

La perception du changement climatique par les forestiers de montagne

Etude menée dans le cadre du projet 



Dominante d'approfondissement Gestion Forestière

Mémoire présenté par Théophile BERTRAND

Stage effectué du 26/02/18 au 24/08/18

A la Direction Territoriale Auvergne-Rhône-Alpes de l'Office National des Forêts

143 rue Pierre Corneille 69003 LYON

Maîtres de stages : Brigitte PILARD-LANDEAU (DG) et François-Xavier NICOT (DT AURA)

Enseignants référents : Max BRUCIAMACCHIE (AgroParisTech-ENGREF) et Grégoire BROSSARD (ISARA-Lyon)

Soutenu le lundi 17 septembre 2018 à la Tour du Pin (Isère)

Année 2017 / 2018

Sources des photographies

Illustration de couverture : Vue de Lanslebourg-Mont-Cenis dans la vallée de la Maurienne en Savoie (Payen-Bacquet, 2015). La commune, située dans le parc national de la Vanoise, couvre un gradient altitudinal allant de 1356 à 3612 mètres.

Par la suite, les illustrations et les figures fournies par l'auteur du rapport sont référencées de la manière suivante : (Bertrand, 2018).



La perception du changement climatique par les forestiers de montagne

Etude menée dans le cadre du projet 



Résumé

Ce mémoire de fin d'études s'intègre dans le projet MACCLIF « Prise en compte des Mesures d'Adaptation au Changement CLImatique par les gestionnaires Forestiers », coordonné par le GIP ECOFOR avec le soutien financier du RMT AFORCE. Il vise à étudier la perception du changement climatique par les gestionnaires forestiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes, travaillant principalement en zone de montagne.

Pour ce faire, une enquête qualitative basée sur quarante entretiens semi-directifs a été conduite auprès de cinquante gestionnaires forestiers de l'ensemble de la région, tant en forêt publique (personnels de l'Office national des forêts) que privée (salariés de coopératives forestières, experts forestiers, gestionnaires forestiers indépendants, etc.). Celle-ci a été accompagnée d'une étude bibliographique et d'une analyse des différents documents de gestion durable en vigueur en Auvergne-Rhône-Alpes.

Les résultats ont permis de mettre en évidence les différentes stratégies d'adaptation sylvicoles mises en œuvre, mais également d'identifier des freins à l'adaptation. En outre, les processus décisionnels des forestiers ont été expliqués, et des profils de gestionnaires ont été caractérisés. Si les gestionnaires semblent globalement assez familiers du changement climatique, l'intégration effective de l'enjeu climatique dans la sylviculture est souvent difficile. Enfin, des pistes de réflexion ont été proposées afin d'améliorer la prise en compte du changement climatique dans la gestion forestière.

This final thesis is part of the MACCLIF project "Consideration of adaptation measures to climate change by forest managers", coordinated by GIP ECOFOR with the financial support of RMT AFORCE. It aims to study the perception of climate change by forest managers in the Auvergne-Rhône-Alpes region, working mainly in mountain areas.

To do this, a qualitative survey based on forty semi-structured interviews was conducted with fifty forest managers throughout the region, both in public forests (National Forests Office staff) and private forests (forestry cooperative employees, forest experts, independent forest managers, etc.). This was accompanied by a bibliographic study and by an analysis of the various sustainable management documents in force in Auvergne-Rhône-Alpes.

The results underlined the different silvicultural adaptation strategies implemented, and also identified obstacles to adaptation. Furthermore, the decision processes of foresters were explained, and manager profiles were characterized. Even though managers seem to be quite familiar with climate change, the effective integration of climate issue into silviculture is often difficult. Finally, some areas for reflection have been proposed to improve consideration of climate change in forest management.



Engagement de non plagiat

① Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux :

Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive.

Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

② Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sûr d'en citer la source.

③ Sanction : En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

④ Engagement :

Je soussigné Théophile BERTRAND

Reconnaît avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A Lyon, le 26 février 2018

Théophile BERTRAND

Remerciements

Que soient remerciées ici toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce projet : personnels de l'Office national des forêts, du Centre national de la propriété forestière, du Groupement d'intérêt public "Ecosystèmes forestiers", du Réseau mixte technologique "Adaptation des forêts au changement climatique".

De même, que les gestionnaires rencontrés au sein des différentes structures forestières soient également salués pour la cordialité de leur accueil et leur professionnalisme.

D'autre part, je tiens à remercier mes deux écoles, l'ISARA-Lyon et AgroParisTech-ENGREF, pour leur accompagnement tout au long de ce mémoire et des projets précédents.

