures de combustible, mais surtout dans la permanence de l'état débroussaillé de ces coupures, ce qui nécessite des travaux récurrents compte tenu de la vigueur de la repousse. La fréquence de passage en débroussaillement est de 3 à 5 ans selon la séquence technique utilisée. Il en résulte une charge financière importante pour la collectivité, mais aussi pour les particuliers responsables de la mise en sécurité de leur habitation. Cette charge est très lourde, et force est de constater, qu'aujourd'hui, les objectifs en matière de débroussaillement ne sont pas atteints (Perriez *et al.,* 2003). Cette charge pourrait être soulagée par une valorisation énergétique de la biomasse prélevée.

2. Contexte régional : de premières expériences de valorisation énergétique de la biomasse, mais sans effets sur la DFCI

En région méditerranéenne, plusieurs initiatives ont porté ces dernières décennies sur le bois-énergie. Historiquement, c'est en Languedoc-Roussillon que s'est mise en place la plus ancienne expérience dans le domaine avec la COGRA 48 à Mende qui produit depuis 1982 du granulé issu de déchets locaux de scieries. Les deux usines COGRA de Mende et Craponne-sur-Arzon produisent aujourd'hui 65 000 t/an de granulés bois. Malgré ce producteur très bien placé au plan national, la région Languedoc-Roussillon n'en est qu'à ses débuts en matière de bois-énergie et c'est la région Provence-Alpes-Côte d'Azur qui fait figure de leader dans ce domaine avec une volonté politique très affirmée au travers notamment de sa Mission Régionale pour le bois-énergie (http://www.ofme.org/bois-energie/). Début 2009 en région PACA, on comptait 114 chaufferies automatiques au bois au sein des collectivités et des entreprises pour une puissance installée de 38 075 kW et 46 constructions en cours pour 13 160 kW supplémentaires.

Même si l'objectif affiché par la mission régionale PACA est l'utilisation des reliquats d'élagage et de débroussaillement, la plupart des expériences évoquées plus haut valorisent des rémanents d'exploitation forestière, très peu, voire aucune, n'utilise la broussaille combustible des sous-bois et notamment celle des coupures de combustible. En règle générale, **la biomasse produite par les travaux de DFCI est laissée au sol,** et constitue, quand elle est abondante, une couche de combustible pouvant contribuer à la propagation d'un feu courant de surface. Or, une étude de l'ONF évalue la production annuelle de biomasse sèche provenant de travaux de DFCI en région méditerranéenne à 50 à 60 000 tonnes (Duché, 2006). Cette évaluation se limite aux travaux réalisés par les collectivités sans prendre en compte les débroussaillements autour des constructions qui sont à la charge des particuliers. Elle se fonde sur les surfaces de travaux effectivement réalisées qui sont bien inférieures aux préconisations techniques qui visent un objectif de 5 % du territoire forestier protégé. Si ce taux de débroussaillement était appliqué, et déduction faite des surfaces débroussaillées autour des constructions, il correspondrait à un gisement supplémentaire annuel de 200 000 tonnes de biomasse.

Aujourd'hui, les matériels utilisés en région méditerranéenne pour la production de plaquettes à partir de produits d'exploitation forestière ne diffèrent pas de ceux utilisés dans les autres régions. Ces engins sont mobilisables sur les chantiers DFCI pour la récolte des arbres à éclaircir, mais ne permettent pas de récolter la biomasse arbustive.

La faisabilité technique et économique de la collecte de cette biomasse reste un facteur essentiel. Concernant la faisabilité économique, l'accès à la ressource par le réseau de pistes DFCI qui irrigue les coupures de combustible constitue un facteur favorable. Néanmoins la biomasse mobilisable sur un

chantier DFCI se limite à 8 à 12 tonnes à l'hectare selon les peuplements (Duché, 2006). **Dans le domaine technique, quelques tentatives ont eu lieu par le passé pour mettre au point un engin performant « débroussailleur-ramasseur de plaquettes ».** On peut citer le Scorpion construit dans les années 80 par la CIMAF et mis en avant dans des opérations Tazieff. Il s'agissait d'un engin à 6 roues, doté d'un moteur d'une puissance de 300 cv permettant d'atteindre des rendements journaliers de 2 hectares débroussaillés. Le broyeur horizontal était suivi d'un système de tapis roulant et de déchiqueteuse qui projetait le matériel broyé dans un panier de réception des plaquettes. De nombreux incidents liés à la malveillance ainsi que l'effondrement du cours du pétrole en 1989 ont finalement eu raison de cette machine novatrice. Plus tard, un tracteur à chenilles Exploreur-Same de 90 cv avait été adapté pour le ramassage simultané du broyat, les plaquettes étant récupérées dans un fond en tunnel, repris par un deuxième broyeur et stocké dans une trémie à l'arrière du véhicule. Cet engin a malheureusement brûlé en 1996.

3. Stratégies de prévention, régime de feux de forêts et évolution de la biodiversité

Du fait de la déprise rurale, et malgré la pression des incendies, la forêt méditerranéenne est en extension et gagne 1 % par an en surface. Le Var est aujourd'hui le deuxième département le plus boisé de France avec un taux de boisement de 58 %. La forêt méditerranéenne s'accroît aussi en volume du fait de la faible exploitation des forêts. Il y a donc un **phénomène de stockage de biomasse accumulée de longue date en région méditerranéenne**.

Ce constat moyen doit être nuancé car le régime des feux* présente de grandes disparités au sein de la région. La forêt méditerranéenne française connaît depuis plusieurs décennies un **régime de feux* qui marque grossièrement un gradient depuis la frange littorale jusqu'à l'arrière-pays méditerranéen. Les zones littorales connaissent les incendies les plus fréquents (temps de retour de 10 à 30 ans)** et de plus grandes dimensions pouvant atteindre plusieurs milliers d'hectares. Ce régime de feux sévères s'accompagne localement d'une régression biologique par matorralisation* (Abbas, 1986 ; Quézel et Médail, 2003) comme dans certains secteurs de la Corse ou de la Provence calcaire (Côte bleue). **L'arrière-pays et les montagnes méditerranéennes connaissent des feux beaucoup moins fréquents et de plus petite dimension**. Cette zone est aussi caractérisée par une proportion importante de feux hors de la saison estivale liée à l'activité pastorale. Dans ces zones, une dynamique forestière est à l'œuvre, les milieux se referment et l'on rencontre fréquemment des peuplements vieillis non perturbés. Dans les zones intermédiaires, on rencontre une variété de situations, comprenant une mosaïque de milieux maintenus par un système agro-sylvo-pastoral plus équilibré et offrant une plus grande diversité d'habitats.

On peut en effet considérer qu'**à chaque régime de feux correspond une gamme propre de biodiversité**. Le régime de feux combiné aux autres perturbations naturelles ou anthropiques (tempêtes, dépérissements, pâturage, défrichements) génère un paysage composite où se distribuent sur le territoire, en proportions variables, les milieux en phase de maturation parce que peu perturbés, ceux en reconstitution plus ou moins lente après perturbation ou bien les milieux bloqués dans leur dynamique par une perturbation trop fréquente. Malgré le gradient évoqué plus haut, on constate en région méditerranéenne une tendance générale à l'augmentation des formations végétales fermées et de la connectivité entre espaces naturels. Or, **même si les milieux forestiers fermés ont souvent une biodiversité plus riche que les milieux ouverts** (par exemple pour l'avifaune voir Prodon et Lebreton, 1981), **beaucoup d'espèces rares sur le plan européen sont inféodées aux formations végétales méditerranéennes ouvertes, aux stades pionniers**. Par exemple, les pelouses sèches méditerranéennes, favorisées par les perturbations telles que le feu et le pâturage constituent un habitat protégé (Hétier, 1993 ; Prodon, 1995).

L'incendie est une perturbation qui favorise les espaces ouverts, mais pour des raisons de protection civile, tout est fait pour limiter cette perturbation, avec un certain succès lorsque les conditions météorologiques ne sont pas trop difficiles. Le régime de feux actuel est en effet en relation avec le niveau de prévention consenti**. Les effets conjugués de la stratégie de prévention et de lutte contre les**

incendies de forêt expliquent une part importante du bilan feux de forêt que nous connaissons**.** Par exemple, la stratégie d'attaque massive sur feux naissants, qui se généralise, aboutit à une moindre représentation des incendies de moyenne dimension (1 à 50 ha) au profit d'incendies de petite dimension (< 1 ha), alors que le nombre de grands incendies stagne, mais leur taille est de plus en plus grande (Hubert *et al.*, 1993). On observe en effet un phénomène de rattrapage les années de risque météorologique élevé où la biomasse accumulée sur les surfaces épargnées les bonnes années part en fumée lors de quelques grands feux catastrophiques. Les derniers en date se sont déroulés pendant l'été 2003. **On semble devoir se résigner à la juxtaposition de milieux en cours de fermeture avec des espaces parcourus par des incendies sévères, de grandes dimensions, peu propices à la remontée biologique.**

Le développement du brûlage dirigé apparaît comme une solution économiquement viable pour maintenir le rôle du feu dans les écosystèmes méditerranéens selon le régime approprié, tout en garantissant la sécurité des biens et des personnes. D'abord introduit dans un objectif strict de maîtrise du combustible pour la prévention des incendies de forêt, le brûlage dirigé est de plus en plus utilisé à des fins de conservation des habitats. **Dans une perspective de développement de la valorisation énergétique du débroussaillement, le brûlage dirigé devrait être réservé prioritairement aux zones difficilement accessibles aux engins lourds ou dédiées à la protection des habitats.**

La gestion du combustible contribue au maintien des milieux ouverts et à la conservation des habitats, au moins dans le cas d'une DFCI raisonnée avec maintien par exemple d'îlots arbustifs (Quertier, 2000). **La superficie traitée ne représente actuellement**, on l'a vu, **que quelques pourcents de la surface totale protégée**. Si les recommandations techniques et la loi sur le débroussaillement étaient correctement appliquées, une surface totale de 200 000 ha pourrait être concernée, dont 40 % concentré sur la frange urbanisée (Duché, 2006).

Dans cette perspective, certains s'inquiètent des impacts environnementaux d'une pression de débroussaillement excessive à l'interface habitat-forêt. D'une manière générale, une gestion du combustible avec exportation de la biomasse pourrait poser un problème de perte de fertilité des zones concernées et de protection contre l'érosion des sols mis à nu. Le sursemis d'espèces herbacées fourragères combiné à l'entretien des ouvrages par le sylvo-pastoralisme peut permettre, au moins en partie, de limiter cet écueil.

4. La nouvelle donne liée aux changements climatiques

Ce contexte est amené à évoluer sous l'effet des changements climatiques. On s'attend à des feux plus fréquents et plus sévères et à une extension vers le nord de la zone à bioclimat méditerranéen**. L'année 2003 a préfiguré ce qui nous attend au cours du siècle qui s'ouvre**. Alors que les zones littorales et singulièrement le massif des Maures subissaient les incendies de « rattrapage » évoqués plus haut, l'arrière-pays et les montagnes méditerranéennes connaissaient un grand nombre de sinistres d'une ampleur jusque-là extrêmement rare dans ces milieux. Ces feux ont eu localement des conséquences graves dans ces milieux fragiles. Ils ont concerné des séries RTM dans les Alpes du Sud et ont généré des phénomènes érosifs qu'il a fallu limiter par d'importants travaux de restauration de terrain incendiés (L'Argentière la Bessée (05), Luceram (06)). **Globalement, les changements climatiques annoncés s'accompagneront d'une extension des zones de matorralisation* et de risques accrus en zones écologiquement sensibles jusqu'alors préservées, conduisant ainsi à une érosion générale de la biodiversité**.

Compte tenu des prévisions démographiques, ces phénomènes s'accompagneront dans tous les cas, d'un problème persistant, voire accru, de protection civile.

Dans la perspective d'une remontée vers le nord de la France des zones à bioclimat méditerranéen, on s'attend à ce que des régions aujourd'hui peu concernées et non préparées soient touchées plus fréquemment par les incendies. Dans ces régions où la culture de l'aménagement du territoire de type DFCI n'existe pas, une attention particulière devra être portée pour organiser très tôt les travaux de prélèvement de biomasse en cohérence avec cette exigence émergente.

Les mesures de prévention seront nécessairement amenées à monter en puissance pour faire face à l'augmentation du risque et tenter de maintenir le niveau de parade actuel. Les changements d'usage et particulièrement une exploitation accrue de la biomasse forestière peuvent avoir, jusqu'à un certain point, un effet compensatoire. L'exploitation de la biomasse peut apporter une réponse économiquement intéressante à ce défi.

5. Questions conclusives

Pour avancer dans cette voie, il faudra préalablement lever quelques incertitudes sur la nature des opérations de prélèvement de biomasse, la nature des produits disponibles, leur quantification, la rentabilité de leur exploitation et le type de marché qui peut se mettre en place. Pour répondre à certaines de ces questions, un effort de recherche sera nécessaire.

Pour donner des résultats satisfaisants**, l'exploitation de la biomasse doit être organisée en respectant les bonnes pratiques de la DFCI**. Par exemple, il ne faut pas que les coupures de combustible stratégiques soient délaissées au profit d'autres zones où le gisement de biomasse serait plus abondant. Dans ce contexte, la cohérence territoriale des actions de prévention des incendies devra être assurée, pour garantir la continuité spatiale et la permanence temporelle de l'état débroussaillé.

Sur un plan technique, il faut noter qu'**une opération d'exploitation de la biomasse ne répond pas d'emblée à toutes les caractéristiques d'une intervention de débroussaillement**, notamment si les branches d'exploitation ne sont pas transformées en bois de chauffage ou en plaquettes et sont abandonnées au sol. Ainsi, une opération d'exploitation de la biomasse qui non seulement laisserait les arbustes en place, mais en plus laisserait des rémanents d'exploitation sur la parcelle, contribuerait à augmenter fortement le risque d'incendies plutôt que de le baisser. A défaut de transformation des rémanents et des arbustes en plaquettes, **des travaux complémentaires de broyage ou de brûlage devraient nécessairement suivre l'intervention pour diminuer la sensibilité au feu de la parcelle, limitant peut-être l'intérêt économique de l'opération**. La réduction du combustible arbustif sur les ouvrages de DFCI ne pourra être valorisée en biomasse – énergie sans la reprise des efforts de R&D pour la mise au point d'un engin performant « débroussailleur – ramasseur de plaquettes ».

Des recherches sur les **technologies des chaudières** seront sans doute aussi nécessaires pour les adapter à des combustibles non standards, tels que ceux qui abondent en région méditerranéenne : produits d'élagage et de débroussaillement, déchets combustibles (palettes, caisses, emballages). Les plaquettes forestières issues du débroussaillement peuvent présenter un taux important de particules fines et de terre susceptibles notamment d'encrasser les systèmes d'approvisionnement par vis sans fin. De plus, cette ressource est plus hétérogène en taille et en structure qu'une plaquette forestière classique, conférant à ce matériau une grande hétérogénéité de l'hygrométrie. Dans l'état actuel des choses, ces caractéristiques restreignent l'utilisation de cette ressource à de grosses unités disposant de foyers puissants.

Sur le plan économique, **l'inventaire complet des produits et des quantités mobilisables devra être poursuivi**. Dans cette démarche on distinguera les différents types de zones débroussaillées qui ont chacun leurs caractéristiques propres déterminant la rentabilité économique de l'opération. Les coupures de combustible de cloisonnement des massifs semblent les zones les plus favorables parce qu'offrant des surfaces importantes généralement accessibles aux engins lourds. En outre, ces aménagements peuvent donner accès aux parcelles forestières contiguës qui pourraient faire l'objet d'une récolte de la totalité de la biomasse au stade de maturité du peuplement (Duché, 2006), renforçant ainsi quelques années l'assise de l'ouvrage DFCI. En revanche, les opérations de débroussaillement autour des constructions, même si elles concernent potentiellement des surfaces importantes (50 000 à 100 000 ha selon Duché, 2006) n'offrent pas une biomasse facilement mobilisable du fait de la dispersion des propriétés et des contraintes sociales dans ces zones résidentielles. Dans tous les cas les biomasses mobilisables doivent être évaluées dans le cadre d'un cycle d'entretien de 3 à 5 ans.

Le renouvellement de la ressource selon la productivité des stations et sous différentes contraintes climatiques est à évaluer afin d'en déduire le taux de prélèvement acceptable. Une fois ces seuils établis,

et s'ils garantissent la rentabilité économique de l'opération, une planification des prélèvements devra être organisée sous le contrôle d'une instance de suivi, garante de la pérennité de la ressource.

Concernant la nature du marché, l'expérience montre que **les solutions les plus prometteuses sont celles qui font appel à une ressource locale dans une perspective de développement territorial durable**. Dans cet esprit, en s'intégrant dans la filière bois, on n'opposera pas le bois-énergie aux autres utilisations du bois. La mobilisation des ressources des bassins de production locaux au travers de filières courtes favorise la création d'emplois, également locaux. Cette démarche s'oppose à une approche à l'échelle du marché international de l'énergie, dans laquelle la ressource méditerranéenne en bois-énergie ne serait pas forcément un produit de substitution rentable. Dans ce contexte, une politique volontariste de soutien financier aux filières locales peut s'avérer nécessaire, au moins dans la phase de lancement.

6. Références bibliographiques

Abbas H., 1986. *Contribution à l'étude des forêts de pin d'Alep dans le sud-est méditerranéen français*. Thèse Doct. État. Aix-Marseille, Université Aix-Marseille 3, 254 p.

Duché Y., 2006. Evaluation de la biomasse produite par les travaux de DFCI en région méditerranéenne. ONF, Direction Territoriale Méditerranée, Mission Zonale DFCI, 3 p.

Hétier J.-P., 1993. *Forêt méditerranéenne: vivre avec le feu ? Eléments pour une gestion patrimoniale des écosystèmes forestiers littoraux*. Conservatoire de l'Espace Littoral et les Rivages Lacustres (Collection « Les Cahiers du Conservatoire du Littoral », n° 2), 140 p.

Hubert B., Rigolot E., Turlan T., Couix N., 1993. Forest fire prevention in the Mediterranean region. *In* Brossier J., Bonneval L. de, Landais E. (eds), *Systems studies in agriculture and rural development*. INRA Editions, Science Update, 63-86.

Perriez F., Bartet J.-H., Barthélémy F., Foin P., Battesti J.-P., David J.-P., 2003. *Rapport sur la protection contre les incendies de forêt après les feux de l'été 2003. Tome I : Rapport général.* Paris, ministère de l'Intérieur, de la Sécurité intérieure et des Libertés locales ; ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales ; ministère de l'Écologie et du Développement durable ; ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, 84 p.

Prodon R., Lebreton J.-D., 1981. Breeding avifauna of a Mediterranean succession : the holm oak and cork oak series in the eastern Pyrenees, 1. Analysis and modelling of the structure gradient. *Oikos*, 37 : 21-38.

Prodon R., 1995. Impact des incendies sur l'avifaune. Gestion des paysages et conservation de la biodiversité animale. *Forêt Méditerranéenne*. Tome XVI : 255-263.

Quertier P., 2000. Conception des coupures de combustible : contraintes paysagères et écologiques. *In* Rigolot É., Costa M. (coord.), Conception des coupures de combustible. Réseau Coupures de combustible RCC n° 4 - Éd. de la Cardère Morières, 89-93.

Quézel P., Médail F., 2003. Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Paris, Elsevier (Collection Environnement), 571 p.

CHAPITRE 15

AUGMENTATION DE LA RÉCOLTE FORESTIÈRE ET BIODIVERSITÉ : STRUCTURES PARTICIPATIVES ET OUTILS D'INFORMATION POUR UNE RÉGULATION TERRITORIALE

Christophe Chauvin, Cemagref Grenoble,
et Guy Landmann, Ecofor

1. Contexte : la forêt sollicitée

1.1. L'accord « +/+» du Grenelle de l'Environnement

« *Produire plus tout en protégeant mieux la biodiversité : une démarche territoriale concertée dans le respect de la gestion multifonctionnelle des forêts* ». Cet accord « +/+ » passé entre partenaires du milieu forestier (FNE, ONF, FNCOFOR, FPF) dans le cadre du Grenelle de l'Environnement (voir chapitre 1) résume bien les demandes plus ou moins contradictoires que doit gérer la politique forestière : dialectique production/protection, mais aussi équilibres national/local, zonage/multifonctionnel, et leurs pendants techniques : bois-énergie/bois d'œuvre, substitution/stockage du carbone, performance/ résilience des écosystèmes dans le contexte du changement climatique. Cet accord s'intègre pour finir dans la dialectique croissance/durabilité qu'incarne le défi « facteur 4 » d'une division par 4 des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050 (MIES, 2006).

Ces tensions entre enjeux, lisibles dans le positionnement des acteurs nationaux, seront probablement renforcées par l'augmentation prévue des prélèvements de biomasse et des interventions en faveur de la productivité des forêts, ce qui donne une **urgence particulière à la question forestière** : il s'agit de mettre en place un dispositif adapté pour éviter des effets non désirés sur la biodiversité ou sur les facteurs mêmes de production tels que sols et eaux, de l'intérêt nouveau porté à la forêt. Dans ce chapitre, nous traiterons surtout de la biodiversité, mais les concepts exposés s'appliqueraient également à la gestion des ressources naturelles.

À plus long terme, l'enjeu est celui de la gestion durable des forêts, ressource naturelle multi-usages dont les produits sont nécessairement limités quelles que soient aujourd'hui les marges de manœuvre encore disponibles.

Les dialectiques du Grenelle

Production/protection

« *Produire plus tout en protégeant mieux* » : la formule peut être lue comme exprimant une **volonté forte pour augmenter la production de bois dans le respect des autres fonctions de la forêt**, ce qui suppose des moyens financiers à assortir de règles de conditionnalité environnementale et sociale localement adaptées. Elle pourrait, éventuellement se lire dans un profil plus bas, comme affirmant une exigence forte sur la qualité et la durabilité de la gestion des forêts, soumises d'une façon ou d'une autre à une nouvelle pression sur le bois.

Quelle que soit la politique plus ou moins incitative finalement suivie, l'État est ici dans sa mission première, réaffirmée par la loi d'orientation sur la forêt de 2001, de régulateur et garant d'une cohérence.

Global/local

Le reste de l'accord « +/+ », qui se réfère aux territoires et à la multifonctionnalité, a eu tendance à disparaître des citations, comme simple modalité de mise en œuvre.

Mais les **collectivités territoriales** (régions, départements, communautés de communes et communes) sont en train d'acquérir des compétences larges sur la gestion des ressources de leurs territoires, dans le cadre de la décentralisation et de l'harmonisation européenne, tandis que l'État n'a pas forcément les moyens financiers d'une politique volontariste. Elles se trouvent de fait plus proches des acteurs que les services de l'État, et sont notamment à même de mobiliser les propriétaires privés chez qui se retrouve l'essentiel de la ressource forestière supplémentaire : l'appui des communes aux **Plans de Développement de Massif** (PDM) est par exemple important pour les CRPF. Elles sont elles-mêmes des propriétaires motivés, et leur effet d'entraînement peut être important. Elles sont également des prescripteurs notables en matière d'utilisation du bois pour la construction et le chauffage des bâtiments publics.

Par ailleurs, les collectivités locales forment un **cadre approprié pour négocier et contextualiser des règles de conditionnalité environnementales et sociales** pour la gestion des forêts : « *le niveau local apparaît comme le seul à garantir le minimum de transversalité qui est au cœur du développement durable* », à condition d'être articulé au global par une gouvernance appropriée (Theys, 2002).

Pour la construction concrète d'un projet collectif sur la forêt, dans l'esprit du Grenelle au sens large, la participation accrue des collectivités territoriales et locales est donc incontournable.

Multifonctionnalité/zonage

S'ils sont soumis à la seule loi de la rentabilité économique, les prélèvements auront tendance à se concentrer dans les zones les plus faciles d'accès, également les plus mécanisables, tandis que les zones moins riches ou accessibles seraient plus ou moins abandonnées ou mises en réserve. **Cette spécialisation,** jusqu'à un certain degré intéressante pour la biodiversité par la variété de situations créée, **ne va pas nécessairement dans le sens de la diversité locale, et donc de la biodiversité ordinaire et** de la qualité de vie des riverains, ni d'une plus grande sobriété technique comme on a pu le voir avec le remembrement agricole. Une matrice de forêt plus multifonctionnelle doit sans doute être préservée et gérée, a priori en lien avec la « trame verte et bleue ».

Limitation globale /développement sectoriel

En fond de tableau se dessine finalement l'ambiguïté de fond : la forêt n'a pas vocation à sauver un système non durable qui finirait de toute façon par la détruire. Le développement des activités forestières ne peut que s'inscrire, selon l'esprit même du Grenelle, dans la perspective « facteur 4 » de réduction de la consommation d'énergie : même non totalement exploité aujourd'hui, **le bois reste une ressource limitée, dont** l'**utilisation doit être optimisée dès aujourd'hui dans le cadre d'une économie responsable et parcimonieuse.**

1.2. Du débat technique à la construction sociale

La dialectique production/protection s'est transposée en divers débats techniques, tendant à opposer deux grands types de sylviculture : un type agronomique, axé sur la productivité (notamment en bois-énergie) pour économiser le carbone fossile, et un type plus écosystémique et résilient, privilégiant le stockage sur pied et le bois d'œuvre* de qualité.

En fait, il y a plus ou moins continuum entre ces deux approches, et les débats techniques permettent finalement d'affiner le débat sur le zonage (cf. encadré) en soulignant la diversité des sylvicultures possibles sur chaque peuplement avec ses avantages et ses inconvénients selon les services environnementaux attendus.

À l'échelle d'un territoire, la combinatoire devient quasi illimitée, et la recherche d'une solution optimale vite illusoire : compte tenu également des incertitudes sur l'avenir, des lacunes de connaissance et du caractère non formalisé ou latent des attentes sociales, une démarche pragmatique d'amélioration continue sera plus pertinente. Plutôt que de trouver la solution optimale, il s'agit de construire un **itinéraire de gestion acceptable et viable**, c'est-à-dire fournissant durablement des services à un niveau satisfaisant, en évitant avant tout les crises susceptibles d'entraîner un effondrement d'ensemble.

1.3. Les approches systémiques

Cette articulation des aspects techniques et sociétaux a mené, dans des contextes variés, aux concepts de « territoire » (Giraut, 2008), « socio-écosystème » (Berkes *et al.*, 1998, in Anderies *et al*., 2004), ou de « démocratie technique » (Callon *et al.*, 2001). Selon ces **concepts « systémiques »**, les questions techniques et politiques, étroitement liées, ne peuvent pas être séparées dans l'action. Les diverses approches systémiques en provenance de l'écologie (Gunderson & Holling, 2002), de l'économie (Pecqueur & Zimmermann, 2002), des sciences politiques (Buttoud *et al*., 2002 ; Kouplevatskaya, 2007), convergent alors vers la nécessité de **mettre en place des lieux et des outils facilitant les échanges entre acteurs aux diverses échelles**, pour une bonne « gouvernance » d'ensemble permettant d'anticiper les crises et de construire des projets acceptables.

Plus précisément, on peut définir la gouvernance comme un système de décision impliquant un cercle élargi d'acteurs, notamment par les caractéristiques suivantes (Buttoud et Monin, 2007) :

- participation (des intéressés et du public) ;
- coordination intersectorielle ;
- articulation entre décisions prises aux différents niveaux ;
- expertise scientifique et sociale (et non seulement technique) ;
- non irrévocabilité *a priori* des décisions, toujours soumises à suivi et évaluation.

1.4. Le besoin d'une gouvernance pour la forêt

Ces concepts s'appliquent *a priori* à la gestion forestière, confrontée à la diversité de la ressource et à la multiplicité des demandes. Des blocages pour l'application du Grenelle peuvent en effet apparaître, par exemple si l'accent est trop mis sur la production, impopulaire, si l'impasse est faite sur les enjeux territoriaux et multifonctionnels, importants pour les acteurs locaux contrôlant la ressource, et si enfin l'impression est donnée d'une mise à contribution des forêts sans remise en cause des gaspillages liés aux fonctionnements économiques actuels.

C'est finalement l'ensemble de la formule « +/+ » qu'on pourrait inverser : **« Construire un projet pour la forêt dans les territoires, sur des principes de durabilité et de biodiversité, d'économies d'énergie, et de multifonctionnalité »**. La production de bois, métabolite de la forêt, en serait un corollaire, comme résultat, et comme moyen d'action et de financement. Il ne s'agit cependant pas tant d'inverser la formule du Grenelle, que d'en rendre les termes plus interactifs : tel est l'objet d'une « **gouvernance** », au sens défini plus haut, que l'État aurait pour rôle d'aider à faire émerger, et de garantir.

Ce chapitre se propose de repérer quelques éléments d'une telle gouvernance. Il convient auparavant de préciser les enjeux de la biodiversité et de la gestion forestière, en faisant notamment ressortir l'importance des effets spatiaux et d'une bonne articulation entre échelles. Nous pourrons alors tenter de resituer les outils classiques de la politique forestière, réglementaires, institutionnels, informationnels, financiers ou de mise à disposition d'équipements publics, dans le cadre élargi de cette nouvelle gouvernance.

1.5. Les trois biodiversités et leurs politiques

La politique envers la biodiversité s'est construite d'abord autour de ses composantes les plus spectaculaires, constituant la **« biodiversité remarquable »**. La stratégie correspondante, de mise en réserves, de création de parcs nationaux et de protection d'espèces rares, est typiquement réglementaire sous l'autorité de l'État.

Une politique plus large envers ce qu'on appellera ensuite la « **biodiversité ordinaire »** apparaît avec la création des parcs naturels régionaux, et la loi de 1976 sur la protection de la nature. Elle se développe avec la directive Habitats de 1992 et le programme Natura 2000. Cette politique s'appuie sur une vision plus négociée, associant protection et développement en co-construction avec les acteurs locaux. Via la directive Habitats, elle concerne une fraction significative du territoire, en gestion multifonctionnelle plus ou moins extensive.

Le maintien d'une **biodiversité** qu'on pourrait qualifier de **« fonctionnelle »**, c'est-à-dire concernant le fonctionnement même des (socio-) écosystèmes, relève d'une préoccupation plus récente. On s'intéresse ici au bon état général des écosystèmes et à la qualité des services qu'ils fournissent, face à l'ampleur planétaire des dégâts constatés en lien avec la mondialisation (Millenium Ecosystem Assessment, 2005), ou dans une perspective agronomique de maintien du capital productif en gestion intensive. Les politiques associées sont marquées par le libéralisme économique, auquel on essaie d'adapter le discours environnemental : évaluation monétaire des services rendus (Chevassus-au-Louis, 2009), de l'impact des dégradations, démarches de certification volontaire, mécanismes incitatifs de type crédits carbone.

1.6. L'importance des aspects spatiaux pour la biodiversité et la gestion

Les notions d'**écologie du paysage** et de **naturalité*** (ancienneté) viennent aujourd'hui compléter ces approches, en mettant l'accent sur l'hétérogénéité de l'espace, héritée et construite, et sur l'aspect spatial des fonctionnements. La gestion de la biodiversité se raisonne donc à l'échelle d'un paysage ou d'un territoire (Blandin et Lamotte, 1988 ; Burel et Baudry, 1999).

Qu'elle soit envisagée sous l'angle de la biodiversité ou de la production, la forêt se présente comme une **ressource hétérogène et dispersée**, appelant des modes de gestion différenciés : comme le souligne le plan d'action forêt de la stratégie nationale pour la biodiversité, « *les actions de gestion en faveur de la biodiversité forestière doivent tirer parti de la variété et la répartition des peuplements et habitats forestiers à l'échelle d'un territoire ou d'un paysage*. » (MAP, 2006).

Essentielle pour la gestion de la biodiversité, **la prise en compte des divers niveaux d'organisation des socio-écosystèmes** l'est de la même façon pour la gestion forestière, où se sont imposées les échelles différenciées de la parcelle pour la sélection des arbres (la sylviculture), du massif pour l'organisation des dessertes et des coupes (l'aménagement, les schémas de desserte), puis plus récemment l'échelle du bassin d'approvisionnement pour une structuration raisonnée de la filière-bois (les études de ressources, les plans d'approvisionnement territoriaux, PAT).

1.7. Une articulation encore insuffisante entre systèmes d'information

Cette organisation hiérarchisée nécessite un système d'information également multi-niveaux. Mais, malgré les efforts entrepris (Bergonzini, 2002), **il s'agit encore d'une superposition de dispositifs plus que d'un système intégré** : pour des raisons qui ne sont pas que techniques, les données des différents organismes forestiers se relient mal entre elles, ainsi qu'aux données de l'Inventaire forestier national (IFN), et sont assez peu appropriées par les opérateurs de terrain. Les données environnementales ne sont pas toujours accessibles, ou peuvent faire défaut. Pour finir, les résultats scientifiques tirés

d'expériences locales sont difficilement extrapolables à cause de ce manque de connexion entre données aux diverses échelles.

Le manque de vision d'ensemble qui en résulte, pour la biodiversité comme pour la forêt, rend plus difficiles à maîtriser les effets d'une intensification de l'exploitation forestière, sur ces deux plans de la biodiversité et de la production ligneuse elle-même. Les zones les plus accessibles risquent notamment d'être exploitées en priorité, et plus fortement, alors qu'elles peuvent avoir une valeur patrimoniale, fonctionnelle ou paysagère importante (lisières, corridors, proximité par rapport aux voies et aux habitations), justifiant des protections ou des prescriptions spécifiques.

2. Les outils techniques d'une gestion différenciée : trame verte et bleue, gestion adaptative

Au-delà des préconisations locales, deux concepts se dessinent pour un meilleur contrôle des effets d'une augmentation des récoltes à l'échelle des paysages et des territoires. Ces deux outils complémentaires sont la trame verte et bleue, et la gestion adaptative.

2.1. La trame verte et bleue

Promue par le Grenelle à partir d'exemples comme le Nord-Pas de Calais ou le Canton de Vaud, la trame verte et bleue (TVB) se présente comme une occasion de remettre en cohérence de façon transversale les trois politiques de biodiversité remarquable, ordinaire et fonctionnelle, en les intégrant au niveau spatial et territorial (3 guides TVB sont en préparation au Meeddat). Elle apparaît à la fois comme une mesure **conservatoire d'urgence** pour certains écosystèmes-clés, avec les mesures réglementaires correspondantes, et comme un **support pour la co-construction d'une politique de long terme**. Sa **pertinence écologique** – et donc le bénéfice à en attendre de ce point de vue – méritent d'être évalués de façon approfondie.

2.2. La gestion adaptative

Le concept nord-américain de **gestion adaptative** (*adaptive management* de l'United States Department of Agriculture (USDA) est celui d'une **gestion fondée sur l'apprentissage**, capable d'intégrer dans ses décisions les connaissances acquises aux diverses échelles par le **bon sens, l'expérience, le suivi, ou l'expérimentation scientifique** (Stankey *et al*., 2005). La gestion adaptative part donc d'un état donné des connaissances, pour l'améliorer progressivement par confrontation au réel. Elle reprend ainsi la démarche d'aménagement forestier classique, mais en l'élargissant à l'échelle du territoire et en lui donnant une plus grande réactivité : elle forme un cadre théorique unificateur pour l'ensemble des approches intégrées aux diverses échelles d'espace et de territoire, de la propriété à la grande région. Elle correspond aux concepts de « recherche-action », « recherche de type 2 », recherche appliquée ou impliquée.

La gestion adaptative a un champ d'application très large : quel que soit l'objectif ou la méthode, elle permet d'ouvrir le débat sylvicole en se donnant les moyens de l'observation et de la mémoire. Apte à intégrer les connaissances expertes autant que scientifiques, elle convient notamment au suivi d'une sylviculture « fine », écosystémique, posant plus explicitement le principe de s'appuyer sur les mécanismes propres des écosystèmes, et cherchant à préserver la biodiversité.

3. La nécessité et l'intérêt d'une approche participative

Les approches « trame verte et bleue » et « gestion adaptative » ne peuvent pas rester simplement techniques, centrées sur les écosystèmes. Mises en œuvre dans les territoires, elles interfèrent avec les activités d'autres acteurs que forestiers et nécessitent une **approche socio-politique**, comme l'ont illustré les séminaires « Concertation, décision et environnement » organisés par le ministère de l'Ecologie entre 2000 et 2005 (Billé et Mermet, 2003-2006). Pour la mise en œuvre d'une gestion multifonctionnelle, la participation des acteurs, pour coûteuse en temps voire risquée qu'elle puisse apparaître aux gestionnaires, apporte divers avantages techniques et politiques.

3.1 Le partage des connaissances

La participation est l'occasion de rapprocher les connaissances profanes et expertes, permettant une meilleure compréhension réciproque, et l'émergence de diagnostics sinon partagés du moins intelligibles par tous. Elle permet également une meilleure connaissance des attentes des divers acteurs, et d'éventuelles idées de solutions pratiques.

3.1. La prise de conscience et l'engagement des acteurs

La participation permet la prise de conscience des acteurs par rapport à de nouveaux enjeux, notamment par interaction avec d'autres parties prenantes. Elle leur permet de mieux faire connaître leurs attentes, et de contribuer ainsi à une « co-construction » de la demande. Cette **prise de conscience pourra favoriser l'acceptation de nouvelles mesures, et mieux encore l'engagement des acteurs dans une démarche personnelle les menant au-delà des prescriptions légales**. Cette stratégie pragmatique du « *beyond compliance* » est à la base de la politique forestière de la Suède depuis la loi de 1993 (Appelstrand, 2008). Le développement de la certification forestière, soutenue par l'État en France comme en Suède, relève de la même stratégie politique.

3.2. La légitimité des décideurs

Aux échelles territoriales, **la participation des acteurs permet d'apporter le supplément de connaissances et de légitimité nécessaire au forestier comme au politique**. Cette participation ne se substitue pas à la compétence des gestionnaires, ni à l'autorité des élus ou de la puissance publique en général : en fait elle les présuppose, pour l'organisation des débats et la résolution des conflits, et doit finalement contribuer à les renforcer.

L'approche participative peut donc relégitimer les décideurs. Mais bien sûr elle reste une arme à double tranchant, susceptible de faire apparaître des faiblesses chez les gestionnaires, ou de donner imprudemment le pouvoir à un lobby efficace, et finalement de lasser tout le monde dans un dialogue de sourds long et coûteux : pour être utile, la participation doit être abordée avec sincérité, mais aussi professionnalisme.

4. Les méthodes participatives

4.1. Approche stratégique et gestion patrimoniale

L'implication concrète des acteurs dans la construction de l'action collective (Crozier et Friedberg, 1977) et dans l'apprentissage collectif concomitant (Callon, 2002) fait l'objet des sciences de la gestion. Ces disciplines s'appuient sur le principe d'une autonomie partielle des acteurs en interaction, qui les amène à développer des stratégies complexes relevant de la théorie des jeux.

De telles approches sont d'abord descriptives, pour rendre compte du « système d'action concret » (Crozier et Friedberg, 1977) sur lequel on veut intervenir. Leur adaptation à la gestion des milieux naturels a conduit à l'**audit patrimonial** (Ollagnon, 1997) et à **l'analyse stratégique des enjeux environnementaux** (Mermet, 1993).

L'intervention sur le système est ensuite dépendante du contexte ainsi identifié et des opportunités qui se présentent. Elle se prête donc mal aux recettes, mais depuis vingt ans la pratique des approches participatives dans le développement territorial (chartes de PNR, de pays), la gestion des eaux (contrats de rivières), puis celle des forêts (chartes forestières de territoire) a fait émerger des méthodologies relativement similaires.

4.2. Une méthode en trois phases

Les méthodes participatives, notamment dans le domaine de l'eau (HarmoniCOP, 2005) ou de la forêt (Kouplevatskaya, 2007), s'appuient sur 3 phases principales :

- le **diagnostic partagé**, centré sur le repérage des acteurs et le recueil d'information : état des lieux, expression des besoins et attentes, partage des représentations entre acteurs ;
- l'**élaboration du programme d'action** : phase de confrontation et négociation, aboutissant à la détermination de grands objectifs et principes d'action, parallèlement à une liste hiérarchisée et priorisée d'actions concrètes ;
- la **mise en œuvre du programme d'action** : contractualisation, réalisation, avec procédures graduées de résolution des conflits, de suivi et d'évaluation, menant à un nouveau cycle : diagnostic–planification-action.

Les acteurs sont impliqués dans chacune de ces 3 phases, donc suffisamment en amont des décisions. Ce principe est particulièrement important en matière de biodiversité, pour prévenir des destructions irréversibles. **Cette imbrication étroite entre concertation, action et contrôle peut aboutir à une logique de recueil de données en continu, aux échelles appropriées** : on rejoint ici les principes de la gestion adaptative, ouverte aux savoirs et aux attentes de l'ensemble des acteurs.

4.3. Un cadre institutionnel souple : les chartes forestières de territoire

La méthode décrite correspond à un modèle extrême de participation : dans la pratique, selon le degré d'implication des acteurs dans les décisions elles-mêmes, on parle d'information, de consultation, de concertation (recherche de consensus), de co-décision. La gestion forestière dépasse en fait rarement le stade de l'information et se limite en général à la consultation (enquêtes d'opinion, participation au diagnostic).

L'expérience des **chartes forestières de territoires** (CFT) représente une avancée vers la concertation à l'échelle d'un territoire suffisamment vaste pour se construire une stratégie dans la durée (Weiss, 2003), ne serait-ce que par l'embauche d'un animateur à temps plein. Comme les autres types de chartes, les CFT forment un cadre suffisamment souple pour la mise en œuvre de méthodes participatives. Dans une logique qu'on pourrait qualifier de systémique, elles associent l'information technique et l'action politique en s'appuyant sur deux piliers, un animateur technique et un élu référent. Cette architecture, portée également par les principaux acteurs institutionnels, permet la **capitalisation des résultats matériels et immatériels**, et donc la durabilité de la démarche. Cette capitalisation est à entendre au sens technique, (équipements, bases de données, connaissances scientifiques et savoir-faire), mais aussi environnemental, (amélioration des pratiques, des écosystèmes eux-mêmes et de leur protection), et surtout social : liens informels entre acteurs, contractualisations entre partenaires.