Enfin, je suis reconnaissant envers tous ceux qui ont contribué à la construction de mon expérience forestière, que ce soit dans le cadre familial, personnel, scolaire ou professionnel.

Avertissement

Ce mémoire de fin d'études, qui s'est déroulé pendant six mois au sein de l'Office National des Forêts, fait partie intégrante de la dominante d'approfondissement « Gestion Forestière » d'AgroParisTech-ENGREF. Cette dernière s'intègre plus largement dans une spécialisation de deux ans en gestion forestière dans le cadre du cursus ingénieur de l'ISARA-Lyon.

Le présent document s'accompagne d'un document ressource de quelques pages, proposant une vision synthétique du mémoire.

Table des matières

Table des figures	4
Table des tableaux	7
Index alphabétique des sigles	8
Avant-propos	9
Introduction	10
1. Contexte	11
1.1. Multifonctionnalité de la gestion forestière : le maintien des prestations forestières à l'épreuve du changement climatique	11
1.2. La forêt et ses gestionnaires en Auvergne-Rhône-Alpes	12
1.3. Le projet MACCLIF	13
1.4. Objectifs du mémoire	14
2. Etat des connaissances scientifiques en matière d'adaptation de la sylviculture au changement climatique	15
2.1. Forêts et changement climatique	15
2.1.1. Les forêts, écosystèmes en perpétuelle évolution	15
2.1.2. Un climat changeant	17
2.1.3. Effets du changement climatique sur les forêts	20
2.1.3.1. Productivité	20
2.1.3.2. Phénologie	22
2.1.3.3. Distribution des essences	22
2.1.3.4. Effets sanitaires	26
2.1.3.4.1. Santé des peuplements	26
2.1.3.4.2. Exemple du bostryche typographe <i>Ips typographus</i>	28
2.2. Adaptation de la gestion forestière au changement climatique	30
2.2.1. Concepts clefs	30
2.2.2. Mesures techniques d'adaptation	31
2.2.2.1. Planification et analyse économique	31
2.2.2.2. Diversité des essences	32
2.2.2.3. Diversité génétique	33

2.2.2.4. Diversité structurelle	34
2.2.2.5. Sylviculture dynamique	35
2.2.2.6. Choix des critères d'exploitabilité	35
2.2.6. La gestion forestière adaptative en réponse au changement climatique	37
3. Enquête auprès des gestionnaires forestiers publics et privés des massifs montagneux de la région Auvergne-Rhône-Alpes	39
3.1. Les forêts de montagne en Auvergne-Rhône-Alpes	39
3.1.1. Massif alpin	39
3.1.2. Massif central	39
3.1.3. Massif jurassien	40
3.2. Méthodologie de l'enquête	40
3.3. Echantillonnage	40
3.4. Préparation et déroulement des rencontres de terrain	43
3.5. Etude des documents d'aménagement	43
3.6. Traitement et analyse des données recueillies	45
4. Etude de la perception du changement climatique par les gestionnaires forestiers en zone de montagne	46
4.1. Résultats généraux	46
4.2. Effets observés et attendus du changement climatique sur les forêts	48
4.3. Typologie des mesures d'adaptation sylvicoles	52
4.4. Freins de mise en œuvre	54
4.5. Outils à développer	55
4.6. Profils de gestionnaires forestiers selon la perception du changement climatique	56
4.7. Diagnostic global et propositions d'amélioration	58
Conclusion : Un défi majeur pour la gestion forestière	62
Sources bibliographiques	64
Personnes rencontrées	68
Glossaire	69
Table des annexes	74
Annexes	77