5. Les outils d'information et de communication

Fondée sur l'échange des informations et des représentations, la participation suppose des outils de communication diversifiés, adaptés à des forums variés pour des publics différents.

5.1. Sites emblématiques (remarquables ou représentatifs)

Les premiers outils de communication sur la biodiversité et sur la forêt devraient être les écosystèmes eux-mêmes. L'existence d'un réseau de sites visitables, et notamment de chantiers pilotes, donne une base concrète de référence pour les représentations élaborées. Ces sites permettent un **échange des représentations dans des cas de gestion active comme de réserves intégrales**.

5.2. Bases de données géoréférencées

Aujourd'hui incontournables pour la bonne gouvernance des territoires, les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) permettent le stockage de données brutes, leur présentation interactive sous la forme de cartes ou d'indicateurs, et la simulation prospective. Ces bases de données correspondent à une **logique de suivi continu**, avec des périodicités différentes selon les variables suivies et leur rapidité d'évolution. Elles donnent un pouvoir important à leurs gestionnaires, et peuvent être l'objet de rivalités importantes en l'absence de politique claire de l'État ou des collectivités sur leur mise à disposition, dans

le cadre pourtant explicite des directives européennes sur les données publiques. Le rôle des collectivités territoriales et locales, gestionnaires des espaces, devrait se renforcer dans ce domaine.

On peut noter l'impact important des préoccupations de protection de la biodiversité dans le développement des SIG : cartographies des conservatoires botaniques, mise en ligne des ZNIEFF par les DIREN ; et également expérience des forestiers en ce domaine, tant dans l'aménagement forestier local (ONF, CRPF, coopératives) qu'au niveau national (IFN) (André *et al.*, 2004).

5.3. Cartographies, chorèmes

Face visible des bases de données, les **cartes** offrent l'avantage de donner beaucoup d'informations, visibles en même temps par beaucoup d'acteurs. Elles sont donc à privilégier dans une gestion participative par rapport aux indicateurs, nécessaires mais réducteurs. Elles demandent cependant une technicité importante, source de coûts et de dépendance par rapport à l'opérateur (Kleitz, 2003) et nécessitent donc des procédures bien bordées.

Faute de toujours disposer d'un SIG suffisamment interactif, ou en parallèle, une voie souple pour faciliter les échanges en limitant les intermédiaires techniques est l'utilisation de « **chorèmes** », **schémas plus ou moins manuels sur la base de codifications simples, plus interactifs** (Benoît *et al.*, 2006).

5.4. Indicateurs : diagnostic et suivi, évaluation des politiques publiques

Offrant un résumé facilement accessible de bases de données ou de cartes complexes, les « indicateurs de développement durable » ont été présentés au sommet de Rio de 1992 comme des outils de suivi. Ils servent de support de discussion et de négociation entre partenaires d'un territoire, pour la construction et le pilotage d'une gestion durable (Colinot et Chauvin, 2004). Divers auteurs dénoncent cependant la tentation d'une utilisation plus normative, pour l'évaluation et la certification, où ils constitueraient la référence et finalement la définition même du développement durable (Brédif et Arnould, 2004). Ce **risque de réductionnisme** est particulièrement net en matière de biodiversité, où des jeux d'indicateurs variés et contextualisés sont nécessaires à une véritable démarche d'amélioration continue.

Le colloque « Les usages des indicateurs de développement durable » a fait en 2006 un **point mitigé de l'utilisation des indicateurs** (Rey-Valette *et al.*, 2006). Selon les auteurs, les indicateurs sont restés des **outils de spécialistes**, peu appropriés par les acteurs de terrain, car soit trop pointus lorsque proposés par des scientifiques, soit trop généraux dans le cas des standardisations internationales de type MCPFE-Helsinki pour la gestion durable des forêts. Ils ont cependant permis d'accompagner une **évolution vers la gestion participative au niveau local**, en devenant support d'un processus collectif d'élaboration. Les indicateurs localement adaptés sont plus complexes et évoluent notamment vers la recherche de transversalité entre piliers du développement durable, au contraire des indicateurs issus des processus internationaux ou universitaires, plus souvent issus de « recyclages opportunistes » pour les auteurs de l'article. Au final, et toujours selon le même colloque, l'approche est souvent hybride, associant des indicateurs co-construits et d'autres issus de listes génériques.

Exemples d'indicateurs selon un système DPSIR

Aujourd'hui la **classification DPSIR** (Driving forces, Pressures, State, Impacts, Responses) de l'Agence européenne de l'environnement (voir chapitre 1, figure 2) forme un cadre assez exhaustif et partagé, cohérent notamment avec l'approche systémique de la **gestion adaptative** par son organisation en boucle rétroactive - même si l'aspect systémique pourrait être encore développé par une meilleure prise en compte des échelles.
Cette organisation en boucle correspond également à une logique d'**évaluation des politiques publiques**, s'appuyant sur des indicateurs d'effectivité, de résultats et d'effets désirés ou non désirés. Elle s'inscrit clairement dans une logique d'**amélioration continue**.
Parmi beaucoup d'indicateurs existants dans la littérature, on peut citer pour la biodiversité forestière, et plus largement pour l'état et le suivi des écosystèmes forestiers :

Facteurs-clés *(Driving forces)* régionaux

Indicateurs de contexte régional, grands enjeux du territoire dépassant la forêt : conditions géo-climatiques (fertilité, accessibilité), taux de boisement, demande en bois (marchés, relation globale récolte/accroissement), pression démographique et touristique (surface de forêt par habitant), facteurs de risque, densités d'herbivores et pression cynégétique, etc.

Pressions *(Pressures)* des divers usages

Intensité locale des usages : exploitation, fréquentation, pollution, herbivorie, etc. Conflits d'usage.

État *(State)* des écosystèmes et des espèces

Indicateurs sur les **habitats** (donc « indirects » par rapport aux espèces) : proportion des divers types de milieux, densité des micro-sites. **Aspects spatiaux** : longueurs de lisières de divers types, indices de fragmentation, dimensions fractales. Aspects dynamiques : indicateurs de santé, de vulnérabilité, de résilience, de productivité des écosystèmes.
Indicateurs de **diversité spécifique**, aux diverses échelles du territoire. Indicateurs d'évolution : nombre d'espèces perdues, (re)gagnées, par le territoire dans les divers groupes dans un laps de temps donné. Ce type d'indicateur d'évolution est transposable aux milieux rares (pertes en surface), aux paysages (sites sensibles dégradés).

Impacts *(Impacts)* des usages sur les écosystèmes et les espèces

Dégâts locaux d'exploitation, de fréquentation, de pollution, etc. On peut citer le cas en Suède où une sylviculture par grandes trouées est assortie de mesures environnementales mesurables : maintien d'essences rares et du bois mort, respect des sols et de la voirie (dispositif « politax »). En France, de tels indicateurs pertinents pour le suivi pourraient être définis par grands types de sylviculture. En complément de ces indicateurs d'impact local, doivent être suivis des indicateurs d'**impact global** : efficacité énergétique, CO_2 et pollutions distantes, analyse du cycle de vie (ACV) des matériels utilisés, de manière à fournir un éco-bilan complet, à l'échelle d'une coupe puis globalement pour un bilan territorial.

Réponses *(Responses)*

Il s'agit des **mesures politiques** (réglementaires, incitatives, informationnelles) prises en faveur de la biodiversité par rapport à l'ensemble des facteurs clés et des usages : elles se mesurent souvent en euros (mesures incitatives, actions concrètes en découlant), mais aussi en nombre de textes, de dossiers, de procès-verbaux, de réunions, de brochures, de temps d'animateur, etc.

5.5. Analyse multicritères

L'analyse multicritères fournit des procédures de décision pour trancher entre plusieurs scénarios caractérisés par divers jeux d'indicateurs prédéfinis. **Normative** par essence, elle relève davantage du « gouvernement », par exemple pour le choix de grands projets d'équipement, avec options lourdes sur l'environnement, que de la « gouvernance » souhaitable pour la gestion de la biodiversité ordinaire au

jour le jour. Elle est donc citée ici plutôt pour mémoire, la prospective offrant une souplesse préférable pour une *évaluation* multicritère capable de se créer ses propres outils de jugement.

5.6. Prospective pour une évaluation multicritère

La prospective constitue une mise en scène élaborée des données, à base de modèles dynamiques de simulation de scénarios, interactivement avec les acteurs qui peuvent contribuer à la définition des scénarios à comparer. Elle se situe donc dans une **logique « constructiviste » d'amélioration continue**. Les modèles multi-agents sont particulièrement intéressants, car ils permettent d'intégrer directement des comportements individuels d'acteurs. Leur simplification aboutit à des jeux de rôles, particulièrement interactifs et pédagogiques : le joueur peut élaborer des stratégies contrastées avec un faible nombre de paramètres et doit découvrir une partie des règles au cours du jeu. D'autres modèles dynamiques, de type conceptuel, permettent de mieux comprendre des tendances générales à partir d'une représentation simplifiée.

La prospective est appelée à prendre de l'importance dans le débat citoyen, en parallèle avec la pratique de l'évaluation des politiques publiques, mais devra sans doute être adaptée à la spécificité des enjeux environnementaux, pour véritablement accompagner une démarche au-delà d'un simple diagnostic ponctuel (Mermet, 2003). Elle devrait aider les acteurs à s'approprier la biodiversité comme projet collectif de long terme.

La prospective se décline à plusieurs niveaux. Elle peut s'appuyer sur des prospectives existantes à un niveau plus large (dans le domaine forestier : Sébillotte, 1998 ; Bourgau, 2009) ou sur les prospectives territoriales, et chercher des déclinaisons locales de ces scénarios globaux. Elle peut aussi consister à créer ses propres scénarios, issus de divers choix politiques au niveau local dans un contexte donné. La combinaison de ces deux approches, multiplicative, suppose une certaine automatisation. Au final, la prospective, comme exploration des possibles, va dans le sens du principe de précaution. Elle devrait *a priori* encourager le choix collectif de **méthodes de gestion robustes, flexibles** en fonction de l'évolution du contexte, et augmenter la résilience des systèmes.

5.7. Documents de planification et d'orientation

Les documents d'urbanisme

Déjà présente dans les documents d'urbanisme, la forêt devrait s'y trouver de mieux en mieux identifiée, notamment avec la mise en place de la trame verte et bleue.

Aux divers niveaux territoriaux, les Plans d'Exposition au Risque (PER), Plans Locaux d'Urbanisme (PLU), Schémas de COhérence Territoriale (SCOT), Schémas Régionaux d'Aménagement et de Développement Du Territoire (SRADDT) sont autant d'occasions d'un dialogue territorial accru sur la forêt, et notamment sur son rôle dans la gestion de la biodiversité via la TVB.

Les documents de gestion

Elaborés à l'échelle de la propriété ou du site, les documents de gestion (procès-verbal d'aménagement forestier, plan simple de gestion), font en général référence à des « codes des bonnes pratiques forestières » (CBPS) locales, ou au « règlement type de gestion » (RTG) d'une coopérative ou d'un expert, qui constituent un minimum pour assurer la durabilité de la gestion. Des prescriptions plus précises peuvent concerner la gestion de la biodiversité. Elles peuvent se référer à des guides de gestion de portée plus large.

5.8. Les schémas de desserte et de mobilisation, les plans d'approvisionnement territoriaux

Les schémas de desserte multifonctionnels, définissant de façon cohérente les infrastructures à créer à l'échelle d'un territoire, correspondent de fait à un document de gestion collectif. Ils peuvent se décliner en plans de mobilisation, définissant également les volumes exploitables dans les parcelles, avec ou sans calendrier des coupes. A une échelle plus large, la confrontation des ressources avec la demande locale

permet de définir le potentiel d'exportation du territoire, et d'organiser son approvisionnement en interne selon des plans d'approvisionnement territoriaux (PAT).

Les guides de gestion

Ces manuels élaborés à l'échelle d'une zone biogéographiquement homogène formalisent diverses bonnes pratiques applicables dans ce domaine, sur la base de méthodes de diagnostic et de typologies pratiques. Plus détaillés que les codes de bonnes pratiques, ils laissent en contrepartie une plus grande latitude de choix, avec un **objectif plus pédagogique que réglementaire**. Ils synthétisent un état de l'art et du consensus à une date donnée, et sont l'occasion d'un exercice périodique de concertation, avec une périodicité de 10 à 20 ans. Voir par exemple le Guide des sylvicultures de montagne (Gauquelin et Courbaud, 2006).

La contractualisation : cahiers des charges, commissions locales

Entre les documents de gestion précis au niveau local et les grandes orientations de type guides ou codes de bonne gestion, prennent place les divers types de contractualisation entre acteurs. Elles se traduisent par des « **cahiers des charges** » que les acteurs font évoluer interactivement au fil des contrats en fonction des réalisations.

6. Vers une intégration de la forêt dans la gouvernance territoriale

L'enjeu d'une gestion forestière durable est aujourd'hui de coordonner l'ensemble de ces outils de communication dans des forums appropriés, pour permettre une gestion mieux informée et plus participative de la ressource à l'échelle des territoires.

6.1. Le cadre institutionnel : décentralisation, intégration de la filière

Le cadre institutionnel, en pleine évolution, est celui de la **double décentralisation** : celle, propre à la France, qui continue à se jouer entre l'État et les régions ; et celle, générale au niveau européen, de la montée en puissance des territoires locaux. Ce nouveau cadre s'impose au secteur très administré de la forêt filière-bois, qui y trouve des opportunités nouvelles de développement, mais aussi de nouvelles contraintes.

Au cours de la décennie 2000, les deux tendances antagonistes identifiées en 1998 par la prospective INRA (Sébillotte, 1998), c'est-à-dire respectivement le développement d'une filière à dimension internationale et l'intégration des forêts dans les politiques locales, ont eu tendance chacune à se renforcer, sous l'effet de la remontée des prix du bois pour l'une et de la décentralisation pour l'autre. La forêt subissant ainsi directement les tensions de la « **glocalisation** », son système de gestion est amené à s'adapter dans le sens d'une gouvernance élargie, dans laquelle le projet territorial prend toute sa place.

6.2. Le principe de subsidiarité appliqué à la forêt

L'enjeu de la gouvernance est comme on l'a vu d'amener une interactivité entre acteurs publics ou privés, à chaque niveau territorial, et entre niveaux. Cette mise en réseau s'effectue selon des **principes** ouverts de **coopération** et de **subsidiarité**, mais aussi selon les principes plus **normatifs** portés par les directives européennes sur la protection de l'environnement.

Allouer efficacement des crédits, ou faire appliquer individuellement des directives, se heurte à un problème de transcription de directives générales en normes locales. Ces dernières sont trop particulières et nombreuses pour être définies d'en haut, et sont donc à négocier au plus près du terrain pour être efficaces et acceptées. Ce processus descendant de transcription négociée à travers les différents niveaux doit également permettre un échange remontant d'information, pour l'ajustement de l'ensemble. Un tel fonctionnement suppose à l'amont des directives suffisamment générales pour que chaque niveau puisse les préciser et les adapter en fonction de son contexte, sur des objectifs mesurables.

6.3. Conditionnalité des aides et cadre réglementaire

Parmi les moteurs possibles d'un tel fonctionnement par cadres emboîtés, la **conditionnalité des aides** devrait s'imposer dans un secteur subventionné comme celui de la forêt, du moins tant que les prix de l'énergie et du bois ne seront pas trop élevés. **Contractuelle et donc adaptable au fil du temps** dans une démarche d'amélioration continue, la conditionnalité peut mener à des réalisations volontaires « au-dessus de la norme » si elle est accompagnée d'une bonne politique d'information. En s'appuyant sur des logiques de qualité et d'amélioration continue, elle se met en synergie avec les approches libérales de certification, dont elle peut utiliser les mêmes indicateurs.

La conditionnalité des aides est indissociable, à tout niveau, d'un **cadre réglementaire strict**, remontant progressivement le niveau des exigences minimales en fonction des progrès des pratiques. Ce glissement vers le réglementaire sera de plus en plus nécessaire à mesure que la pression économique sur la ressource sera forte, limitant le recours aux aides.

Soulignons cependant que les outils financiers et réglementaires, pour être efficaces en matière de biodiversité, doivent s'intégrer dans une gouvernance participative plus globale, qui s'appuie sur l'information, la motivation et l'engagement des gestionnaires et propriétaires. L'affectif demeure le ressort essentiel de la majorité des propriétaires forestiers et des usagers.

6.4. Un niveau stratégique indispensable : le territoire de projet

Dans l'esquisse d'organisation institutionnelle mise en encadré, le niveau de définition des politiques a été globalisé de l'Europe au département. Il apparaît en effet que **les documents réglementaires ou d'orientation de niveau régional ou départemental restent d'un niveau de généralité voisin de celui des directives européennes**.

Une prise en compte fine de la biodiversité suppose des études et des débats au niveau opérationnel de la **communauté locale**, proche du terrain et des acteurs. Elle justifie aussi des débats à un niveau stratégique intermédiaire, celui des territoires de projet, disposant d'un certain recul pour une réflexion stratégique, et d'une masse critique pour l'animation notamment par l'intermédiaire d'une charte forestière de territoire.

Dans sa vocation de proximité, le **niveau départemental** peut avoir un rôle complémentaire pour assurer, dans ces instances locales, la représentation de certains groupes insuffisamment nombreux comme les naturalistes ou environnementalistes, ou les entreprises de travaux forestiers, acteurs directs sur le milieu. Il peut aussi correspondre à un niveau d'organisation des bases de données, comme la régie des données départementales de Savoie et Haute-Savoie.

Un exercice de design institutionnel

Qu'elles soient gérées par la conditionnalité ou par le règlement, par l'éducation ou par la certification, les bonnes pratiques sont en permanence à redéfinir. Mais le complexité qui marque aujourd'hui le paysage institutionnel complique l'émergence de propositions claires. Nous avons schématisé une organisation territoriale théorique à trois niveaux (politique, stratégique, opérationnel), cohérente avec le cadre européen, et avec les rapports Bianco (1998), Juillot (2003), Monin (2003), Lambert (2007) et Balladur (2009). Dans ce schéma théorique nous faisons dans le cadre de ce rapport d'expertise les propositions suivantes (en italique) aux divers niveaux territoriaux concernés par les questions forestières :

Niveau de définition des politiques : Europe, État, régions et départements

Cadre général technique et réglementaire, notamment pour les bonnes pratiques sylvicoles et le respect de la biodiversité, indiqués sous forme de principes généraux : orientation vers le bois d'œuvre, régénération naturelle, mélange d'essences, bois mort, etc.

- *Eviter les prescriptions trop détaillées, sauf sous forme de guides laissant une liberté de choix.*

Moyen d'information : bases de données (IFN), référentiels géographiques (IGN), guides de stations,

- *Mettre ces moyens en libre disposition comme infrastructures essentielles ; politique de recherche articulée avec la gestion au travers de grands programmes finalisés, avec chantiers pilotes et mise en place de systèmes de suivi coordonnés.*
- *Aides publiques aux propriétaires et à la filière, à conditionner par le respect des bonnes pratiques, elles-mêmes à préciser au niveau local, et, pour les propriétaires, par l'existence d'un document de gestion durable individuel ou collectif.*

Négociation des contrats de développement avec les territoires de projet,

- *Inclure des prescriptions locales en matière de bonnes pratiques.*

Niveau stratégique : Territoires de projet (pays, PNR…)

Même revu après le rapport Balladur, ce niveau de contractualisation avec les collectivités de définition des politiques devrait rester essentiel pour la gestion des territoires forestiers, avec les fonctions suivantes :

- *Définition locale des orientations et des actions finançables, en matière de forêt, dans le contrat de développement. Prescriptions locales en matière de bonnes pratiques sylvicoles. Par exemple, en ce qui concerne la biodiversité, règles sur la nature et dimension des coupes de régénération, la surface et proportion des grains ou îlots de vieillissement ou la densité d'arbres réservés, etc.*
- *Niveau d'arbitrage, par un comité* ad hoc*, entre projets éligibles dans le cadre du contrat de développement (type contrat de pays, de PNR).*
- *Animation technique pour la création des documents de gestion par massi, et le suivi de leur bonne réalisation.*
- *Contractualisation entre territoires : notamment entre territoires de projet et communautés d'agglomération.*

Niveau opérationnel : collectivités locales (communautés de communes, communes)

- *Définition participative, par massif forestier, de documents coordonnés de gestion multifonctionnelle : aménagement forestier, schémas de mobilisation ou de desserte*.

Ces documents pourront être établis dans le cadre d'un plan local de gestion de l'espace (PLGE), précisant le plan local d'urbanisme (PLU) sur l'ensemble des espaces naturels forestiers et non forestiers d'une commune.