Table des figures

Par ordre d'apparition dans le document

Corps du texte

Figure 4. : Des taux de boisement élevés dans les massifs montagneux d'Auvergne-Rhône-Alpes (Centre national de la propriété forestière, 2018)	12
Figure 6. : Exemples de différents stress et perturbations affectant les forêts, accompagnés de leur évolution attendue à l'avenir, en comparaison avec les niveaux de l'époque préindustrielle (modifié d'après Trumbore et al., 2015)	16
Figure 10. : Evolution des températures moyennes annuelles entre 1900 et 2017 dans les Alpes françaises (Observatoire savoyard du changement climatique de l'Agence alpine des territoires, 2018)	18
Figure 11. : Variation de la température moyenne à la surface du globe aux horizons 2100 et 2300 (par rapport à 1986-2005) (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014)	19
Figure 16. : Evolution de l'accroissement en surface terrière du sapin pectiné dans le massif du Jura entre 1865 et 1988 (Becker et al., 1994)	21
Figure 20. : Représentation schématique du déplacement des aires de répartition potentielles (flèches) dans un écogramme (Pluess et al., 2016)	23
Figure 24. : Répartition de 7 groupes chorologiques* d'essences sous le climat actuel et futur (Badeau et al., 2004)	26
Figure 25. : Schéma des interrelations des insectes phytophages avec leurs hôtes et leurs antagonistes (Legay et al., 2007)	27
Figure 32. Prédispositions actuelles et futures des forêts des Alpes du Nord françaises et des montagnes de l'Ain aux attaques d' <i>Ips typographus</i> selon la composition du peuplement et le scénario climatique (Troccaz, 2014)	29
Figure 33. : Représentation schématique de l'évolution de la santé des écosystèmes forestiers selon la résilience et le niveau de stress ou de perturbation (modifié d'après Trumbore et al., 2015)	31
Figure 37. : Représentation schématique de l'effet de la composition en essences sur le maintien des prestations forestières (Pluess et al., 2016)	33
Figure 41. Moyens d'adaptation de la forêt aux changements climatiques, déclinés en objectifs, axes stratégiques, principes et mesures sylvicoles (Pluess et al., 2016)	37
Figure 45. Localisation géographique des gestionnaires forestiers rencontrés lors de l'enquête (Bertrand, 2018)	42
Figure 50. : Représentations graphiques des degrés de familiarité (colonne 1) et d'implication (colonne 2) des gestionnaires interrogés, en fonction de leur statut (ligne 1) et de leur structure (ligne 2) (Bertrand, 2018)	47
Figure 51. : Représentations graphiques des degrés de familiarité et d'implication des gestionnaires interrogés, en fonction de leur(s) massif(s) d'activité (Bertrand, 2018)	48
Figure 53. : Carte schématique et simplifiée de vulnérabilité au changement climatique, établie d'après les expériences des gestionnaires de la région (Bertrand, 2018)	51
Figure 54. Typologie des mesures d'adaptation sylvicoles rencontrées (Bertrand, 2018)	53

Figure 56. Schéma des différents freins à l'adaptation au changement climatique décrits par les gestionnaires forestiers d'Auvergne-Rhône-Alpes (Bertrand, 2018)	55
Figure 58. : Profils de forestiers selon leur position face au changement climatique (Bertrand, 2018)	57
Figure 60. : Schéma récapitulatif du processus d'adaptation de la sylviculture aux changements climatiques par les gestionnaires forestiers (Bertrand, 2018)	60
Figure 61. : Schémas illustrant la probabilité de perte d'une partie des prestations forestières délivrées par une forêt selon le scénario climatique, la vulnérabilité de l'écosystème et le niveau d'adaptation de la sylviculture au changement climatique (Bertrand, 2018)	61

Annexes

Figure 1. Taux de boisement des différents départements de France métropolitaine, avec détail des dix départements les plus boisés, et localisation des massifs montagneux français (Sémhur, 2015; Institut de l'information géographique et forestière, 2017)	77
Figure 2. Part de la surface forestière privée pour la France métropolitaine et pour chaque région administrative (Institut de l'information géographique et forestière, 2017)	79
Figure 3. : Volume de bois sur pied à l'hectare par région administrative (m ³ de bois fort tige / ha) (Institut de l'information géographique et forestière, 2017)	80
Figure 5. : Exemple de photographies illustrant l'évolution du couvert forestier dans les Alpes depuis le XIX ^e siècle (Bebi et al., 2017)	81
Figure 7. : Temps de recouvrement de différentes fonctions après une perturbation (modifié d'après Trumbore et al., 2015)	82
Figure 8. : Massif forestier situé en Alberta à l'ouest du Canada, dévasté par le scolyte <i>Dendroctonus ponderosae</i> (en français « le dendroctone du pin ponderosa », en anglais « the mountain pine beetle ») (Environmental energetics, 2014)	82
Figure 9. : Émissions anthropiques mondiales de CO ₂ provenant de la foresterie et d'autres utilisations des terres, ainsi que de l'utilisation des combustibles fossiles, de la production de ciment et de la combustion en torchère (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014)	83
Figure 12. : Nombre de jours d'été présentant un danger d'incendie « extrême » en Suisse sur deux périodes de référence, 1981-2010 et 2070-2099 (Pluess et al., 2016)	84
Figure 13. : Evolution à très long terme du taux de CO ₂ atmosphérique, de la température de surface du globe, et du niveau moyen de la mer selon différents scénarios climatiques (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014)	85
Figure 14. : Comparaison des températures moyennes en surface du globe, des précipitations moyennes et des niveaux moyens de la mer entre les périodes 1986-2005 et 2081-2100, en tous points du globe et selon différents scénarios climatiques (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014)	86
Figure 15. : Croissances radiales d'essences forestières de l'Est de la France entre 1850 et 1990 (Becker et al., 1994)	88
Figure 17. : Evolutions possibles de la production des forêts françaises au XXI ^e siècle (modifié d'après Roman-Amat, 2007)	89
Figure 18. : Représentation schématique de la niche écologique (ou réalisée) d'une essence (Pluess et al., 2016).	89

Figure 19. : Représentation schématique du déplacement de l'aire de répartition potentielle d'une essence (Pluess et al., 2016)	90
Figure 21. : Distribution de la hêtraie et de la chênaie verte en Europe, et localisation des zones d'étude situées à différentes altitudes du massif du Montseny en Catalogne (Peñuelas et al., 2007)	90
Figure 22. : Photographies illustrant la remontée altitudinale de la hêtraie et la modification des aires de répartition des essences forestières dans le massif du Monsteny lors du siècle dernier (Peñuelas et al., 2007)	91
Figure 23. (a., b. et c.) : Résultats de travaux de modélisation des aires de répartition actuelles et futures de différentes essences en France et en Suisse (Badeau et al., 2004; Piedallu et al., 2009; Pluess et al., 2016)	92
Fig 26. (a., b. et c.) : Expansion de la chenille processionnaire du pin en France depuis la période 1969-1979 (Institut national de recherche agronomique, 2013)	96
Figure 27. : Symptômes et dégâts du <i>Sphaeropsis</i> des pins <i>Diplodia pinea</i> (Boutte, 2018)	97
Figure 28. : Evolution attendue sur le Parc Naturel Régional du Haut-Jura de plusieurs paramètres climatiques et de la vulnérabilité de la forêt au changement climatique (Joly, 2015)	98
Figure 29. Relation entre le nombre moyen de générations d' <i>Ips typographus</i> et l'altitude dans les conditions climatiques actuelles et futures, et projections à l'échelle de la Suisse (Pluess et al., 2016)	102
Figure 30. : Décalage moyen de l'envol des scolytes hibernants en fonction de l'évolution attendue des facteurs climatiques (Pluess et al., 2016)	103
Figure 31. : Prédilection des peuplements aux infestations de scolytes dans les conditions climatiques actuelles et pour trois périodes futures, selon trois scénarios climatiques (Pluess et al., 2016)	104
Figure 34. (a., b. et c.) : Quelques exemples de diversification en essences par voies naturelle et artificielle (Bertrand, 2018)	105
Figure 35. : Extrait des recommandations sylvicoles concernant les essences forestières dans un contexte de changement climatique, éditées par le service forestier du canton de Berne (Suisse) pour les propriétaires forestiers (Office des forêts du canton de Berne, 2013b)	107
Figure 36. : Extrait de l'additif au guide des stations forestières des Alpes du Nord et des montagnes de l'Ain (Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes, 2017)	110
Figure 38. : Exemple d'évolution du risque et du rendement financier en fonction de la composition (modifié d'après Knoke et al., 2008)	112
Figure 39. : Exemples de régénération naturelle sur une longue durée en forêt jardinée de montagne, qui permet à beaucoup d'arbres de transmettre leur patrimoine génétique (Bastien et Gauberville, 2011; Pluess et al., 2016)	113
Figure 40. : Exemple de futaie jardinée mélangée en forêt privée, à 800 mètres d'altitude sur la commune de Cervières dans le Haut-Foréz (Bertrand, 2018)	114
Figure 42. : Les 25 sylvoécotés et les 22 massifs forestiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)	115
Figure 43. : Matrice SWOT de la filière forestière en région Auvergne-Rhône-Alpes (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)	116
Figure 44. : Communes actuellement exposées au risque incendie en Auvergne-Rhône-Alpes (Observatoire régional des effets du changement climatique, 2017)	117
Figure 46. : Guide d'entretien établi pour l'enquête auprès des gestionnaires forestiers (Bertrand, 2018)	118