7. Conclusions

La gestion de la biodiversité et de la forêt, biens communs de long terme, est une question politique autant que technique. Dépendant de pratiques multiples**,** elle **nécessite une appropriation par l'ensemble des acteurs, coordonnés par un système de gouvernance, lui même appuyé sur un bon système d'information. La perspective d'une augmentation des prélèvements rend cette gouvernance d'autant plus nécessaire pour conserver une certaine maîtrise du système forestier**.

En matière de biodiversité, la stratégie nationale « zéro érosion de la biodiversité » reste à décliner à l'échelle des collectivités territoriales, pour lesquelles un objectif minimum partageable serait en effet de conserver la biodiversité existante, en termes de présence durable de populations de groupes cibles à des échelles suffisamment locales (communales par exemple). A un niveau plus ambitieux et prospectif, celui du projet, la biodiversité pourrait jouer un double rôle dans la construction des projets de territoires : **ressource à valoriser, mais aussi indicateur de qualité d'ensemble d'un projet** multifonctionnel et de sa réalisation, enjeu en soi y compris pour l'accueil de nouvelles espèces.

Dans cette perspective, la conciliation des objectifs du Grenelle nécessitera la **combinaison délicate d'un cadre réglementaire strict quant aux principes, garanti par l'Europe, et d'une marge de manœuvre importante laissée aux collectivités quant aux objectifs précis et aux moyens à mettre en œuvre**. Cela ouvre un large champ de recherches en matière de gouvernance forestière, dans le contexte de la décentralisation. Il s'agit en pratique de **définir ce qui relève du cadre réglementaire, de la conditionnalité des aides ou des exonérations fiscales, et de l'information en général : connaissances scientifiques, animation territoriale, information, éducation, consultation et participation effective du public**.

Les axes de recherche esquissés tout au long de cet article, et repris ci-dessous, pourraient être articulés au moyen de **modèles économiques de type « valeur totale des forêts »,** permettant d'évaluer la faisabilité et la pertinence de scénarios à diverses échelles pour animer un débat public encore très mal informé. Cette estimation des valeurs liées à la forêt est dépendante de leur contexte environnemental et humain, du plus local (paysage) au plus global (climat, biodiversité remarquable), en passant par toutes les échelles de territoires : elle ne peut être approchée qu'en combinant les sciences biophysiques et sociales. Elle ne doit pas non plus faire oublier la nature fondamentalement multicritère des choix, face notamment aux questions d'imprévisibilité et d'irréversibilité.

L'importance des pressions actuelles, et l'urgence de certaines mesures à prendre, militent en faveur d'une **démarche de type « recherche-action » ou « gestion adaptative », dans une logique de principe de précaution**. Il s'agira d'organiser un suivi technique et environnemental des actions de gestion qui vont être engagées à la suite du Grenelle, afin d'orienter ces actions en fonction de l'avancement des connaissances et du débat public. Cet effort de recherche nécessitera une meilleure interaction entre disciplines, mais aussi entre secteurs et ministères concernés. Il suppose le développement d'une **recherche autonome et durable en politique forestière**, notamment régionale et locale, s'appuyant sur le secteur universitaire comme sur les institutions forestières nationales. Les instituts universitaires d'études politiques, d'économie et de géographie sont de toute façon de plus en plus présents sur les questions forestières.

8. Besoins de recherches

8.1. Dans le domaine des sciences humaines et sociales

- Étude des logiques de filière : organisation des chaînes d'approvisionnement, croisement avec les logiques de territoires ;
- Étude des jeux d'acteurs dans les territoires, cadre méthodologique : dynamiques des systèmes d'acteurs, facteurs de blocage ou de déblocage, management, gouvernance ;
- Modalités de rapprochement entre les divers systèmes de suivi existants ;

- Évolution des financements (notamment européens FEADER) vers la conditionnalité, avec déconcentration des décisions (cadrages emboîtés) ;
- Motivations des propriétaires pour la gestion de leurs forêts dans divers contextes ; facteurs déclenchant pour la mobilisation des bois ; articulation de l'individuel et du collectif ; modalités de gestion collective des forêts, notamment des forêts délaissées par leurs propriétaires ;
- Valeurs non marchandes des forêts : typologies, méthodes locales d'évaluation ou de comparaison.

8.2. Dans le domaine des sciences biophysiques

- Sylvicultures différenciées : sylvicultures naturalistes spécifiques (tétras…), ou orientées conjointement vers la qualité du bois et la qualité environnementale : sylvicultures d'arbres, plantations en enrichissement, etc. ;
- Évolution des modes d'exploitation. Développement d'une mécanisation adaptée aux contraintes environnementales, à des sylvicultures naturalistes. Par exemple développement du câble, du billonnage, etc. ;
- Quantification des impacts en matière de biodiversité et d'environnement en général selon les techniques, évaluation locale des coûts et des revenus ;
- Évaluation de la viabilité, vulnérabilité, résilience des écosystèmes et des socio-écosystèmes.

8.3. Approches intégrées / interfaces

- Gestion adaptative : modalités pratiques, sites et secteurs pilotes, notamment dans les PNR, les CFT ;
- Intégration dans l'espace et dans le temps des indicateurs de gestion durable: bilans environnementaux, énergétiques, économiques de divers types de sylviculture, intégrations sur le long terme. Modèles intégrateurs à partir des éléments précédents, pour l'évaluation multicritère de scénarios.
- Système global de suivi de la forêt et de la biodiversité, intégré à un système plus global de suivi des territoires : indicateurs, systèmes d'indicateurs, pour partie généraux et pour partie développés localement- Application de l'ensemble à la TVB.
- Évaluation de la viabilité, de la vulnérabilité, et de la résilience des socio-écosystèmes

8.4. Domaine de l'information

- Outils d'information et de communication au niveau local
- Outils d'aide à la décision pour les aménagements, les schémas de desserte et de mobilisation et les plans de développement de massifs, les plans d'approvisionnement territoriaux, en intégrant notamment les nouvelles techniques comme le câble.

Remerciements : Nous souhaitons remercier ici Valérie Angeon, Paul Arnould, ainsi que Christophe Voreux, Isabelle Mauz, Sylvie Vanpeene, Julien Dellier et F. Gosselin, pour leurs relectures et leurs suggestions.

9. Références bibliographiques

Anderies J. M., Janssen M. A., Ostrom E., 2004. A framework to analyse the robustness of Social-Ecological Systems from an institutional perspective. *Ecology and Society*, 9 (1) : 18.

André E., Chauvin C., 2004. *Information géographique et gestion forestière, état des lieux et perspectives*. Rapport de phase 2. Grenoble, Cemagref et GIP Ecofor, 44 p., [en ligne].

Disponible sur : <http://www.sinpa.ifn.fr/doc/[R]SInPa2ephase.pdf>

Appelstrand M., 2008. Eco-strategic forest-management, a tool for integrating public interests and self-interests in multiple-use forestry. *In* Buttoud G. (eds), *Small-scale rural forest use and management : global policies versus local knowledge*. IUFRO international symposium in Gérardmer (France), 23-27 june 2008. Pre-conference proceedings. AgroParisTech-ENGREF, Laboratory of Forest Policy, 9-17.

Balladur E., 2009, Rapport du Comité Balladur, 132 p. [en ligne]. Disponible sur :
<http://www.secteurpublic.fr/repository/106/1068788347/ 2012371633.pdf>

Benoît M., Deffontaines J.-P., Lardon S., 2006. *Acteurs et territoires locaux. Vers une géoagronomie de l'aménagement.* INRA (collection « Savoir-faire »), 175 p.

Bergonzini J.-C., 2002. Les nouveaux besoins en information forestière. Ingénierie EAT n° spécial 2002 « aménagement forestier », pp 133-136.

Bianco J.-L., 1998. *La forêt, une chance pour la France* – Rapport au Premier Ministre - 106 p.

Bille R., Mermet L. (coord.), 2003-2006. *Concertation, décision et environnement, regards croisés*. 4 tomes.

Blandin, P., Lamotte M., 1988 - Recherche d'une entité écologique correspondant à l'étude des paysages : la notion d'écocomplexe - Bulletin d'Ecologie 19(4) : 547-555.

Bourgau J.-M. (coord.), 2009. *La forêt française en 2050-2100. Essai de prospective*. MAP-CGAER éditions CETRE, 148 p.

Brédif H., Arnould P., 2004. Evaluer n'est pas gérer. Considérations pour rompre le pouvoir des critères et des indicateurs. *Revue Forestière Française*, 56 (5) : 485-500.

Burel F., Baudry J., 1999. *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Paris, Tec & Doc, 362 p.

Buttoud G., Monin J.-C., 2007. Débat international sur les forêts et changement d'approche de la gestion et de la politique forestières. *Revue forestière française*, 59 (5) : 437-442.

Buttoud G., Yunusova I., 2002. A « mixed model » for the formulation of a multipurpose mountain forest policy ; Theory vs practise on the example of Kyrgyzstan*. Forest Policy and Economics*, 4 (2) : 149-160.

Callon M., Lascoumes P., Barthe Y., 2001. Agir dans un monde incertain, essai sur la démocratie technique. Paris, Seuil, 358 p.

Chauvin C., 2002. L'aménagement forestier, outil de suivi de gestion durable. *Ingénieries EAT*, (n° spécial), 29-34.

Chevassus-au-Louis B., 2009. Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Contribution à la décision publique. Paris, Centre d'analyse stratégique, Premier Ministre, 376 p.

Colinot A., Chauvin C., 2004. Constitution d'un jeu d'indicateurs de gestion forestière durable à l'échelle d'une petite région forestière. *Revue Forestière Française*, 56 (5) 406-418.

Crozier, Friedberg, 1977. *L'acteur et le système : les contraintes de l'action collective*. - Editions du Seuil -

Gauquelin X., Courbaud B. (coord.) 2006. *Guide des sylvicultures de montagne Alpes du Nord Françaises*. Grenoble, Cemagref, 289 p.

Gumuchian H., Pecqueur B., 2007. *La ressource territoriale*. Paris, Economica, 252 p.

Gunderson L. H., Holling C. S., 2002. *Panarchy : understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington D.C., 507 p.

HarmoniCOP. 2005. *Learning together to manage together, improving participation in water management* - Projet européen. [en ligne].

Disponible sur : <http://www.idrc.ca/en/ev-98139-201-1-DO_TOPIC.html>

HarmoniCOP, 2005. *Learning together to manage together, improving participation in water management* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.harmonicop.info/HarmoniCOPHandbook.pdf>

Juillot D., 2003. La filière-bois française. La compétitivité enjeu du développement durable. Rapport parlementaire, 104 p.

Kleitz G., 2003. Ruling by nature. Analysing the implementation of nature conservation projects in rural areas. A case study in Northern Zimbabwe. Degree of philosophy in development studies. Falmer, University of Sussex, 242 p.

Kouplevatskaya I., 2007. La participation des acteurs et le partenariat, comme approche et finalité de la gestion publique et locale des forêts. *Revue Forestière Française*, 59 (5) : 465-478.

Lambert A., 2007. Les relations entre l'État et les collectivités locales [en ligne]. Disponible sur : <http://www.premier-ministre.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_etat_collterritoriales_071207.pdf>

MAP, 2006. Stratégie nationale de la biodiversité, plan d'action forêt. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 20 p.

Mermet L., 1992. *Stratégies pour la gestion de l'environnement. La Nature comme jeu de société ?* Paris, L'Harmattan, 200 p.

Mermet L. (dir.), 2003. *Prospectives pour l'environnement. Quelles recherches, quelles ressources, quelles méthodes ?* La Documentation Française, 112 p.

MIES. 2006.Rapport du groupe de travail « Division par 4 des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050 » Paris, Mission interministérielle sur l'effet de serre, 77 p. [en ligne].

Disponible sur : <http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/rapport-final-logos-2.pdf>

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being : synthesis.* Washington D. C. (USA), Island Press, 137 p. [en ligne].

Disponible sur : <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>

Monin J.-C., 2003. Décentralisation et politique forestière : propositions de mesures pour les communes forestières. *Revue forestière française*, 50 (5) : 398-489.

Ollagnon H., 1997. L'audit patrimonial comme procédure d'évaluation stratégique. Actes du congrès Interactions entre agriculture et environnement : quels outils de diagnostic ? Paris, 2 avril 1997

Pecqueur B., Zimmermann J.-B. (eds), 2004. *Économie de proximités.* Paris, Hermes Science Publications, 264 p.

Rey-Valette H., Clément O., Lazard J., 2008. Les usages des indicateurs de développement durable. Compte-rendu de colloque (Montpellier, 3-4 avril 2006) *Natures Sciences Sociétés,* 16 (1) : 73-75.

Sebillotte M. (Coordinateur), 1998. *Prospective : la forêt, sa filière et leurs liens au territoire*. INRA, série Bilans et Prospectives, 2 tomes

Stankey G. H., Clark R. N., Bormann B. T., 2005. *Adaptive management of natural resources : theory, concepts, and management institutions*. Portland (Oregon, USA), USDA General technical report (PNW-GTR-654), 73 p.

Theys J., 2002. L'approche territoriale du « développement durable », condition d'une prise en compte de sa dimension sociale [en ligne].

Disponible sur : <http://developpementdurable.revues.org/document1475.html>

Weiss S., 2003. Les chartes forestières de territoire. Vers un nouveau contrat social au sujet des espaces forestiers ? *Courrier de l'environnement de l'INRA*, (48) : 61-70.

PARTIE 4
SYNTHÈSE ET BESOINS DE RECHERCHE

CHAPITRE 16

UTILISATION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE, BIODIVERSITÉ ET RESSOURCES NATURELLES : SYNTHÈSE ET PISTES D'APPROFONDISSEMENT

Guy Landmann, Ecofor
et Frédéric Gosselin, Cemagref Nogent-sur-Vernisson

1. Le fil conducteur

L'étude a abordé successivement les aspects suivants (chapitre 1, figure 2) :

- le contexte et les perspectives d'utilisation de la biomasse forestière et les scénarios d'évolution de la sylviculture auxquels on peut s'attendre à moyen terme ;
- les incidences possibles de ces évolutions sur les ressources en bois, la biodiversité forestière, les sols forestiers et les eaux de surface. L'état de ces différents éléments de l'environnement (avant le développement d'une utilisation accrue de la biomasse forestière) est (le plus souvent brièvement) décrit ;
- les préconisations que l'on peut formuler pour maîtriser les principaux risques et les caractéristiques d'une gouvernance permettant de récolter davantage de bois tout en préservant le milieu forestier ;
- les principales opportunités qu'offrent les conditions plus favorables à l'utilisation de la biomasse en matière de gestion de la forêt et du milieu naturel en général.

Au terme de cette étude, nous en résumons ici les principaux acquis et identifions des prolongements souhaitables, en précisant le type de démarche (*état des connaissances, étude de faisabilité, recherche*…) que nous estimons approprié. Ceci reste très indicatif et méritera, le cas échéant, discussion.

2. Les perspectives d'utilisation de la biomasse forestière

2.1. Perspectives économiques

D'après les connaissances actuelles (chapitre 2), le prix de l'énergie devrait, en dépit d'inévitables fluctuations, croître au cours des décennies à venir. On s'attend à des répercussions positives sur le prix du bois-énergie et, de façon marquée, sur le bois matériau. Vu l'ampleur du marché énergétique (très supérieure à ce qu'il était à l'époque où le bois était le principal approvisionnement) et les tensions prévisibles, il faut s'attendre, à terme, à ce que de fortes sollicitations se portent sur la forêt.

Les ressources de la forêt française (voir ci-après et chapitre 5) sont suffisantes pour que des récoltes supplémentaires soient possibles, mais leur pleine réalisation nécessitera une augmentation très significative des prix du bois et une forte élasticité-prix* de l'offre de petits bois.

Quelques projections sur l'évolution de l'utilisation de biomasse forestière sont disponibles. Ainsi le plan biocombustible (Roy, 2006) prévoit à l'échéance 2030-2050 un développement important des cultures dédiées (6 Mha) et une contribution relativement moindre (20 Mm^3 par an) de plaquettes forestières, alors que la récente prospective sur l'évolution de la forêt française (Bourgau, 2008) retient plusieurs scénarios contrastés, dont les deux extrêmes (« tout pour l'alimentation » et « tout pour l'énergie ») prédisent respectivement en 2050 des surfaces de production de 10 et 20 Mha, des surfaces de TCR insignifiantes et de 5 Mha, et des récoltes totales de 36 et 178 Mm^3. La concurrence croissante entre les secteurs alimentaires et énergétiques pour l'utilisation des terres est certainement un facteur important parfois sous-estimé (et non traité dans la présente étude).

A court terme, la réalisation des objectifs fixés par le Grenelle de l'Environnement (augmentation de la récolte annuelle de 20 Mm^3 d'ici 2020) devrait, vu la rentabilité encore insuffisante des cultures dédiées, passer en premier lieu par une mobilisation accrue de ressources forestières existantes. Une meilleure compréhension de l'offre et de la demande de bois serait ici précieuse.

Besoins identifiés :

- une **meilleure appréhension de l'offre**, par i) une meilleure connaissance de la répartition spatiale des ressources et la nature de leurs détenteurs, ii) une analyse macro-économique de l'offre de bois (selon les grandes catégories de propriétaires, d'essences, de secteur utilisateur, iii) une analyse du comportement des propriétaires vis-à-vis de la mise en marché des bois (*étude, recherche*) ;
- une réflexion approfondie sur les différents **scénarios sylvicoles** disponibles etleur mise à disposition des acteurs concernés.

2.2. La disponibilité en bois

Les études récentes appuyées sur l'inventaire forestier national, particulièrement celle pilotée par le Cemagref (chapitre 5), confirment qu'il existe dans la forêt française une **importante ressource en bois** susceptible d'être mobilisée sans porter préjudice à la productivité forestière (rendement soutenu).

La qualité des estimations de la ressource devrait être améliorée avec les prolongements de cette étude du Cemagref et, en ce qui concerne la nature précise des produits récoltables, du projet EMERGE (pilote ONF) qui se propose « de construire des outils d'estimations de volumes, biomasses, minéralomasses et pouvoirs calorifiques cohérents avec leur utilisation in fine pour le calcul des gisements énergétiques ».

Les études en cours devraient permettre de cerner assez précisément les ressources potentielles et contribuer au tableau de bord que le ministère de l'Agriculture et de la Pêche prévoit de mettre à disposition des acteurs de développement.

Cette ressource reste « théorique » car les **conditions de mobilisation de cette ressource** restent **mal connues**, du point de vue des coûts, très variables et mal appréhendés dans le détail, mais aussi du fait des incertitudes d'ordre sociologiques (comportement des acteurs, particulièrement des propriétaires privés, face à une hausse des prix du bois).

Besoins identifiés :

- préciser un point important de contextualisation des résultats : les ressources potentielles en fonction du **type de propriété** (privée, communale, domaniale), par **catégorie de coût d'accès**. Si les ressources potentielles très différentes selon les catégories de propriété, cela devrait induire une politique différenciée de mobilisation de la biomasse (*études et recherche*) ;
- développer l'**analyse micro-économique de l'offre de bois** (comportement des propriétaires vis-à-vis de la mise en marché des bois) pour mieux évaluer les incertitudes qui pèsent sur la mobilisation effective des ressources théoriquement disponibles (*recherche*).

2.3. Le niveau de récolte relativement à la production biologique

En raison du décalage croissant entre la productivité de la forêt française et le niveau de récolte, la question du niveau « acceptable » de récolte par rapport à l'accroissement biologique peut sembler une question peu pertinente actuellement. Pourtant, ce sujet de controverse historique, qui n'a jamais trouvé une conclusion tout à fait partagée, rebondit aujourd'hui ; localement là où les récoltes de bois (bois d'œuvre* plus que bois-énergie) approchent voire excèdent la production biologique et, plus globalement, avec la perspective d'une utilisation plus importante de la biomasse forestière.

L'objectif d'un contrôle ou d'une baisse des stocks de bois sur pied s'appuie largement sur la maîtrise des risques de toutes sortes, associés notamment aux changements et aléas climatiques. Des peuplements forestiers moins denses, moins âgés et moins longtemps situés à grande hauteur représentent une image idéale du futur de plus en plus répandue. On y parviendrait par un dépassement temporaire des récoltes par rapport à l'accroissement biologique, suivi d'une modification du régime d'accroissement biologique.

Une comparaison (qui mériterait d'être approfondie) entre divers pays européens montre cependant une diversité des objectifs poursuivis (baisse mais également hausse) en matière de stocks de bois sur pied (Givors, 2008). D'autres questions, notamment d'ordre économique, se posent vis-à-vis des risques encourus, de la qualité des produits (bois d'œuvre), de la sécurité d'approvisionnement en bois en cas de fortes atteintes à la ressource (Hirt, in Barthod, 2007). Par ailleurs, d'autres objectifs environnementaux (stockage de carbone et, bien sûr, biodiversité), voire sociaux, avec l'émergence possible de conflits portant sur l'exploitation forestière peuvent interférer ; on se rappelle les avatars de la gestion des forêts fédérales américaines dans le cadre de l'affaire de la chouette tachetée ; Gosselin, 2008).