Figure 47. : Hiérarchisation des documents d'orientation et d'aménagement des forêts à l'échelle régionale (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)	120
Figure 48. : Extrait du tableau récapitulatif des comptes rendus d'entretiens (colonnes et choix des listes déroulantes)	121
Figure 49. a., b., c., d. et e. : Représentations graphiques des degrés de familiarité, de connaissance, de priorité, d'implication et d'inquiétude des gestionnaires interrogés, en fonction de leur statut et de leur structure (Bertrand, 2018)	122
Figure 52. : Illustrations de quelques situations questionnant les gestionnaires, aux causes multiples et incertaines (station, conséquences de la sylviculture antérieure...). Quel impact attribuer au changement climatique ? (Bertrand, 2018)	124
Figure 55. Exemple de diverses mesures sylvicoles adoptées par les gestionnaires forestiers de la région et pouvant être reliées au moins en partie au changement climatique (Bertrand, 2018)	126
Figure 57. : Schéma des différents outils permettant d'améliorer la prise en compte du changement climatique selon les gestionnaires forestiers d'Auvergne-Rhône-Alpes (Bertrand, 2018)	128
Figure 59. : Classement des entretiens conduits dans les différents profils de gestionnaires identifiés en fonction de leur degré d'adaptation au changement climatique (Bertrand, 2018)	130

Table des tableaux

Par ordre d'apparition dans le document

Corps du texte

Tableau 2. : Récapitulatif et caractéristiques de l'échantillon de gestionnaires forestiers interrogés (Bertrand, 2018)	41
Tableau 3. : Date d'établissement ou de dernière révision des documents régionaux d'orientation en forêt publique et privée (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)	43

Annexes

Tableau 1. : Evolution de l'accroissement annuel en surface terrière d'arbres dominants observée dans diverses études en France (Dhôte et al., 2000)	87
Tableau 4. Des points de vue différents pour chaque principe d'adaptation (Bertrand, 2018)	129

Index alphabétique des sigles

Sont repris ici les sigles repérés par le symbole « ° » lors de leur première apparition dans le corps du texte.

- **ANATEF** : Association nationale des techniciens et gestionnaires forestiers indépendants
- **BASI** : Bénéfice actualisé en séquence infinie (détail disponible dans le glossaire)
- **CBPS** : Code de bonnes pratiques sylvicoles
- **CCNUCC** : Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
- **CETEF** : Centre d'études techniques et économiques forestières
- **CNPF-IDF** : Centre national de la propriété forestière – Institut pour le développement forestier
- **CO** : Correspondant-observateur du département de la santé des forêts
- **CRPF** : Centre régional de la propriété forestière
- **DFCI** : Défense des forêts contre les incendies
- **DRA** : Directive régionale d'aménagement
- **DSF** : Département de la santé des forêts
- **Dryade** : Projet « Vulnérabilité des forêts face aux changements climatiques : de l'arbre aux aires bioclimatiques »
- **EFF** : Experts forestiers de France
- **FORRISK** : Projet « Network for innovation in silvicultures and integrated systems for forest risk management »
- **GES** : Gaz à effet de serre
- **GFP** : Gestionnaire forestier professionnel
- **GIEC** : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
- **GIP ECOFOR** : Groupement d'intérêt public « Ecosystèmes Forestiers »
- **GRECO** : Grande région écologique
- **IPCC** : Intergovernmental panel on climate change
- **IRSTEA** : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
- **LIDAR** : Light / laser detection and ranging (détection et estimation de la distance par la lumière / par laser) (détail disponible dans le glossaire)
- **MACCLIF** : Projet « Prise en compte des mesures d'adaptation au changement climatique par les gestionnaires forestiers »
- **ONAG** : Orientations nationales d'aménagement et de gestion
- **ONF** : Office national des forêts
- **ORF** : Orientations régionales forestières
- **PRFB** : Programme régional de la forêt et du bois
- **PSG** : Plan simple de gestion
- **RCP** : Representative concentration pathway (profil représentatif d'évolution de concentration)
- **REDD** : Reducing emissions from deforestation and forest degradation

- **RENECOFOR** : Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers
- **RMT AFORCE** : Réseau mixte technologique « Adaptation des forêts au changement climatique »
- **RTG** : Règlement type de gestion
- **RTM** : Restauration des terrains en montagne
- **RUT** : Responsable d'unité territoriale (ONF)
- **SER** : Sylvoécocorégion
- **SFCDC** : Société forestière de la caisse des dépôts et consignations
- **SIG** : Système d'information géographique
- **SRA** : Schéma régional d'aménagement
- **SRGS** : Schéma régional de gestion sylvicole
- **SWOT** : Strengths ; weaknesses ; opportunities ; threats (forces ; faiblesses ; opportunités ; menaces) (détail disponible dans le glossaire)
- **TFT** : Technicien forestier territorial (ONF)
- **UNFCCC** : United Nations framework convention on climate change

Avant-propos

Les sigles sont détaillés dans un index situé à la page précédente. Ils sont repérés par le symbole « ° » lors de leur première apparition dans le corps du texte afin de permettre au lecteur de les identifier aisément.

De même, certains termes spécifiques ou techniques sont repris et expliqués dans un glossaire situé à la fin du rapport. Ils sont repérés par le symbole « * » lors de leur première apparition dans le corps du texte, afin de permettre au lecteur de les identifier et de se reporter, s'il le souhaite, à leur définition dans le glossaire.

Deux remarques préalables sont également à porter à la connaissance du lecteur ;

Tout d'abord, de par la concision requise par ce mémoire, on s'attachera principalement à traiter des questions forestières liées à l'adaptation au changement climatique. Les autres défis et enjeux de la filière forêt-bois (e.g. équilibre sylvo-cynégétique, attentes du marché du bois, problématiques foncières, etc.) pourront être évoqués de manière sporadique mais ne seront pas développés ici. De même, la thématique de l'atténuation du changement climatique sera définie mais ne sera pas traitée puisque le projet porte sur les stratégies d'adaptation au changement et non sur la réduction de ce dernier. Sur ce sujet précis, le lecteur pourra se reporter au rapport « Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? » publié en novembre dernier par l'Institut national de recherche agronomique et l'Institut national de l'information géographique et forestière.

D'autre part, plusieurs études et travaux seront présentés dans ce rapport. Dans un souci d'objectivité, on cherchera à présenter les résultats issus de divers projets de recherche. Les travaux menés sur des questions climatiques et forestières s'appuyant souvent sur des modèles (climatiques, de croissance, etc.), il est nécessaire de rappeler que les paramètres intégrés aux calculs sont nombreux et sources d'incertitude. C'est pourquoi chaque résultat utilisé sera décrit et on veillera à préciser les modèles, hypothèses et scénarios sur lesquels reposent les conclusions évoquées. De même, on s'attachera à proposer une diversité de travaux pour mettre en évidence d'éventuelles tendances communes, afin de tenter de dépasser les incertitudes liées aux données initiales, aux procédés de modélisation, et à la complexité du climat et des phénomènes biologiques invoqués.

Introduction

La question du changement climatique* prend une place de plus en plus importante dans la gestion des écosystèmes. La modification rapide des conditions de milieu entraîne en effet des conséquences nombreuses sur leurs structures et leurs fonctions. Les écosystèmes forestiers ne sont pas épargnés par les dérèglements climatiques. La sylviculture, science de long terme qui vise à entretenir et exploiter les forêts durablement, s'inscrit dans une logique de mise en valeur et de pérennisation des peuplements, et se doit par conséquent d'intégrer les paramètres climatiques de demain.

Alors que les prévisions des scientifiques annoncent des évolutions inédites des régimes de perturbations, des températures, des événements climatiques exceptionnels, les structures forestières cherchent à améliorer les connaissances permettant d'orienter la gestion forestière dans un contexte climatique incertain. Plusieurs initiatives (e.g. Dryade°, FORRISK°, Forum Forêt, Rendez-Vous techniques) ont ainsi déjà eu lieu sur le sujet.

Le projet MACCLIF° « Prise en compte des Mesures d'Adaptation au Changement CLImatique par les gestionnaires Forestiers » présente un objectif distinct : réaliser un état des lieux reproductible de la prise en compte du changement climatique dans la gestion forestière à l'échelle nationale. L'études d'informations recueillies par l'étude de documents d'orientation et d'aménagement, la conduite d'enquêtes et la diffusion de questionnaires doit permettre de préciser la situation actuelle, mais également de proposer une typologie des mesures d'adaptation.

La présente étude recherche plus précisément à élaborer un panorama de l'intégration des changements climatiques dans la sylviculture mise en œuvre par les forestiers en région Auvergne-Rhône-Alpes. Nous répondrons ainsi à la problématique suivante : « Les forestiers d'Auvergne-Rhône-Alpes adaptent-ils leur gestion au changement climatique ? ».

Après avoir rappelé quelques éléments contextuels, nous décrivons les diverses composantes des changements climatiques et nous déclinons les différentes stratégies d'adaptation sylvicoles issues des connaissances scientifiques et techniques actuelles. En second lieu, nous développerons la méthodologie de l'enquête qualitative conduite auprès des gestionnaires, puis nous présenterons les résultats obtenus avant de les analyser et de les discuter au regard de toutes les données dont nous disposons.