Besoins identifiés :

- analyse des théories, arguments et données disponibles sur les risques et avantages éventuels liés à l'accumulation de matériel sur pied (cela renvoie notamment à la difficile question de la périodicité et l'importance des perturbations dans les forêts cultivées européennes) et, inversement, à une récolte avoisinant voire dépassant l'accroissement biologique. Une vision internationale serait particulièrement utile (*étude*, *recherche*).

3. Les perspectives d'évolution de la sylviculture

Évaluer l'incidence de l'utilisation accrue de la biomasse forestière sur la biodiversité et les ressources naturelles suppose de faire des hypothèses sur l'évolution des itinéraires sylvicoles, des pratiques d'exploitation et de l'utilisation des terres (chapitre 3). Bien que l'utilisation accrue de biomasse forestière soit un sujet actuellement très discuté, la modification des itinéraires sylvicoles en lien avec cette nouvelle donne ne fait pas explicitement partie du projet d'une majorité de sylviculteurs, probablement parce que les conditions d'une réorientation durable de la sylviculture ne sont pas jugées acquises.

À titre exploratoire, trois scénarios contrastés, inspirés de la prospective INRA réalisée en 1998 (Sebillotte, 1998) ont été proposés : un scénario tendanciel et deux scénarios de rupture avec une forte augmentation des prélèvements, mais avec des pilotages différents. Le premier scénario correspond à la poursuite des tendances récentes (utilisation marginale du bois-énergie en dehors du bois bûche pour le chauffage, relative stabilité de la récolte de bois d'œuvre* et de bois de chauffage, prise en compte progressive de la biodiversité dans la gestion forestière). La variante intensive « multifonctionnelle » correspondrait à une récolte en forte hausse, mais sous contrôle (collectivités locales, Etat, Europe). La

variante intensive « industrielle » correspond à une maximisation de la récolte et de la production future, par une forte intégration de la filière et le zonage concomitant des espaces. En fonction de ces scénarios nécessairement simplistes, on peut alors examiner le devenir de divers types de sylvicultures – forêts hors gestion, traitements en futaie irrégulière, jardinée et régulière « naturelle », futaie régulière « traditionnelle », mélange futaie-taillis (TSF), taillis simple, futaie régulière intensive, taillis à courte et très courte révolution – et évaluer les incidences sur la biodiversité forestière et les ressources en sol et en eau.

En complément de cette grille d'analyse, les situations et pratiques en « déséquilibre » peuvent faire l'objet d'un examen particulier : les TSF et taillis vieillis, l'ensemble « vieux peuplements, gros arbres, peuplements peu ou pas gérés », les reboisements résineux ayant manqué d'éclaircies, les forêts de montagne peu accessibles, les accrus récents, l'exportation de petits bois à des fins énergétiques, etc.

Ces évolutions modifieront le paysage forestier, ce qui nous ramène à la démarche d'aménagement (chapitre 15) et en particulier à l'implication des propriétaires privés : si aujourd'hui près du tiers des surfaces forestières restent en dehors des circuits de développement (et pourraient constituer un « matelas écologique »), la situation peut évoluer demain, avec peut-être l'intervention d'opérateurs économiques capables de mobiliser plus largement, et de façon plus large, de nouvelles dynamiques territoriales.

Dans ces réflexions prospectives, il faudra dans tous les cas intégrer certaines tendances de fond, telle la mécanisation croissante des opérations sylvicoles (chapitre 4) et les incidences sur la gestion des forêts de la place des cultures dédiées (chapitre 9).

Besoins identifiés :

- un travail collectif qui prolonge la réflexion entamée ici sur l'**évolution des sylvicultures** dans l'hypothèse d'une utilisation accrue de bois. Ce travail devrait faire le lien avec les références sylvicoles actuelles (*expertise, prospective*) ;
- une **base de données** rassemblant des descriptions de chantiers (pratiques de récolte) mettant en œuvre de nouvelles pratiques d'essais sylvicoles pourra s'avérer utile sur le plan de la recherche (*étude*).

4. Les incidences potentielles sur la biodiversité forestière

4.1. Enjeux et état de la biodiversité

Avant d'évaluer les incidences possibles d'une mobilisation accrue de biomasse forestière sur la biodiversité, nous avons cherché à préciser les enjeux de la biodiversité en forêt, ainsi que son état et les pressions pesant sur elle (chapitre 6). Les enjeux principaux portent sur :

(i) la partie de la **biodiversité associée très fortement à la forêt :** la forêt est une condition nécessaire de sa persistance. Il peut s'agir de biodiversité « ordinaire » ou non. Ici, les éléments de biodiversité *a priori* sensibles aux interventions sylvicoles et ceux dont dépend le « bon fonctionnement » de la forêt, constituent un enjeu fort ;

(ii) les **taxons forestiers menacés d'extinction**.

La connaissance de l'état de la biodiversité forestière reste parcellaire : les listes d'espèces menacées en France restent cantonnées aux vertébrés et aux végétaux supérieurs, et les données de suivis temporels utilisables à l'échelle nationale sont peu nombreuses. Les chiffres disponibles pour les taxons les mieux renseignés suggèrent que la biodiversité forestière est globalement autant menacée que le reste de la biodiversité française – avec bien sûr des variations entre taxons.

Notre travail a porté plus particulièrement sur les points de vulnérabilité de la biodiversité vis-à-vis de l'utilisation de la biomasse forestière (point 7 ci-après), et conclut que trois orientations doivent accompagner les choix forestiers du Grenelle de l'Environnement, à savoir la prise en compte de l'ancienneté des forêts, la mise en œuvre d'un suivi (monitoring) et la réévaluation de la politique de conservation en forêt.

4.2. La diversité spécifique

Parmi les facteurs de gestion influençant la biodiversité forestière, on peut identifier dans un premier temps :

- des éléments positifs comme le régime forestier, la gestion des ressources génétiques des arbres, la variété des essences et des types de gestion, l'extension de la surface forestière ;
- des éléments *a priori* négatifs comme la faible fraction de peuplements semi-naturels, protégés pour la biodiversité ou très âgés, ou l'importance de la régénération artificielle.

Par ailleurs, les données sur certains points importants –bois mort et absence d'exploitation notamment – font encore défaut.

Dans un second temps, nous avons précisé, parmi les évolutions pressenties de gestion forestière associées à une mobilisation accrue de la biomasse (chapitre 3), celles qui pourraient influer, négativement ou positivement sur la biodiversité forestière (chapitres 7, 8 et 9).

Les compartiments et caractéristiques cibles des écosystèmes sont principalement :

- le volume de bois mort ;
- la densité des vieux peuplements et des vieux et gros arbres ;
- la fragmentation des habitats ;
- l'altération des conditions de sol (tassement, organo-minéralomasse).

Les tendances sylvicoles *hypothétique*s qui se traduiraient par des effets négatifs plus ou moins importants, sont :

- l'exploitation des rémanents, d'arbres entiers, de souches ;
- une **pression forte pour exploiter davantage de surface forestière**, qui pourrait avoir des conséquences multiples : une politique *a minima* pour les réserves biologiques, les îlots de vieux bois et les îlots de sénescence, les peuplements classés en série d'intérêt écologique (forêt publique) ; l'exploitation accrue des forêts vieilles et de vieux ou gros arbres, des forêts abandonnées (forêt privée morcelée, forêts de montagne), la destruction ou banalisation d'autres habitats–clés notamment liés à l'eau, la fragmentation de ces habitats ;
- l'abaissement des durées de révolution, augmentation du rythme et/ou de l'intensité des éclaircies ;
- l'augmentation de la desserte forestière ;
- l'augmentation de la mécanisation avec engins lourds.

La nature et l'intensité des effets documentés sont résumées dans les Tableaux 2 et 3 du Chapitre 5. Cette présentation reste nécessairement schématique en raison des connaissances limitées et, comme on l'a vu plus haut, les tendances sylvicoles listées restent pour certaines très hypothétiques.

Besoins identifiés :

- faire émerger une vision partagée, particulièrement entre sylviculteurs et spécialistes, du **lien entre orientations actuelles et prévues de la sylviculture et évolutions pressenties de la biodiversité** ;
- évaluer la **faisabilité d' « indicateurs de gestion »** liés aux tendances pressenties (et absents du tableau des « indicateurs de gestion durable de la forêt française ») : forêt non exploitée – en utilisant par exemple des relevés de souche –-, arbres âgés, très gros bois et arbres sénescents, bois mort (selon l'essence, la classe de diamètre, le niveau de décomposition, y compris souche) (Hamza *et al*., 2007), degré de couvert, présence de micro-habitats ; degré de tassement des sols ; repérage et suivi des habitats marginaux (reconnus comme « habitats-clés » pour la biodiversité) ;
- compléter la liste des **indicateurs de gestion durable par quelques indicateurs pertinents** (action 1.5 du plan d'action forêts de la stratégie nationale sur la biodiversité). Ce travail serait sans doute à conduire avec l'IFN, dans la continuité de l'étude menée récemment sur les indicateurs de biodiversité (programme Biodiversité et gestion forestière) (*étude*) ;
- évaluer l'Incidence de différents **scénarios sylvicoles** sur la biodiversité via la composition du paysage forestier (proportion de parcelles non exploitées, densité de vieux peuplements et de

coupes, etc.). Dans certains écosystèmes, on dispose de données suffisantes pour caler les relations entre les caractéristiques du paysage forestier et la biodiversité (richesse spécifique et groupes d'espèces, abondance d'espèces). Des modèles concernant l'effet de la gestion sur les caractéristiques du bois mort (déterminant de la diversité des espèces saproxyliques) commencent à être disponibles *(étude) ;*

- Faire un point sur **l'influence de certains éléments et ruptures dans le paysage**. On peut citer les **effets de la desserte routière sur la biodiversité** ou encore, question souvent posée mais difficile à traiter, les effets des TCR au sein de paysages forestiers ou agricoles (habitats puits pour les espèces forestières ou agricoles, facteur de connectivité entre taches forestières ou agricoles ?) (*état des connaissances*).

4.3. Les forêts anciennes*

La notion d'ancienneté des forêts est aujourd'hui considérée comme centrale pour la préservation de la biodiversité en forêt. Les forêts anciennes* représentent de véritables corridors temporels qui permettent à certaines espèces de persister. Une partie de la biodiversité est associée aux forêts anciennes* pour des raisons de limitations fortes à la dispersion. Il y a donc lieu de prêter une attention particulière à leur gestion, par exemple en proposant des gestions moins intensives en forêt ancienne qu'en forêt récente. Le corpus de connaissances sur les effets de la gestion sur la biodiversité des forêts anciennes* reste cependant lacunaire, d'où d'importants besoins d'étude et de recherche sur cette question.

De plus, il est probable qu'une gestion favorable à la biodiversité forestière dans les forêts anciennes* favorise non seulement cette dernière mais aussi une bonne partie de la biodiversité forestière indifférente à l'ancienneté de la forêt.

Besoins identifiés :

- évaluer la possibilité de **cartographier les forêts anciennes*** à l'échelle nationale (*étude de faisabilité) ;* éventuellement en complément, améliorer et tester les **indicateurs** existants de **forêts anciennes*** (*étude) ;*
- rechercher les termes d'une éventuelle **action publique** vis-à-vis de l'accroissement de la récolte de biomasse qui différencie forêts anciennes* et forêts récentes (*étude*) ;
- évaluer **l'impact relatif de l'ancienneté de la forêt, de l'intensité de la gestion lointaine passée** (pour les forêts anciennes*), voire du type de station sur (i) la biodiversité actuelle et (ii) la réponse de la biodiversité à une récolte de biomasse accrue (*séminaire*, *recherche ; approche expérimentale*).

4.4. Le suivi de la biodiversité et de la gestion forestière à différentes échelles

Les tendances évolutives de la biodiversité forestière évoquées dans cette étude sont la plupart du temps qualitatives et ne sont que rarement déclinées en fonction du domaine biogéographique, du type de station, ou encore de l'ancienneté de la forêt. En outre, elles n'intègrent pas les effets cumulatifs de ces évolutions, entre elles et avec d'autres évolutions environnementales.

L'observation de la biodiversité est un élément indispensable de la gestion de la biodiversité : son rôle dans l'évaluation *ex-post* des décisions issues du Grenelle de l'Environnement a été souligné dans le cadre de ce même processus[17]. Il y a donc lieu de concevoir et mettre en œuvre un plan d'observation représentatif du territoire métropolitain qui intègre de façon adéquate les parties de la biodiversité qui sont *a priori* les plus concernées par un accroissement de la récolte de biomasse.

[17] Synthèse du Groupe 2 (Préserver la biodiversité et les ressources naturelles) du Grenelle de l'Environnement : « Développer des suivis et des indicateurs d'espèces et de milieux (…) développer des suivis dans le temps d'une sélection de groupes d'espèces et de milieux afin d'apprécier l'efficacité des politiques et d'appréhender les évolutions en contribuant à la construction d'indicateurs sur les espèces et sur la « l'état de santé des écosystèmes ». L'accord partenarial FNE *et al.* (2007) prévoit également de « développer les moyens de connaissances et monitoring de la ressource et de la biodiversité ».

Dans le cadre des Assises de la Forêt et du Bois, la nature du volet forestier de l'Observation de la biodiversité a été discutée[18], mettant toutefois en évidence certaines divergences d'appréciation sur le rôle – suffisant ou non – des divers suivis effectués en forêt pour répondre aux questions actuellement posées. Les recensements en cours[19] des suivis de biodiversité ouvrent certainement d'intéressantes perspectives, mais il nous semble que l'utilité d'une démarche structurée telle qu'elle ressort d'un certain nombre d'analyses récentes (Balland *et al.*, 2001 Levrel *et al.*, 2007Gosselin et Dallari, 2007, s'impose plus encore dans l'optique d'une utilisation accrue de biomasse. Il apparaît en effet que peu de données de type « suivi » peuvent être produites pour évaluer l'impact de projets ou de politiques[20] sur les milieux naturels, surtout des données au niveau de larges territoires. Ces analyses territoriales pourraient concerner (i) les territoires autour des centrales de génération d'énergie à partir de biomasse (études d'impact) ou encore (ii) les échelles régionales et nationales (évaluation des politiques publiques – par exemple politique de conservation – et/ou étude d'impacts des nouvelles orientations sylvicoles).

Besoins identifiés :

- définition d'un **suivi de la biodiversité forestière et de l'impact de la gestion forestière** sur la biodiversité, qui intègrent en particulier les points suivants : 1) la capacité à bien représenter la réalité de la biodiversité sur le territoire et à répondre à un petit nombre de questions/évaluations de politiques publiques sur le territoire concerné – une des questions importantes pourrait être de bien cerner les dynamiques plurielles de la biodiversité dans des paysages forestiers plus polarisés/hétérogènes qu'à l'heure actuelle – par exemple : quelle dynamique de la biodiversité dans les zones à objectif prioritaire de conservation (Natura 2000, RBI, RBD, Parcs Nationaux...) entourées par des zones à utilisation accrue de biomasse ? –, ; 2) le choix des groupes taxonomiques couverts (des éléments militent pour qu'au moins un groupe forestier saproxylique soit suivi, cf. chapitre 6) ; 3) une politique de qualité de la mesure (portant notamment sur la probabilité de détection des espèces) ; 4) une production conjointe de données environnementales locales et paysagères pour pouvoir analyser les origines possibles des évolutions de biodiversité (climat, occupation du sol, gestion forestière), ce qui pose la question du lien avec le suivi des ressources naturelles (sol, eau…).

4.5. Liens avec la politique de conservation

Au cours de l'étude, il est apparu qu'une réflexion spécifique méritait d'être consacrée au réseau de Réserves Biologiques Intégrales, Réserves Biologiques Dirigées et Réserves Naturelles en vue de préserver la biodiversité forestière, ceci notamment afin d'éviter que le réseau ne pâtisse, en l'absence de cible claire, de la pression pour une plus grande récolte de la biomasse en forêt (chapitres 7 et 13).

Besoins identifiés :

- renforcer les échanges entre gestionnaires forestiers et gestionnaires d'espaces naturels protégés sur le thème « biomasse et biodiversité » (analyse technique, gouvernance) (*étude*) ;
- analyser les répercussions possibles des réflexions présentées dans cette étude pour la gestion Natura 2000 et dans le cadre de la trame verte (méthodes techniques, gouvernance) (*étude*) ;
- poursuivre et formaliser la réflexion sur le **réseau de réserves intégrales souhaitable** en terme de biodiversité, à la suite par exemple de Branquart *et al*. (2008) *(étude ou recherche*).

[18] Assises de la Forêt Groupe 2 « Biodiversité et risques » Proposition II-1 : « Renforcer le transfert vers les gestionnaires des connaissances sur la biodiversité forestière »

[19] Système d'Information sur la Nature et le Paysage (SINP, MEEDDAT) et le Catalogue sur les Sources d'Information sur la Forêt (Ca-SIF, Ecofor)

[20] Pourtant, les directives européennes 85/337 dite EIE et 2001/42 dite "Plan et programmes" –s'appliquent normalement aux projets de site Natura 2000 ou aux différentes orientations de gestion forestière élaborées au niveau régional

4.6. La biodiversité fonctionnelle

La dimension fonctionnelle de la biodiversité n'a été que partiellement abordée dans cette étude, sous l'angle des sols.
Souvent considérée comme essentielle – au-delà de l'aspect patrimonial et éthique de la biodiversité –, cette dimension peut être directement articulée avec le fonctionnement et la productivité des forêts, et on y rattache souvent la notion de services rendus par la forêt. Si on sait, grâce aux nombreux travaux menés dans ce domaine, que certains aspects de la biodiversité favorisent une plus grande productivité ou une moindre vulnérabilité des écosystèmes forestiers, il reste en la matière énormément d'inconnues. Si la démonstration d'« avantages », pour le gestionnaire, de certains éléments de la biodiversité pouvait être apportée, on conçoit que cela pourra apporter plus d'intérêt à conserver cette biodiversité ; mais il faudrait alors également clarifier comment on gérerait la partie non directement «utile » de la biodiversité.

Besoins identifiés :

- préciser les **liens entre la productivité forestière et les éléments de la biodiversité ayant un rôle fonctionnel fort** en s'attachant aux aspects sous influence forte de la gestion forestière et (aspect peu traité dans cette étude) au compartiment sol (*état des connaissances*) ;
- faire un point sur **l'influence de certains éléments et ruptures dans le paysage**. On peut citer les effets de la desserte routière sur la biodiversité ou encore, question souvent posée mais difficile à traiter, les effets des TCR au sein de paysages forestiers ou agricoles (habitats puits pour les espèces forestières ou agricoles, facteur de connectivité entre taches forestières ou agricoles ?) (état des connaissances).

4.7. La biodiversité génétique

Encore appelée biodiversité infraspécifique, la diversité génétique est jugée importante. La protection et le renforcement de la diversité génétique des arbres forestiers sont considérés comment essentiels du point de vue de l'adaptation des forêts à un environnement changeant et de la résilience des écosystèmes. C'est pourquoi il est important de mener une évaluation rigoureuse de l'impact des pratiques de gestion sur l'évolution du pool génétique des espèces forestières. En effet, par son action, le sylviculteur crée une sélection précoce des arbres, souvent avant leur stade de reproduction, et influe ainsi sur le potentiel génétique des peuplements.

Ces questions, qui tiennent une bonne place dans le plan d'action « Forêt » de la stratégie nationale sur la biodiversité, n'ont pas été traitées dans cette étude.

Besoins identifiés :

- **évaluer l'impact des pratiques de gestion liées au développement de l'utilisation de bois** sur l'évolution du pool génétique des espèces forestières (*état des connaissances*) ;
- pour mémoire, nous rappelons ici les **actions structurantes du plan d'action « Forêt »** : développer des indicateurs de la diversité génétique des essences forestières (marqueurs moléculaires, source des graines commercialisées, observations phénologiques…), renforcer le partage des données sur les ressources génétiques forestières (unités conservatoires, peuplements porte-graines, comportement en plantations comparatives de provenances différentes).

5. Les incidences potentielles sur les ressources naturelles

5.1. La fertilité minérale des sols forestiers

Les enjeux liés au maintien d'un « bon état » des sols sont, de prime abord, plus aisés à appréhender que ceux de la biodiversité forestière. Le « bon état » des sols est depuis longtemps reconnu comme une composante indispensable au maintien de la productivité des forêts et un enjeu de sa gestion durable (Aussenac *et al*., 1996). Il a en outre une capacité à stocker du carbone et constitue le siège d'une biodiversité importante et encore mal connue.

Les recherches conduites sur l'effet acidifiant des résineux dans les années 1970, sur l'exportation des éléments minéraux en lien avec la thématique des taillis à courte révolution après la crise pétrolière de 1973 puis sur l'incidence des dépôts atmosphériques sur les forêts (Landmann et Bonneau, 1995) nous permettent d'aborder la question de l'utilisation accrue de biomasse avec un important corpus de connaissances. Depuis quelques années, un effort important a été engagé dans ce sens : diagnostic de la sensibilité des sols à l'exportation de biomasse, recommandations de gestion (chapitre 12) et, dans certaines régions, formation des gestionnaires et exploitants forestiers (chapitre 10). C'est enfin un domaine dans lequel un suivi régulier et organisé de l'état des sols forestiers a été mis en place dès le début des années 1990 (cf. l'inventaire des sols forestiers selon une maille de 16 x 16 km et sur les 100 placettes intensives du réseau RENECOFOR ; Landmann, 2000 ; Arrouays *et al*., 2003).