1. Contexte

1.1. Multifonctionnalité de la gestion forestière : le maintien des prestations forestières à l'épreuve du changement climatique

Les forêts françaises couvrent 16,9 millions d'hectares en métropole et 8,7 millions d'hectares dans les départements d'outre-mer (Institut de l'information géographique et forestière, 2017; Office national des forêts, 2018). En métropole, elle occupe ainsi 31 % de notre territoire, avec de fortes disparités selon les départements, et un taux de boisement important dans les massifs montagneux* comme l'illustre la *figure 1*. (cf *Annexes*). Si la forêt est majoritairement feuillue (67 % de la superficie et 64 % du volume sur pied) et que le chêne constitue l'essence la plus représentée (40 % de la superficie), la forêt française n'en demeure pas moins extrêmement diversifiée (e.g. composition, structure, volume sur pied, production biologique, faune, flore, etc.), comme nous le soulignerons plus loin en caractérisant la région forestière Auvergne-Rhône-Alpes (Institut de l'information géographique et forestière, 2017; Office national des forêts, 2018).

La forêt est détenue à 75 % par des propriétaires privés (12,6 millions d'hectares), à 9 % par l'Etat (1,5 millions d'hectares), et à 16 % par les communes et par d'autres collectivités locales et établissements publics (2,7 millions d'hectares), distribution elle aussi très variable selon les régions comme le décrit la *figure 2*. (cf *Annexes*) (Institut de l'information géographique et forestière, 2017).

A ces forêts sont associées de nombreuses demandes qui peuvent être regroupées en trois fonctions essentielles, qui se font échos des trois piliers du développement durable : l'économie, l'environnement et le social. En termes économiques, c'est-à-dire de production, la ressource en bois est estimée à 2,7 milliards de m³ sur pied (volume bois fort tige*), composée notamment de chêne (42 % du volume des feuillus) et de résineux blancs que sont l'épicéa et le sapin (43 % du volume des conifères). Selon les différentes estimations, l'accroissement annuel est estimé à 90 millions de m³ de bois fort tige, dont la moitié environ est prélevée lors de la récolte (Centre national de la propriété forestière et Forestiers privés de France, 2015; Institut de l'information géographique et forestière, 2017; Institut technologique forêt cellulose bois-construction ameublement, 2017). Cette récolte partielle de l'accroissement permet d'alimenter l'autoconsommation de bois et surtout la filière forêt-bois en bois d'œuvre, en bois d'industrie et en bois énergie, laquelle génère 440 000 emplois en France et 60 milliards d'euros de chiffre d'affaires (Centre national de la propriété forestière et Forestiers privés de France, 2015).

En outre, même si le bois représente généralement une part importante des revenus liés à la forêt, les produits forestiers non ligneux* engendrent parfois des recettes non négligeables (bien que difficiles à chiffrer), à l'image de la chasse, des truffes, du liège, du miel, des champignons, des plantes médicinales et aromatiques, des baies ou encore des semences forestières (Berger et Peyron, 2005; Centre national de la propriété forestière et Forestiers privés de France, 2015). De surcroît, les forêts produisent d'autres services écosystémiques* essentiels, eux aussi complexes à évaluer : protection de la qualité de l'eau et accueil de zones de captages, maintien des sols et lutte contre l'érosion, préservation de la biodiversité, protection contre les risques naturels (e.g. avalanches, chutes de blocs), accueil d'activités récréatives et touristiques, maintien du paysage, atténuation* du changement climatique par séquestration du carbone (Berger et Peyron, 2005; Courbaud et al., 2010; Centre national de la propriété forestière et Forestiers privés de France, 2015; Roux et al., 2017; Office national des forêts, 2018)...

Ainsi, les forêts produisent de nombreux biens et services que le forestier cherche à développer et à pérenniser pour répondre aux besoins exprimés par la société. Si l'objet de cette étude n'est pas de décrire en profondeur l'ensemble des prestations économiques, environnementales et sociales fournies par les écosystèmes forestiers, il est nécessaire de les rappeler puisque leur maintien sous un climat changeant pourrait être remis en question.