La gestion des sols forestiers dans le contexte d'une utilisation accrue de biomasse est contrainte d'abord par la **localisation préférentielle des forêts sur des sols pauvres ou appauvris en France** (Badeau *et al*., 1999) comme dans l'ensemble de l'Europe : c'est pourquoi le facteur sol est de loin le facteur qui limite le plus le niveau de prélèvements de biomasse qu'il est possible de faire sans restrictions (EEA, 2006). Dans une forêt semi-naturelle gérée majoritairement de façon extensive, la marge d'intensification (exportation d'éléments minéraux en quantité accrue) sans compensation mérite d'être précisée. Dans les sols pauvres, parfois en voie d'appauvrissement, la marge sera faible. On retrouve finalement une question posée dès les années 1980 mais qui n'a pas de réponse très satisfaisante : que se passera-t-il et à quelle échéance si les prélèvements de biomasse venaient à faire baisser les réserves de ces éléments ? Dans le contexte des dépôts atmosphériques acides, le calcium et le magnésium étaient les éléments mis en cause, alors que dans le contexte d'une exportation importante de biomasse, il faut y ajouter l'azote et le phosphore qui peuvent devenir limitants sur une gamme de sols plus étendue.

Par ailleurs, comme l'ont montré les débats à propos de la restauration des sols forestiers appauvris par les dépôts atmosphériques et/ou l'exportation passée de biomasse, la pratique d'un apport « correctif » (d'actions humaines antérieures), même s'il est déclaré dénué d'inconvénients majeurs par les scientifiques, se heurte à des obstacles, économiques, mais surtout culturels ou éthiques.

Besoins identifiés

- évaluer les connaissances sur les **effets des pratiques sylvicoles historiques** pénalisantes pour la nutrition minérale (*état des connaissances*) ;
- quantifier les conséquences, sur le plan de la nutrition minérale, du **passage de modèles sylvicoles extensifs vers des modèles plus exportateurs en éléments minéraux** (*recherche ou étude*) ;
- évaluer la vulnérabilité des **régions forestières** sur le plan de la **nutrition minérale** par croisement entre les caractéristiques des sols et les gisements de biomasse (*étude*) ;
- évaluer l'incidence de l'exploitation intensifiée de bois sur la **matière organique** (notamment l'activité biologique) des sols, la **nutrition en azote et en phosphore** (risques jusqu'ici jugés faibles en forêt mais connus dans le domaine agricole), ainsi que sur les **stocks de carbone** (*état des connaissances*) ;
- évaluer l'impact de déficits liés à l'exportation de biomasse sur la productivité des peuplements forestiers qui suivent (*recherche*).

5.2. Influences sur les eaux de surface

De façon générale, **la forêt alimente cours d'eau (**Benoit et Fizaine, 1999) **et nappes souterraines en eau de grande qualité**. Les modifications négatives que peut entraîner la forêt dans certaines conditions (acidification des eaux dans les sites exposés aux dépôts acides, pertes de nitrates liées à des coupes fortes) restent le plus souvent mineures par rapport à celle provoquées par l'agriculture intensive, la forêt recevant très peu d'intrants.

En ce qui concerne l'influence de la forêt sur l'hydrologie des cours d'eau (écoulement annuel, atténuation des crues), on peut retenir que la forêt réduit – quoique dans une proportion incertaine - l'écoulement annuel, au moins à l'échelle où peuvent intervenir des aménagements humains. Ainsi, la présence d'une végétation forestière peut apparaître comme ayant une influence négative sur les

ressources en eau dans les régions où ces ressources sont limitées, et où il y a alors concurrence entre différents usages. Ces aspects méritent plus d'attention dans la perspective de certains scénarios d'aménagement du territoire et des changements climatiques.

Besoins identifiés :

- la recherche de **l'incidence de la forêt sur l'hydrologie**, qui combine le fonctionnement de la végétation et le cycle à l'échelle du bassin versant est une priorité, car des effets éventuellement importants de la forêt sur l'eau disponible pourraient se manifester dans le cadre de **modifications importantes de l'utilisation des terres** (voire de modifications drastiques des pratiques sylvicoles) dans un contexte d'évolution défavorable du régime hydrique liée au **changement climatique** (*recherche*).

5.3. Les risques de tassement des sols

Ce risque est identifié depuis relativement longtemps (Rotaru, 1985), mais ce n'est que récemment qu'un programme d'étude pluri-institutionnel (ONF, FCBA, INRA, IDF, UCFF) a été mis en place pour avancer sur cette question, dans le souci, notamment, de déboucher sur des préconisations pratiques (chapitre 12). Des partenaires de la recherche se penchent à présent sur l'établissement de cartes de vulnérabilité des sols au tassement, qui devraient bientôt être disponibles.

Si des mesures de prévention importantes sont d'ores et déjà disponibles et préconisées, la maîtrise de ce risque n'est certainement pas acquise, surtout dans un contexte d'accroissement des coupes avec des acteurs multiples au sein de l'organisation de l'exploitation forestière et de ses liens avec l'aval.

Besoins identifiés :

- évaluation de l'**état de tassement** des sols dans les dispositifs de suivi continu (*suivi*) ;
- sur un plan plus fondamental, la compréhension de l'influence des propriétés permanentes du sol, de son humidité et de la charge des engins d'exploitation employés sur les **dégâts de tassement** et sur les **possibilités de restauration** des sols à long terme mérite d'être approfondie (*recherche*) ; le produit de cette recherche pourrait être un **système d'alerte** basé sur la relation entre données climatiques et risque de tassement en temps réel (*étude*) ;
- évaluation des modalités contractuelles entre les acteurs de la filière forêt-bois (*étude*).

5.4. Érosion des sols

Les risques d'érosion en forêt sont généralement considérés comme faibles. Seule une combinaison de pentes fortes, de fortes précipitations, de sols instables, et finalement de couverture de végétation provisoirement absente peut déclencher une érosion forte comme il a pu s'en produire au siècle dernier dans le Sud des Alpes notamment. Un aspect moins connu et peut-être sous-estimé est l'érosion en site de moyenne montagne causée par la desserte routière et les passages d'engins dans les coupes dans lesquelles, pour des raisons topographiques, les cloisonnements d'exploitation sont disposés dans le sens de la pente (chapitre 10). Ces risques (sols dénudés, travaux générateurs d'érosion) sont à évaluer notamment dans la perspective d'un accroissement de prélèvement en zone de montagne.

Besoins identifiés :

- une carte détaillée de la sensibilité potentielle des sols forestiers à l'érosion serait utile (*étude*) ;
- l'évaluation des risques d'érosion liés aux coupes, pistes et cloisonnements mériterait d'être approfondie, même si les problèmes ne paraissent pas très aigus actuellement (*recherche*) ;
- les répercussions de l'érosion diffuse sur les écosystèmes aquatiques est un sujet qui mériterait, en référence à ce qui est fait en Amérique du Nord, d'être exploré (*recherche*).

6. Opportunités liées au développement de la biomasse forestière

Les conditions propices au développement de l'utilisation de la biomasse forestière devraient offrir un certain nombre d'opportunités qui ne sont qu'en partie évaluées, mais quelques-unes sont identifiées. Il s'agit notamment :

- de rendre possibles des travaux sylvicoles en faveur du bois d'œuvre* qui ne l'étaient plus depuis longtemps (particulièrement les éclaircies) (chapitres 2 et 3) ;
- de pouvoir favoriser certains groupes écologiques qui bénéficient de l'augmentation des coupes dans le temps et dans l'espace (chapitre 5) ;
- de faciliter certains travaux d'aménagement des milieux forestiers, de contribuer, par le maintien de milieux ouverts intra-forestiers, à la conservation de la diversité régionale à l'échelle d'un territoire (chapitre 13) ;
- de faciliter la lutte contre les incendies par gestion du couvert (chapitre 14) ;
- de valoriser l'épuration par les forêts (naturelles ou « construites ») des eaux chargées en polluants (chapitre 11).

7. Gouvernance : plan d'action et gestion adaptative

Dans ce qui précède, nous avons cherché à préciser les conditions, économiques plus particulièrement, dans lesquelles cette dynamique pourrait s'enclencher et à identifier les incidences possibles de ce développement sur la biodiversité, les sols et les eaux. Nous tentons ici d'identifier les éléments d'une politique visant à utiliser davantage de biomasse forestière tout en préservant la biodiversité et les ressources naturelles, en cinq grands domaines qu'il s'agit de mieux relier par une gouvernance appropriée : l'offre et la demande de bois, le développement de filières qualifiées et articulées, la biodiversité au sein des territoires, les bases d'une sylviculture respectueuse de l'environnement et enfin les questions relatives à la participation et aux processus d'amélioration continue.

7.1. Agir sur l'offre et la demande de bois

Pour stimuler la mobilisation et l'utilisation du bois, comme matériau ou source d'énergie, des **aides et incitations économiques** seront nécessaires : au moins dans un premier temps pour les équipements, et sans doute à long terme pour la mobilisation de certains gisements plus coûteux, comme une partie des houppiers, les bois d'éclaircie ou d'entretien de l'espace, et les bois dépérissants dont on peut craindre la multiplication avec le réchauffement climatique. Pour préserver les situations fragiles au plan environnemental et garantir une ressource régulière en bois pour les différentes utilisations, il sera indispensable de mettre en place une **conditionnalité de ces aides**, à l'intérieur d'un **cadre réglementaire** d'autant plus strict que la pression économique sur la ressource sera forte. Ce cadre réglementaire devrait cependant être plus procédural que normatif, c'est-à-dire laisser une marge de manœuvre importante aux échelons territoriaux intermédiaires, et notamment aux territoires de projet (Pays, PNR, Chartes forestières de territoires) pour définir les bonnes pratiques. La conditionnalité des aides peut ainsi converger avec les approches libérales de type certification, démarche qualité.

Besoins identifiés :

- motivation des propriétaires pour la gestion de leurs forêts et les modalités de gestion collective des forêts, et le comportement des acteurs de la filière (organisation des chaînes d'approvisionnement, croisement avec les logiques de territoires) (recherche) ;
- une meilleure **appréhension de la demande de bois** à deux niveaux : i) fonctionnement global de la filière forêt-bois (analyse des conséquences d'une modification des paramètres), et ii) articulation (nécessaire du fait du poids énergétique du secteur) avec un modèle d'équilibre général de l'économie française en lien avec le reste du monde (*recherche*).

7.2. Développer des filières qualifiées et articulées

Il faudra poursuivre et amplifier le développement d'une **démarche qualité** de la filière à la fois vers l'aval (qualité des produits) mais aussi vers l'amont (qualité des services) et travailler à **l'articulation entre les filières courtes**, territorialisées, **et les filières longues**, œuvrant dans le domaine concurrentiel ; cette articulation constitue un enjeu clé du développement territorial par diversification des intervenants.

7.3. Biodiversité, bien public, et territoires

Une déclinaison de la stratégie nationale de la biodiversité à l'échelle des territoires **fait encore largement défaut**. **Cela inciterait notamment à définir un objectif partageable en matière de conservation de la biodiversité existante (présence durable de populations de groupes cibles à des échelles suffisamment locales). L'objectif peut être plus ou moins ambitieux et différencié, mais probablement relativement simple. Dans le cadre de projets de territoires, la biodiversité pourrait constituer une ressource à préserver ou à valoriser**.

Les plans de gestion des Zones Natura 2000 peuvent constituer un cadre opérationnel pour ces déclinaisons et les expérimentations afférentes ; on y retrouvera l'application de règles, la traduction des principes dans le contexte local, la contractualisation et le suivi. Cette démarche mériterait d'être rapprochée de celles engagées dans le cadre des Chartes forestières de territoire et de la trame verte et bleue, et de leur traduction dans les plans de développement de massif et documents d'urbanisme.

7.4. Mesures sylvo-environnementales

Utilisées dans une stratégie territoriale concertée, les mesures sylvo-environnementales, finançant directement des actions en faveur de la biodiversité, peuvent avoir un effet levier important sur un réseau de propriétaires motivés, et ne devraient donc pas être négligées.

Elles peuvent correspondre à des opérations de récolte (éclaircies, balivage*, irrégularisation), ce qui ramène au cas de la conditionnalité des aides à la récolte, et du développement de pratiques sylvicoles favorables à l'environnement, mais également à des aides pour des forêts non exploitées.

7.5. Les bases d'une sylviculture respectueuse de l'environnement

Le travail conduit en la matière porte surtout sur la protection des sols (cf. plus haut) (chapitre 10) : il a permis de donner un signal clair et relativement précoce de la part de partenaires soucieux de promouvoir une utilisation raisonnée des ressources en biomasse.

Les recommandations formulées dans ce domaine (chapitre 12) sont les meilleures que l'on pouvait formuler sur la base des connaissances scientifiques et du jugement des experts dans un contexte d'urgence : ce serait toutefois se méprendre que de considérer qu'elles peuvent constituer la base principale et durable d'une sylviculture respectueuse de l'environnement dans la perspective d'un développement important de l'utilisation de biomasse. Un cadre plus structuré, avec des composantes articulées, doit être conçu et mis en œuvre (voir Besoins étudiés, ci-dessous). Le champ ne fait que s'ouvrir pour une ingénierie écologique de la forêt, développant les liens entre sylviculture et biodiversité.

Besoins identifiés :

- développer les bases d'une **sylviculture différenciée** afin d'éviter l'homogénéisation des traitements sylvicoles, notamment en raison du manque de données sur des variantes ou des alternatives spécifiques. Cette question est liée à celle, très importante, des bilans environnementaux / énergétiques / économiques de divers types de sylviculture, inscrite notamment dans le plan d'action forêt de la stratégie nationale sur la biodiversité. Une meilleure connaissance ouvre la voie à une politique d'incitations et taxes plus fondée ;
- contextualiser les **préconisations et règles de bonnes pratiques** visant à limiter les risques d'atteintes au milieu forestier en lien avec l'utilisation de biomasse **;** travailler avec les intervenants de l'exploitation forestière à l'organisation des chantiers, la répartition des coûts d'exploitation, les contrats d'exploitation, les modes de vente des bois ; innover en matière de machinisme ; ébaucher

des préconisations au niveau territorial et celles d'un suivi de la mise en œuvre de ces préconisations (*étude, expertise*).

7.6. Participation et processus d'amélioration continue

La gouvernance fait l'objet de définitions diverses, mais pour une entreprise ou toute autre institution, il est couramment accepté qu'il s'agit des organes et règles de décision, d'information (transparence) et de surveillance permettant aux ayants droit et partenaires d'une institution, de voir leurs intérêts respectés et leurs voix entendues dans le fonctionnement de celle-ci. Dans le domaine forestier, le sujet a fait l'objet de réflexions récentes (Cf. Buttoud et Monin, 2007). Vus les enjeux de la thématique « biomasse et biodiversité », la mise en œuvre d'une gouvernance forestière « informée » (chapitre 15) devient essentielle. On évoquera ici trois principes généraux.

Le renforcement de la participation des acteurs est le premier de ces principes. Si son bien-fondé est largement accepté, elle reste difficile à mettre en œuvre. Un aspect particulier qui prend tout son sens dans le cadre de cette étude est l'intégration des experts aux différentes étapes du processus participatif tout au long du cheminement plus que la définition d'une gestion basée sur la « meilleure expertise disponible ». Pour illustrer ce propos, on pourra se reporter à une réflexion sur le lien entre conservation et gestion forestière dans le cas emblématique de la chouette tachetée dans l'Ouest américain (Gosselin, 2008).

Le deuxième principe est de tendre vers une **gestion adaptative**, définie par le ministère de l'Agriculture américain (Stankey *et al*., 2005, chapitre 15) comme une *« gestion fondée sur l'apprentissage, capable d'intégrer dans ses décisions les connaissances acquises aux diverses échelles par le bon sens, l'expérience, le suivi, ou l'expérimentation scientifique. »* La manière de conduire une gestion adaptative, qui parait essentiellement « de bons sens », n'a rien d'évident mais quel que soit l'objectif ou la méthode, elle ouvre d'emblée le débat sylvicole faisant une place à part entière aux moyens de l'observation et de la mémoire. On pourrait parler, en d'autres termes, d'une **démarche pragmatique d'amélioration continue** à l'échelle d'un territoire, compte tenu des lacunes de connaissances, du caractère non formalisé ou latent des attentes sociales, de la nécessité d'une rétro-action possible si des observations montrent l'inefficacité éventuelle d'adaptations locales et, finalement, des incertitudes sur l'avenir. On peut encore se référer à un cadre plus large qui est celui de l'adaptation du monde forestier à un contexte changeant (cf. les réflexions menées dans le cadre d'Ecoforum 2006 consacré à l'adaptation à un monde changeant (Peyron, 2007).

Besoins identifiés :

- développer les recherches sur l'intérêt, la nature et les cadrages emboités permettant d'améliorer la **déconcentration des décisions en matière de conditionnalité** des aides (*recherche*) ;
- analyser le partage et les conflits de priorité entre les **objectifs publics**, particulièrement la biodiversité (bien commun) **et les objectifs marchands**, particulièrement la récolte de bois : typologies, méthodes d'évaluation ou de comparaison des valeurs non marchandes (recherche) ;
- développer des modèles d'**évaluation économique des services fournis par la forêt** permettant d'évaluer la faisabilité et la pertinence de scénarios à diverses échelles qui pourraient se révéler fédérateurs et permettraient d'animer un débat public encore trop peu informé ;
- favoriser les expérimentations de type **recherche-action** sur les modalités pratiques combinant une utilisation accrue de la biomasse forestière et des fonctions de protection et/de préservation de la biodiversité. Ces recherches peuvent se concevoir dans des territoires à pratiques participatives établies, en lien avec la trame verte, ou encore dans des territoires concernés par des modifications importantes en matière de demande de biomasse ;
- expérimenter et développer à différents niveaux des **outils de suivi – y compris de biodiversité – et d'aide à la gestion, et de communication** ; cela passe notamment par la mise en place d'espaces et d'outils d'information et de communication facilitant les échanges, la coordination entre secteurs et entre niveaux de prise de décision, et un suivi du processus itératif. La mise en œuvre au niveau

local, dans le cadre de schémas de desserte et de mobilisation, plans de développement de massif, etc. reste en grande partie conditionnée par ces développements ;

- renforcer la **recherche en politique forestière.** Cette évolution est rendue plus que nécessaire par les défis en matière de gestion des ressources naturelles, et devrait viser, en complément des institutions forestières nationales, le niveau régional, appuyée sur le secteur universitaire.

8. Les suites possibles à cette étude

Cette étude a confirmé les perspectives intéressantes, pour la foresterie, en matière d'utilisation de la biomasse forestière. Elle a rassemblé les principaux éléments disponibles sur la nature et (de façon encore très imparfaite) l'ampleur des incidences possibles d'un développement accru de cette utilisation sur l'environnement, et finalement introduit la question de la gouvernance à mettre en place pour maîtriser le développement souhaité.

Approfondir et étendre la connaissance

- combler les lacunes : ce travail d'expertise pourra être approfondi à court terme sur certains points à enjeu fort traités ici superficiellement, en l'intégrant davantage dans une dimension internationale (des réflexions similaires sont en cours dans beaucoup de pays) et complété par des études finalisées ;
- le champ thématique des travaux futurs devrait prendre en compte explicitement les changements climatiques d'une part, les changements d'utilisation du sol, d'autre part ;
- approfondir : une piste importante est la contextualisation des questions et des problèmes ; on pense là au contexte écologique mais également à la nature de la propriété (privée, communale, domaniale). La situation de la forêt domaniale, objet d'attentes fortes et pour partie difficiles à concilier, mérite par exemple une attention particulière.

S'Inscrire dans une démarche collective d'amélioration continue

Un travail spécifique est nécessaire pour éviter qu'une utilisation accrue de la biomasse forestière n'entraîne des pertes dommageables de biodiversité, de qualité des sols et des eaux de surface et des tensions au sein de filière forêt-bois et, plus largement, entre les divers acteurs des territoires et de la société. Ces effets ne sont ni généraux ni inéluctables, mais les concepts et outils nécessaires pour y faire face ne sont pas tous disponibles. Il s'agit donc d'articuler dans la durée le développement de l'utilisation du bois avec le progrès des connaissances et la mise au point de nouvelles formes de gouvernance. Les activités de suivi constituent une part incontournable de cette dernière, la qualité du partage des informations et de l'expression des controverses est également un élément important.

9. Références bibliographiques

Arrouays D., Jolivet C., Boulonne L., Bodineau G., Ratié C., Saby N et Grolleau E., 2003. Le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS) de France. *Étude et Gestion des Sols, 10 (4) : 241 à 250.*

Aussenac G., Bonneau M., Landmann G., Troy J.P., 1996. Évolution des sols et changements globaux : deux enjeux majeurs pour la durabilité des écosystèmes forestiers. *Revue forestière française*, vol. 48 (n° sp.), pp. 75-88.

Balland P., Huet P., Laurent J.-L., Lummaux J.-C., Martin X. et Schlich R., 2001, *Rapport sur les Observatoires pour l'Environnement,* Paris, MATE & MR, 115 p.

Barthod C., 2007. Qu'a apporté le débat sur la gestion durable à la foresterie française ? Ce débat est-il dépassé ? Revue forestière française 59 (5), 560-569

Bourgau J.-M. (coord.), Bertin M., Lerat J.-F., Morin G.-A., Monnot J.-G., Poss Y., Treyer S. 2008. La forêt française en 2050-2100. Essai de prospective. Rapport n° 1723 du Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux, Paris, 102 p.

Branquart, E, Verheyen, K., Latham, J.,2008. Selection criteria of protected forest areas in Europe : The theory and the real world. *Bilogical Conservation*, 141 : 2795-2806.

Buttoud G., Monin J.-C., 2007. Débat international sur les forêts et changement d'approche de la gestion et de la politique forestières. *Revue forestière française*, 59 (5) : 437-442.

European Environmental Agency, 2006. *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment ?* Copenhagen, European Environmental Agency (*EEA Report* n° 7-2006), 67 p.

FNE, FNCOFOR, ONF et FPF (2007) Forêt : *Produire plus de bois tout en préservant mieux la biodiversité Une démarche territoriale concertée dans le respect de la gestion multifonctionnelle des forêts*. Contribution datée du 04 septembre 2007 au Groupe n° 2 du Grenelle de l'Environnement, 2 p.

Givors A., 2008. Avis de Pro-Silva France sur l'augmentation de la récolte de bois en France et sur la gestion des risques induits par les changements climatiques. 4 p.

Gosselin F. et Dallari R., 2007, *Des suivis « taxonomiques » de biodiversité en forêt. Pourquoi ? Quoi ? Comment?,* Nogent sur Vernisson, Cemagref, 119 p.

Gosselin F., 2009. Management on the basis of the best scientific data or integration of ecological research within management? Lessons learned from the northern spotted owl saga on the connection between research and management in conservation biology, *Biodiversity and Conservation*.18 (4) : 777-793.

Hamza N., Boureau J.G., Cluzeau C., Dupouey J.L., Gosselin F., Gosselin M., Julliard R. et Vallauri D., 2007, *Evaluation des indicateurs nationaux de biodiversité forestière,* Nogent-sur-Vernisson, France, Inventaire Forestier National, 133 p.

Landmann G., 2000. Le suivi des sols forestiers en France. *La Forêt Privée*. 254 : 55-62.

Levrel H., Loïs G. et Couvet D., 2007. Indicateurs de biodiversité pour les forêts françaises. État des lieux et perspectives, *Revue forestière française*, 59, 1, p. 45-56.

Lindner M,. Eggers J., Zanchi G., Moiseyev A., Tröltzsch K., Eggers T., 2007. Environmentally compatible bio-energy potential from European forests. EEA report, 47 p. + annexes

MAP, 2006. *Les indicateurs de gestion durable des forêts françaises - Edition 2005.* Paris, ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 148 p.

Peyron J.-L. (coord.), 2007. Face aux changements environnementaux, sociétaux, économiques, quelle gestion, quelle recherche pour la forêt de demain ? *Revue forestière française* 2007, Vol. 59, N° 3, p. 197-336

Roy C., 2006. Plan biocombustibles (plan directeur pour la valorisation de la biomasse). Paris, 92 p.

ANNEXES

ANNEXE 1
PROJET « BIOMASSE ET BIODIVERSITÉ, ÉTAT DES LIEUX (BIO2) »

La biodiversité fait l'objet d'une attention soutenue sous l'égide de la Convention sur la diversité biologique ; il s'agit essentiellement de combattre l'érosion de la biodiversité sous l'effet des changements globaux, y compris au niveau de l'utilisation des sols. La biomasse, quant à elle, revient sur le devant de la scène pour apporter des solutions aux deux crises énergétique et climatique. Elle combat donc l'une des causes de la dégradation de la biodiversité. Mais, par ailleurs, elle implique des changements dans la nature et l'intensité de l'utilisation des sols qui peuvent, dans certaines conditions, porter atteinte à la biodiversité. Un dilemme apparaît donc ici entre biomasse et biodiversité, qui concerne particulièrement une forêt faisant office de réservoir pour l'une et pour l'autre.

Perspective historique

La forêt a en effet été historiquement, en France comme ailleurs, une source majeure d'énergie pour l'ensemble des activités économiques avant que ce débouché ne vienne se réduire considérablement. La prospection et l'exploitation, au cours des deux derniers siècles, de gisements de charbon, puis de pétrole, de gaz naturel et d'uranium, ont permis de relâcher la pression qui s'était exercée sur la forêt tant que le bois de feu alimentait aussi bien les ménages pour le chauffage et la cuisson que les différentes activités économiques (forges, salines, briqueteries, verreries…). Couplée à la révolution industrielle, cette évolution a occasionné par ailleurs l'exode rural vers les villes et l'augmentation progressive de la productivité agricole, libérant par là même un nouvel espace pour les forêts. Ces dernières n'ont cessé depuis lors de reconquérir les terrains abandonnés par l'agriculture, doublant sensiblement leur superficie. Elles se sont aussi largement étoffées du taillis vers la futaie en raison des évolutions sylvicoles, d'un excédent d'offre et d'un glissement de la demande vers le bois d'œuvre. Le développement des marchés du papier et des panneaux a quelque peu freiné cette tendance mais ces deux secteurs ont pu trouver des ressources en petits bois au sein même des débouchés de la futaie, dans les éclaircies, les houppiers et les produits connexes de scierie.

Ce bref rappel historique n'est pas inutile au moment de s'interroger sur les conséquences possibles d'une crise de l'énergie suscitée à la fois par le tarissement des ressources fossiles les plus exploitables et le spectre d'un réchauffement imputable à la consommation de ces mêmes ressources. Il s'agit en effet pour le secteur forestier d'apporter sa contribution à la résolution de la crise, d'en tirer profit pour son fonctionnement propre, tout en évitant les conséquences néfastes d'un scénario qui verrait se refaire à l'envers le chemin parcouru au cours de ces deux derniers siècles. Ce défi est essentiel mais difficile dans la mesure où la forêt est le théâtre d'attentes croissantes par ailleurs en matière de gestion du carbone, de protection des eaux et des sols, de loisirs, de développement des territoires ruraux et, nous l'avons vu, de conservation de la biodiversité.

Augmentation de la demande de biomasse et évolutions dans le domaine sylvicole

L'augmentation de la demande de biomasse se traduit en premier lieu par une hausse des prix des bois, tant petits que gros : en effet, l'énergie étant plus chère, le bois-énergie se renchérit ; cet effet se propage au bois d'œuvre* sur lequel la demande se tend ; les gros bois voient également leur demande augmenter en raison du caractère économe en énergie de leur transformation par rapport aux matériaux concurrents.

Cette hausse des prix entraîne des prélèvements accrus, de manière générale mais également par catégories : les houppiers, souches, bois morts ou dépérissants sont plus systématiquement récoltés ; les petits bois et le sous-étage voient leur récolte augmenter aussi bien en valeur relative qu'absolue, y compris en région méditerranéenne où le débroussaillement est aussi en cause ; les gros bois bénéficient

d'un phénomène d'entraînement et d'une meilleure valorisation de leur houppier ; les feuillus devraient jouir d'un regain d'intérêt par rapport aux résineux ; l'exploitation des tourbières pourrait même reprendre.

Pour s'adapter à cette nouvelle donne, on s'attend à une intensification de la sylviculture se traduisant non seulement par cette récolte supplémentaire mais aussi par un raccourcissement des révolutions, un développement des taillis à courte révolution (TCR), des interventions plus fortes et fréquentes, une mécanisation adaptée aux récoltes massives et visant à accroître la compétitivité des opérations.

La démarche suggérée

La démarche proposée ici consiste à :

- identifier et décrire de manière générale les principales conséquences possibles d'une exploitation et d'un développement accrus de la biomasse forestière sur la biodiversité ;
- analyser les diverses modalités de production de biomasse et leur évolution probable dans le temps (scénarios).

Ces deux axes de travail (description scénarisée des modalités de production de biomasse et état de l'art de la connaissance sur les impacts possibles) seront conduits en interaction (et donc simultanément) afin d'éviter qu'une analyse d'un matériel documentaire en partie ancien ne soit en décalage avec les termes de la problématique actuelle. Cette approche doit également permettre aux deux publics principaux (schématiquement, ceux qui voient avantage à promouvoir l'utilisation accrue de la biomasse forestière et ceux qui craignent les effets d'un tel développement pour, notamment, la biodiversité forestière) de mieux objectiver la situation et d'identifier les principaux éléments de convergence ou de conflits potentiels.

Identification des principales conséquences de l'exploitation et du développement de la biomasse forestière sur la biodiversité

Les prélèvements accrus, l'intensification de la sylviculture et la meilleure santé économique de la forêt se traduisent à différents niveaux :

- le bois mort avec sa faune et sa flore saproxyliques associées ;
- la fertilité des sols qui peut être mise à mal par une exportation minérale mal maîtrisée, par une mécanisation susceptible de tasser les sols de manière répétée compte tenu de la fréquence des interventions ;
- la lumière arrivant au sol dont on s'attend qu'elle soit plus importante du fait de l'intensification de la sylviculture ;
- la résistance aux risques (y compris d'incendie) qui détermine un certain fonctionnement écologique ;
- le dérangement lié lui aussi à la fréquence et à l'intensité des interventions ;
- le développement des réserves biologiques et autres espaces protégés, qui s'avère plus difficile dans un contexte dans lequel l'exploitation des bois est mieux valorisée ;
- l'utilisation des sols pour laquelle l'équilibre entre artificialisation, agriculture, friches, forêt et haies est à reconstruire.

Ces modifications ont des répercussions plus ou moins importantes en terme de biodiversité.

Le tableau ci-dessous résume cette première analyse qu'il convient de compléter et de nourrir.

Tableau 1. Mise en perspective des « Pressions » sur l'écosystème et des « Réponses » des facteurs structurels

déterminant la biodiversité.

En fonction de l'incidence des différents facteurs sur la biodiversité, le tableau pourra être renseigné qualitativement et, quand cela est possible, quantitativement, en référence, si possible, à l'« Etat » de la biodiversité, conformément au schéma d'analyse « Pression, Etat, Réponse ».

REPONSES PRESSIONS	MODIFICATIONS ATTENDUES						
	équilibre entre forêt et autres usages du sol		en forêt « ordinaire »				
	Forêt et boisement hors forêt, agriculture	Espaces productifs vs espaces protégés	Bois mort, gros bois, etc.	Fertilité	Lumière	Dérangement	Résistance aux risques
PRELEVEMENTS ACCRUS - au total - houppiers, souches - bois dépérissants - sous-étage - petits bois - gros bois - feuillus - tourbe							
INTENSIFICATION SYLVICOLE - raccourcissement des révolutions - regain d'intérêt du taillis - interventions fortes et fréquentes - mécanisation							
VALEUR ACCRUE DES FORETS							

Analyse comparative entre les diverses filières de production de biomasse

Les conséquences de l'exploitation et du développement de la biomasse forestière devront s'analyser en fonction des diverses filières d'approvisionnement considérées ici sous une forme épurée :

- une filière intensive fondée sur la culture de taillis à courte révolution (TCR) voire sur l'exploitation de tourbières, qui produit assez exclusivement de la biomasse ;
- une filière exploitation arbre entier qui limite les rémanents (exportation des houppiers voire des souches) ;
- une filière amélioration des peuplements qui se combine, le cas échéant, à la précédente et vise une production de bois d'œuvre et de diverses aménités mais produit de la biomasse sous la forme d'éclaircies, de coupes de taillis ou de taillis-sous-futaie voire, en forêt méditerranéenne, de débroussaillement ;
- une filière fondée sur l'aval de la forêt (produits connexes de scierie, de papeterie, récupération en fin de vie) qui, par nature, n'agit pas directement sur la biodiversité mais évite les effets favorables ou défavorables des autres filières.

Conclusion

Ce travail conduira donc à un premier état de l'art de la connaissance sur les conséquences possibles d'une exploitation et d'un développement accrus de la biomasse forestière sur la biodiversité en regard de premiers scénarios de production de biomasse forestières. Il s'agira d'identifier les principaux éléments de convergence ou de conflits potentiels.

Un prolongement de cette première phase d'expertise consisterait :

- à approfondir l'analyse afin d'en tirer les principaux enseignements de la démarche ainsi que les principales zones d'ombre nécessitant des approfondissements et identifier les situations (géographiques, socio-politiques) à risque ;à fournir aux divers lieux de débat (lois, certification, documents de gestion, CFT…) une information équilibrée sur l'état de l'art de la question, les outils disponibles pour infléchir d'éventuels effets préjudiciables.

ANNEXE 2
PROJETS ANR DANS LE DOMAINE DE LA « VALORISATION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE »

Entre parenthèses, nom et affiliation du porteur de projet

Programme national de recherche sur les bioénergies (PNRB) et programme Bioénergies (à partir de 2008) : 9 projets

Projets 2005

ANABIO. Analyse environnementale et socio-technico-économique des filières de production d'énergie ex-biomasse (Anne Prieur, IFP).

ECOBIOM. Une approche socio-économique et environnementale de l'offre de biomasse lignocellulosique (Francis de Morogues, FCBA).

REGIX. Référentiel unifié, méthodes et expérimentations en vue d'une meilleure évaluation du gisement potentiel en ressources ligno-cellulosiques agricole et forestière pour la bioénergie en France (Françoise Labalette, GIE ARVALIS/ONIDOL).

Projets 2006

MOBIPE. Tester des méthodes et équipements et des organisations innovantes de récolte de la biomasse forestière en zone de pente (Stéphane Grulois, FCBA).

OMICAGE. Développement des technologies de mesures, des systèmes d'information et des outils de production pour une approche holistique des chaînes d'approvisionnement de grande échelle en biomasse ligneuse (Pierre Ducray, UCFF).

Projets 2007

BIOMAP. Analyse environnementale, socio-technico-économique et évaluation des risques des filières bioénergies : application pratiques à différentes problématiques (Anne Prieur, IFP).

Projets 2008

EMERGE - Des évaluations compatibles de volumes, biomasses et minéralomasses en forêt : vers une gestion comptable et durable du bois énergie (Christine DELEUZE, ONF)

SYLVABIOM - Nouveaux concepts de cultures ligneuses durables pour la production de biomasse à des fins énergétiques (Jean-Charles BASTIEN, INRA)

DECLIC - Développement des cultures ligno cellulosiques pour la production de biomasse : évaluation/ optimisation des conditions techniques, socio économiques et environnementales de culture et de récolte au sein des exploitations françaises (Fanny-Pomme LANGUE, UCFF).

Projets 2009

Néant (essentiellement projets autour des technologies de production de bioénergie)

Ateliers de réflexion prospective : 1 projet

Projets 2007

Quels végétaux pour la biomasse du futur ? VegA. Quels végétaux et quels systèmes de production durables pour la biomasse dans l'avenir ? (Paul Colonna, François Houllier, INRA)

Programme agriculture et développement durable (ADD), 2005-2007, puis SYSTERRA : 2 projets

Projets 2005

DST-Dégradation physique des sols agricoles et forestiers liée au tassement : conséquences environnementales et économiques, prévision, prévention, suivi, cartographie (Guy RICHARD, INRA)

Projet 2009

FORGECO : Du diagnostic à l'action: créer les conditions d'une gestion intégrée et viable des écosystèmes forestiers sur les territoires (Thomas CORDONNIER, Cemagref)
NB Ce projet s'inscrit dans le droit fil de Bio2

BIODIVERSITE puis (à partir de 2008) BIODIVERSA

Aucun projet ne traite spécifiquement de l'incidence d'une utilisation accrue de la biomasse forestière sur la biodiversité.

Classement thématique

- **offre de biomasse forestière,** ECOBIOM, REGIX**,** EMERGE
- **organisation de filière** ANABIO, MOBIPE**,** OMICAGE
- **cultures dédiées** SYLVABIOM, DECLIC
- **préservation sol** : DST, partie de REGIX
- **gestion forestière territoriale et Biodiversité :** FORGEBO

ANNEXE 3
GLOSSAIRE

A

Accroissement courant maximum : (d'un peuplement forestier) il est atteint lorsque la différence d'accroissement entre deux années successives atteint son maximum.

Age d'exploitabilité : n.f., durée du cycle sylvicultural d'une essence ou âge auquel les arbres au stade de la régénération peuvent être exploités, compte tenu des objectifs (Gosselin *et al.*, 2006).

Amendement : n.m., apport de calcaire (amendement calcique ou calco-magnésien) ou de chaux réalisé pour provoquer une remontée du pH, améliorer la disponibilité des éléments minéraux (en libérant ceux contenus dans l'humus notamment) ainsi que la structuration du sol (Gosselin *et al.*, 2006).

Andain : n.m., voir andainage

Andainage : n.m. rassemblement, manuel ou mécanique, des rémanents d'exploitation en les alignant en tas longilignes – les andains – pouvant atteindre plusieurs mètres de hauteur (Gosselin *et al*., 2006).

Autoéclaircie des peuplements forestiers : n.f., mortalité des brins ligneux dominés par d'autres.

B

Balivage : n.m., désigne l'opération qui consiste à repérer puis favoriser les plus beaux arbres (baliveaux) dans un taillis pour orienter le peuplement vers une production de bois d'œuvre, de valeur supérieure au bois d'industrie ou de chauffage produit par la gestion classique d'un taillis. Cette technique suppose un nombre suffisant de baliveaux à l'hectare répondant aux critères ci-dessus, régulièrement répartis sur le terrain. On recommande au minimum 50 tiges avec du frêne, 70 tiges avec du chêne, du hêtre ou du merisier, 80 à 100 tiges avec les autres essences (érables, châtaignier, tilleul, cormier, alisier, fruitiers divers). Le balivage (simple) consiste à identifier Les autres brins non désignés seront retirés en vérifiant que les tiges conservées ne seront pas exposées au soleil, afin d'éviter l'apparition de gourmands.
(http://www.crpf-lr.com/telechargement/Fiches/Amelioration_taillis.pdf)

Balivage intensif : cette opération concerne les taillis plus âgés, exploitables, possédant de nombreux baliveaux vigoureux ou des tiges assez bien développées. Elle vise à conserver au moins 300 baliveaux à l'hectare (Wikipedia).

Baliveau : n.m., le baliveau est un arbre réservé dans la coupe d'un taillis, pour qu'il puisse croître en futaie. C'est une tige vigoureuse de l'âge du taillis, si possible de franc-pied ou bien inséré sur la souche, d'essence précieuse, de bonne qualité (sain, bien développé, à cime équilibrée, avec un tronc déjà formé d'au moins 6 mètres) (http://www.crpf-lr.com/telechargement/Fiches/Amelioration_taillis.pdf**).**

Bille : n.f., portion d'un bois rond, recouvert ou non de son écorce. On distingue la bille de pied (première bille à partir de la base de la grume) et la surbille (deuxième bille, en général de moindre qualité) (ARMEF, CTBA, 1994).

Billon (ou rondin) : n.m., bille courte, d'une longueur généralement comprise entre 1 et 3 m, sans distinction de diamètre (ARMEF, CTBA, 1994).

Biomasse : n.f., masse totale de matière vivante, que ce soit pour une population; pour une communauté ou pour un niveau trophique donné dans un écosystème (Gosselin M. *et al*, 2006).

Biocarburant : n.m., au sens strict, les **biocarburants** (ou agrocarburants) sont des carburants liquides produits à partir de plantes cultivées. Suivant les filières, on cherche à produire de l'huile ou de l'alcool par fermentation alcoolique de sucres ou d'amidon hydrolysé. On y inclut aussi parfois (biocarburants au sens large) les carburants gazeux obtenus à partir de biomasse végétale ou animale (dihydrogène ou méthane) et les carburants solides comme le charbon de bois (http://www.techno-science.net).

Bois fort : n.m., bois du tronc et des branches de diamètre supérieur à 7 cm.

Bois d'œuvre (BO) : n.m., bois destiné au sciage, au tranchage, au déroulage…

Bois d'industrie (BI) : n.m. bois rond en principe non apte au sciage, déroulage ou tranchage, et normalement destinés à des emplois industriels (poteaux, bois de mines, panneaux, pâte à papier…)

Bois énergie (BE) : n.m. bois destiné à l'énergie sous forme de bûches ou de plaquettes.

C

Cavicole (espèce) adj., désigne une espèce qui dépend d'une manière ou d'une autre, au cours de son cycle de vie, de cavités formées dans les arbres (y compris caries de coeur, fentes sous écorces décollées et terreaux des cavités et des fentes) (Gosselin M. *et al*., 2006).

Cloisonnement : n.m., ouverture linéaire (plus ou moins large) dans des peuplements pour faciliter, soit les travaux d'entretien, soit les travaux sylvicoles (cloisonnement sylvicole), soit les exploitations (cloisonnement d'exploitation) (Gosselin M. *et al*., 2006).

Constructed (treatment) wetlands: ces zones humides artificielles sont définies comme "engineered or constructed wetlands that utilize natural processes involving wetland vegetation, soils, and their associated microbial assemblages to assist, at least partially , in treating an effluent or toher water source (Environmental Protection Agency http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/constructed.pdf).

D

Débardage : n.m., tansfert des bois courts par portage entre la zone où ils ont été abattus et un lieu accessible aux camions (ARMEF, CTBA, 1994).

Débusquage : n.m., transfert des bois, généralement longs, par traînage entre la zone où ils ont été abattus et un lieu accessible aux camions (ARMEF, CTBA, 1994).

Débusqueur (ou skidder ou débusqueuse) : n.m., engin généralement doté d'un treuil avec un câble permettant le débusquage des bois par traînage ; il existe également des débusqueurs équipés en plus d'un grappin ou d'une grue (ARMEF, CTBA, 1994).

Délignures : n.f., déchets de sciage comportant encore de l'écorce (lors du délignage, on dit aussi délignures.), (Larousse en ligne).

Dépôts secs : partie des dépôts atmosphériques qui retombent au sol (directement ou d'abord sur la végétaion) sous forme de gaz ou d'aérosols. Ils peuvent représenter une partie importante des dépôts atmosphériques près des sources d'émissions (exemple : émissions d'ammoniac).

Dépôts occultes : nom parfois donné à la partie des dépôts atmosphériques qui retombent au sol (directement ou d'abord sur la végétation) sous forme de fines gouttelettes de nuages ou de brouillard.. En montagne en particulier, cette forme de dépôts peut être importante. Ces dépôts font partie des dépôts humides (par opposition aux dépôts secs) qui comprennent les apports par les pluies, la neige et, donc, nuages, brouillard, rosée.

Diversité biologique taxinomique (richesse, équitabilité, composition) : La diversité taxinomique (d'une communauté ou d'un ensemble de communautés) résulte de la combinaison de trois aspects, deux aspects quantitatifs et un aspect qualitatif :

1) la **richesse**, c'est-à-dire le nombre total d'espèces de la communauté. Plus la richesse est grande, plus la diversité est élevée. Cette quantité n'a de sens que précisée par rapport à l'échelle à laquelle elle se rapporte ;

2) **l'équitabilité**, c'est-à-dire la répartition en proportion de toutes les espèces de la communauté (cf. suite pour une définition plus précise). Une communauté est dite équirépartite lorsque tous les taxons

qui la composent ont la même abondance. Par convention, plus une communauté tend vers l'équirépartition, plus sa diversité augmente. De même, à équitabilité donnée, plus la richesse taxinomique est grande, plus la diversité augmente.

3) la **composition** en espèces : c'est l'identification des taxons qui constituent une communauté, ainsi que leur nombre (ou fréquence) et leur densité. Deux communautés peuvent avoir un niveau équivalent de richesse et d'équitabilité, avec des cortèges d'espèces très différents.

On ajoute parfois à ces trois composantes une quatrième, relative aux dépendances ou interactions entre espèces (Gosselin & Laroussinie 2004).

Diversité spécifique "neutre" : n.f., la diversité spécifique neutre est un mélange des notions d'équitabilité et de richesse spécifique. Elle quantifie quelle proportion de l'abondance est contrôlée par quel nombre d'espèces présentes. L'épithète « neutre » signifie que seuls le nombre d'espèces et leurs abondances relatives sont pris en compte dans les calculs, mais pas l'identité ni les groupes écologiques, fonctionnels, taxinomiques supérieurs des espèces (Gosselin & Laroussinie 2004).

Diversités alpha, beta, gamma : n.f. ces différentes formes de diversité peuvent se définir pour un indice de diversité "neutre" donné. La diversité gamma d'un ensemble de relevés est la « diversité » du relevé moyen obtenu en faisant la moyenne de tous ces relevés (sa **valeur sera d'autant plus grande que le nombre d'habitats différents dans la région considérée est élevé et que la diversité de chacun des habitats est élevée**). La diversité alpha est la moyenne des diversités de chacun des relevés (considérés séparément). La diversité beta est la différence ou le rapport entre la diversité gamma et la diversité alpha Le plus souvent, la diversité alpha est calculée au niveau d'un relevé relativement homogène alors que la diversité gamma est calculée sur un ensemble de plusieurs relevés, éventuellement hétérogènes, en tout cas clairement séparés dans l'espace ou le temps (Gosselin & Laroussinie 2004).

Dosses : n.f., dans le sciage des arbres, première ou dernière planche que l'on enlève et qui conserve son écorce (Petit Larousse illustré 1996)

E

Effet mulch : , n.m., en agriculture et jardinage, le paillis (ou mulch) est une couche de matériau protecteur posée sur le sol, principalement dans le but de modifier les effets du climat local. Si, à l'origine, le terme dérive de paille, de nombreux autres matériaux naturels ou synthétiques sont utilisés à cet effet. (WIkipedia). Par extension, l'effet mulch désigne l'effet produit par tout système produisant un effet similaire à celui produit par un mulch.

Elasticité prix, n.f. :variation relative de la demande / Variation relative du prix. L'élasticité prix est normalement négative car la demande ou consommation baisse lorsqu'un prix augmente. Une élasticité supérieure à - 1 indique une forte sensibilité au prix. L'élasticité prix est un élément très important à prendre en compte dans le cadre de la politique de prix (www.definitions-marketing.com).

Epigés (Invertébrés) : adj., la faune épigées représente tout ce qui vit en surface et en-dessus du sol (cloportes, vers épigés, acariens, fourmis), soit la faune se nourrissant des parties aériennes de la végétation. Elle mange toute la litière des végétaux morts et participe à sa décomposition. La faune pigée produit des excréments, creuse des galeries. Cette faune crée une porosité énorme du sol, par là une perméabilité et une fertilité indispensable (http://www.cavesa.ch).

Epiphytes : n.m., les épiphytes sont des plantes qui poussent en se servant d'autres plantes comme support, sans parasitisme.

F

Fagotteuse : n.f., outil monté généralement sur une base de porteur permettant de constituer des fagots de forme cylindrique à partir des rémanents d'exploitation, après les avoir compressés.

Fertilisation : n. f., apport d'éléments chimiques dont le sol est carencé, réalisé dans le but d'améliorer la fertilité (est utilisée seule ou en complément d'un amendement)(Gosselin et al., 2006).

Flore vasculaire : n.f., regroupe les plantes à graines (arbres, arbustes, herbacées) et les fougères, caractérisées par la présence de racines et de vaisseaux qui permettent la circulation de la sève.

Forêt ancienne : n.f. forêt, exploitée ou non, caractérisée par la continuité de l'état boisé (absence de défrichement) pendant au moins 170 ans (170 à 500 ans selon les auteurs) (Gosselin M. *et al*., 2006).

Forêt naturelle (= forêt vierge, forêt primitive, forêt originelle) : n.f. forêt primaire dont la composition, la structure, les êtres vivants ont toujours été soustraits à l'action de l'homme, si ce n'est un prélèvement par cueillette et une pression de chasse légère. Il n'existe plus de telles forêts en Europe (Gosselin M. *et al*., 2006).

Forêt némorale : n.f., la zone climatique némorale est le biome dominant en Europe de l'Ouest, et caractérisée par un climat tempéré avec gel hivernal, et une végétation dominée par les feuillus (autres biomes : méditerranéen, boréal…).

Forêt primaire : n.f., forêt issues d'une succession de végétation primaire, c'est-à-dire qui, en Europe, s'est développée à partir d'un sol nu depuis l'Holocène et n'a pas fait l'objet de destruction d'origine humaine (Gosselin M. *et al*., 2006).

Forêt subnaturelle (= à caractère naturel) : n.f., forêt primaire ou secondaire, composée d'espèces autochtones, régénérées par voie naturelle (futaie) qui a été assez peu modifiée par l'homme dans sa composition et sa structure ou dont l'exploitation a été abandonnée depuis la seconde guerre mondiale. Les six critères de subnaturalité sont l'autochtonie (génétique et spécifique) des essences, la régénération par voie naturelle, le traitement (passé) en futaie, l'absence d'intervention depuis la seconde guerre mondiale, la présence de nombreux bois morts sur pied et au sol et la présence d'arbres sénescents. (Gosselin M. *et al*., 2006).

Frayère : n.f., le lieu où se reproduisent les poissons et les batraciens (ou maintenant amphibiens) et par extension les mollusques et les crustacés (Wikipedia).

Frondicole : adj., qualifie les organismes occupant la frondaison, (le houppier, la couronne) des arbres.

G

H

I

Indice foliaire : n.m., grandeur sans dimension, qui exprime la surface foliaire d'un arbre, d'un peuplement, d'un écosystème ou d'un biome (1) par unité de surface de sol. Selon l'échelle à laquelle on s'intéresse, l'unité de surface de sol peut être le m2, l'hectare, le km2. Pour un arbre, la surface de référence retenue est la surface de projection horizontale de son houppier. Les méthodes de détermination de l'indice foliaire peuvent être classées en deux catégories : les méthodes utilisant une mesure directe de surface foliaire et les méthodes optiques ou indirectes (N. Bréda, *Revue forestière française*, LI - 2-1999, pp. 135-150).

K

kairomone : n.f., substance sémiochimique produite par un être vivant, libérée dans l'environnement, qui déclenche une réponse comportementale chez une autre espèce et dont l'effet est négatif pour l'espèce émettrice. Ainsi les odeurs émises par un insecte et qui permettent à ses parasites de le localiser sont des kairomones (Wikipedia).

Krigeage : n.m., méthode d'interpolation issue de la géostatistique. Le terme krigeage, kriging en anglais, provient du nom de famille de l'ingénieur minier sud-africain Daniel Gerhardus Krige. Il a été formalisé pour la prospection minière par George Matheron (1930-2000) à l'École des Mines de Paris. Le krigeage est une méthode d'interpolation spatiale, parfois considérée comme la plus juste d'un point de vue statistique, qui permet une estimation linéaire basée sur l'espérance mathématique et aussi sur la variance de la donnée spatialisée. À ce titre, le krigeage se base sur le calcul, l'interprétation et la modélisation du variogramme, qui est une appréciation de la variance en fonction de la distance entre données (Wikipedia).

L

LAI : Leaf area index, voir indice foliaire

M

Matorralisation : n.f., une courte période de retour d'incendies (< 15-20 ans) maintient la végétation au stade de lande arbustive basses (garrigue ou maquis en région méditerranéenne française, matorral en Californie) qui ne peut évoluer vers un stade forestier. Ce phénomène s'accompagne en générale d'une baisse de productivité biologique.

N

Narse : n.f., de *narsa* ou *narsi,* mot des parlers des départements de l'Allier et de la Loire signifiant « bourbier ») (http://www.larousse.fr).

Naturalité : n.f. Traduction adoptée du terme anglais « wilderness », la naturalité est un néologisme dont la définition fait encore débat. La plupart des auteurs s'accordent à dire que la naturalité d'un écosystème est une variable continue qui s'apprécie le long d'un gradient. Dans les écosystèmes, le degré de naturalité n'atteint jamais la note 100 et descend rarement à 0. Aucun écosystème n'échappe en effet aux changements globaux induits par les activités humaines (changements climatiques et pollution atmosphériques) ; d'autre part, tous les milieux même artificiels sont spontanément colonisés par des organismes vivants. Le gradient de naturalité représente la similitude avec un « état naturel supposé », pour lequel il n'existe pas toujours de référence aisément accessible. Dans la pratique, la gestion en faveur de la naturalité des écosystèmes repose sur deux concepts : la naturalité anthropique (absence d'intervention humaine) et la naturalité biologique (qui consiste à rapprocher un écosystème de son état naturel supposé, quitte à intervenir). En forêt, les caractères de naturalité regroupent la quantité de bois morts et de gros arbres, la présence de stades âgés, la variété structurale des peuplements, l'autochtonie des essences, la régénération naturelle. On pourrait ajouter la présence de taxons peu mobiles d'intérieur forestier (Gosselin *et al*., 2006).

P

Paysage (écologie du) : n.f., discipline étudiant la répartition spatiale d'éléments (habitats par exemple) au sein de milieux hétérogènes, à l'échelle du paysage, c'est-à-dire d'une région géographique étendue (qui occupe plusieurs kilomètres carrés, comprend des motifs répétitifs et regroupe un assemblage d'écosystèmes).

Parterre de coupe : n.m, partie d'une parcelle forestière passée en exploitation.

pH eau, mesure de l'acidité d'une suspension de terre dans de l'eau, avec un rapport terre / eau normalisé (rapport 1 / 5, en volume / volume). C'est l'indicateur le plus ancien, défini au début du 20ème siècle. Il existe d'autres mesures de pH, notamment le **pH KCl** qui correspond à la mesure de l'acidité d'une suspension de terre dans une solution molaire de chlorure de potassium, avec un rapport terre / solution normalisé.(groupe français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée, N. Damay et J.L. Juien, **Les indicateurs du statut acido-basique des sols,**http://www.comifer.asso.fr/groupe_travail/chaulage.htm).

Plaquettes : n.f., fragments ou copeaux de bois obtenus par déchiquetage ; la plaquette forestière est le résultat du broyage par des engins mécanisés (broyeurs à couteaux) des rémanents d'une exploitation forestière ou de bois de faible diamètre (d'après ARMEF, CTBA, 1994).

Porteur : n.m., engin doté d'un plateau et d'une grue permettant le débardage des bois par portage (ARMEF, CTBA, 1994).

R

Ravine : n.f., incision linéaire. Cette forme élémentaire d'érosion est créée par le ruissellement concentré des eaux sur un versant. Les ravines peuvent constituer des réseaux et rejoindre le réseau hydrographique. Le ravinement est le processus de formation des ravines. Il est favorisé sur les versants nus et sur les terrains imperméables soumis à des précipitations pluvieuses courtes mais intenses (Wikipedia).

Régime de feux : il est caractérisé par la combinaison de paramètres comme la fréquence, la saison, l'intensité ou la dimension de la perturbation.

Rémanent : n.m., sous-produits non marchands résultant de l'exploitation d'un arbre, comprenant tous les menus bois de moins de 7 cm de diamètre (branches, cimes…) en général laissés sur le parterre des coupes sauf récolte pour le bois-énergie (d'après ARMEF, CTBA, 1994).

Ripisylve : n.f., forêt riveraine des cours d'eau. Au sens littéral « bois de berge », il s'agit du premier rideau riverain d'arbres ou d'arbustes que l'on rencontre à partir du lit de la rivière. Sa composition végétale, déterminée par son alimentation hydrique, est directement liée à la dynamique de la rivière (crues, niveaux d'étiage).

Révolution n.m, nombre planifié d'années séparant la formation ou la régénération d'un peuplement forestier et le moment où ce même peuplement est abattu aux fins de récolte finale. L'âge du peuplement au moment de la récolte est qualifié d'âge d'exploitabilité s'il coïncide avec la révolution, et d'âge d'exploitation s'il en diffère. Dans le cas des systèmes de récolte sélective, on emploie parfois les expressions âge moyen d'exploitabilité ou âge moyen d'exploitation au lieu de l'expression âge d'exploitabilité (http://dictionnaire.sensagent.com/glossaire+de+sylviculture/fr-fr/).

Rotation : n.f., délai séparant deux passages successifs d'une coupe de même nature (régénération, éclaircie, jardinage, taillis) sur la même unité de gestion (Gosselin *et al*., 2006).

Rudérales : adj., désigne des organismes croissant dans des sites fortement modifiés par l'homme : décombres, terrains vagues,…

S

Saproxylique : se dit d'un organisme qui dépend, au cours de son cycle de vie, du bois mort ou moribond – debout ou à terre- ou des champignons du bois, ou de la présence d'autres organismes directement associés à ces substrats (M.C.D. Speight, Les invertébrés saproxyliques et leur protection, de l'Europe, Strasbourg, 1989).

Saproxylophage : adj., se dit d'un organisme qui se nourrit de tissus ligneux décomposés.

Services écosystémiques : n.m., les écosystèmes rendent de nombreux services dits services écologiques ou services écosystémiques qu'on classe parfois comme bien commun et/ou bien public. Ce sont des processus naturels utiles et souvent nécessaires aux populations humaines sans qu'elles aient à agir pour les obtenir : Ce sont par exemple la production de l'oxygène de l'air, l'épuration naturelle des eaux, les ressources qui nourrissent les animaux domestiqués ou chassés, l'activité des pollinisateurs des cultures, des organismes qui produisent et entretiennent l'humus, la séquestration naturelle de carbone dans le bois, les sols, les mers et le sous-sol, ou encore le recyclage permanent des nutriments et de la nécromasse par les animaux, champignons, bactéries. On y inclut parfois les aménités gratuitement offerte par la nature comme la beauté des paysages (Wikipedia).

Sous-solage : n.m., technique agricole permettant de redonner de la perméabilité au sol en améliorant le drainage naturel et la circulation capillaire horizontale de l'eau sur les sols labourés. Il permet de lutter contre les semelles de labour (lissage et compactage du fond du labour, exacerbé par un travail en condition trop humide ou par une charrue usée). Le sous-solage est aussi utilisé par les sylviculteurs qui veulent replanter des arbres sur des parcelles ayant été longtemps labourées. Ils permettent aux racines de passer la barrière de la semelle de labour (Wikipedia).

Soutrage : n.m., pratique ancestrale consistant à enlever la litière morte de la forêt pour s'en servir comme amendement agricole ou litière pour les animaux (La forêt, Pierre Mardaga, éditeur).

Sur-bille : n.f., voir bille

T

Taxon, ou taxum : n.m. , unité systématique telle qu'une famille, un genre, une espèce (Gosselin *et al*., 2006).

U

V

Vidange : n.f., opération de débusquage et/ou débardage permettant de transférer les bois de la zone d'abattage à un lieu accessible aux camions.

W

X

Xylophage : se dit d'un organisme qui se nourrit de tissus ligneux

Z

Sources : elles sont indiquées pour un certain nombre de termes. A noter deux glossaires qui ont fourni une partie importante des définitions (exploitation forestière, biodiversité) :

ARMEF, CTBA, 1994. Lexique du Manuel d'exploitation forestière (ARMEF-CTBA), 1994, Tomes I et II)

Gosselin F., Valadon A., Berges L, Dumas Y, Gosselin F., Balzinger C., Archaux F., 2006. Prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière : état des connaissances et recommandations. Convention ONF-Cemagref 2006. Action 5 Biodiversité et gestion forestière. Appui à l'actualisation des directives sur la prise en compte de la biodiversité dans l'aménagement et la gestion forestière. Cemagref, Nogent-sur-Vernisson, 161 p.

ANNEXE 4
SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

CBPS : Code des Bonnes Pratiques forestières locales

CDB : Convention sur la Diversité Biologique

Cemagref : Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement.

CFT : Charte Forestière de Territoires

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière

DFCI : Défense des Forêts Contre les Incendies

DPSIR : Driving forces, Pressures, State, Impacts, Responses (Agence européenne de l'environnement)

DRA : Directives Régionales d'Aménagement (forêts publiques)

FAO : Food and Agriculture Organization

FCBA : Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement

FEADER: Fonds Européen Agricole pour le DEveloppement Rural

FNCOFOR : Fédération Nationale des Communes Forestières

FNE : France Nature Environnement

FPF : Forestiers Privés de France

IGN : Institut Géographique Gational

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

MCPFE Ministeriel Conference on the Protection of Forests in Europe, ou CMPFE, Conférence Ministérielle pour la Protection des Forêts en Europe

ONF : Office National des Norêts

ORF : Orientations Régionales Forestières

PAF : Plan d'Action Forêt de la SNB

PAT : Plans d'Ppprovisionnement Territoriaux

PDM : Plan de Développement de Massif

PER : Plans d'Exposition au Risque

PLGE : Plan Local de Gestion de l'Espace

PLU : Plan Local d'Urbanisme

PNR : Parc Naturel Régional

RENECOFOR : Réseau National de suivi à long terme des ECOsystèmes FORestiers (ONF)

RTG : Règlement Type de Gestion

RTM : Restauration des Terrains en Montagne

SCEES : Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques (ministère de l'agriculture)

SCOT : Schéma de COhérence Territoriale

SIEG : Série d'Intérêt Ecologique Général

SIG : Système d'Information Géographique

SNB : Stratégie Nationale pour la Biodiversité

SRGS : Schémas Régionaux de Gestion Sylvicole (forêts privées)

SRA : Schémas Régionaux d'Aménagement (forêts privées)

SRADDT : Schéma Régional d'Aménagement et de Développement du Territoire

Teruti : Enquête sur l'UTIlisation du TERritoire (SCEES)

TVB : trame Verte et Bleue

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

USDA: United States Department of Agriculture

Gratuit

Éditeurs : MEEDDM - ECOFOR

ISBN : 978-2-914770-00-2