Nous y reviendrons plus précisément en introduction de l'état des lieux des connaissances scientifiques et techniques en la matière (cf partie 2.1.1.), où nous évoquerons les effets – drastiques pour certains – de ces changements déjà observés sur les forêts mais aussi attendus pour les décennies et pour les siècles à venir. C'est ainsi que le changement climatique, dont les différentes composantes seront décrites et expliquées (cf partie 2.1.), en modifiant rapidement et fortement les conditions de milieu, appelle à reconsidérer largement les méthodes et pratiques de planification forestière, de monitoring, de conduite d'itinéraires sylvicoles, et à développer des stratégies d'atténuation, d'adaptation* ainsi que des modes de gestion adaptative (e.g. Riou-Nivert et Moussu, 2007; Roman-Amat, 2007; Lindner et al., 2010; Temperli et al., 2012; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014; Trumbore et al., 2015; Pluess et al., 2016; Roux et al., 2017, etc.). Car l'enjeu pour les forestiers est bel et bien là : adapter nos pratiques de gestion pour maintenir – sans doute d'une manière différente de jadis – les diverses prestations forestières dans un environnement changeant et incertain. Nous le verrons au cours de cette étude, le défi est d'envergure, et il faut y répondre au plus vite.

1.2. La forêt et ses gestionnaires en Auvergne-Rhône-Alpes

La région Auvergne-Rhône-Alpes est la première région française en termes de volume de bois sur pied avec une ressource évaluée à 487 millions de m³ (bois fort tige). Ramené à l'hectare, le volume de bois sur pied est d'environ 213 m³/ha, indiquant une forte capitalisation de la ressource par rapport à la majorité des autres régions, comme l'illustre la *figure 3*. (cf *Annexes*). Cela peut s'expliquer par l'exploitabilité* difficile des bois, les 2/3 des forêts de la région étant situées en zone de montagne* (cf *figure 4*. ci-après) et 56 % des volumes étant localisés dans des zones d'exploitation difficile ou très difficile (Institut de l'information géographique et forestière, 2017; FIBOIS Auvergne-Rhône-Alpes, 2018; Centre national de la propriété forestière, 2018).

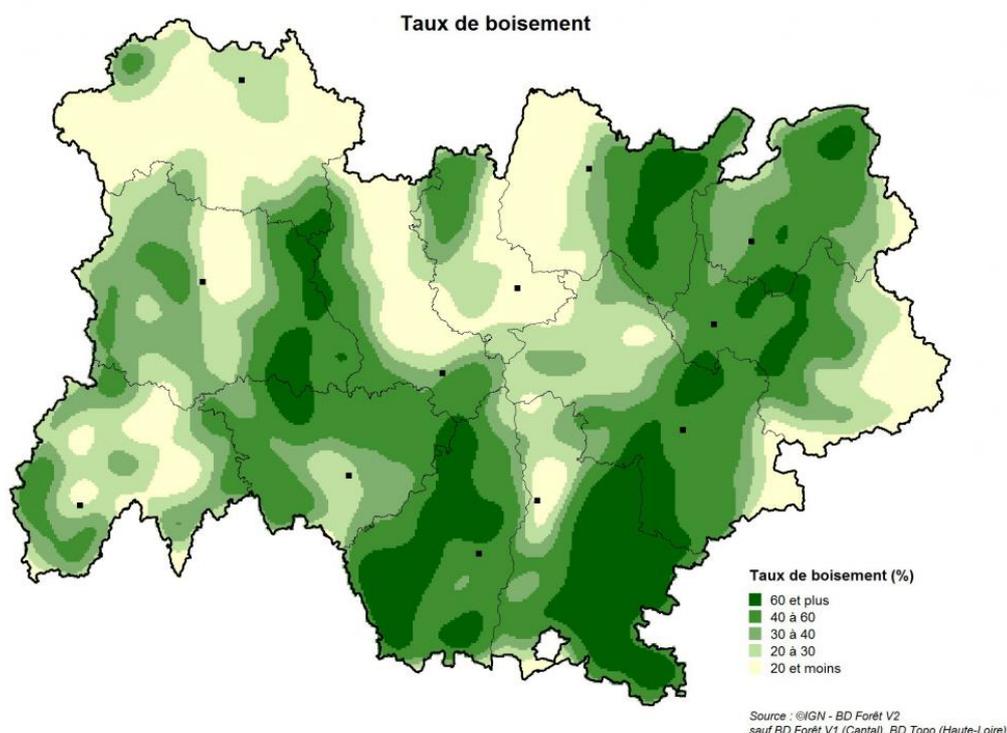


Figure 4. : Des taux de boisement élevés dans les massifs montagneux d'Auvergne-Rhône-Alpes (Centre national de la propriété forestière, 2018)

Dans le détail, la ressource se répartit entre feuillus (plus de 54 % de la surface pour 46 % du volume sur pied, le chêne étant le plus représenté) et résineux (moins de 46 % de la surface pour 54 % du volume sur pied, le sapin et l'épicéa étant majoritaires). En fonction des estimations, la récolte est légèrement supérieure à 5 millions de m³ et représente environ 40 % de l'accroissement biologique annuel (50 % pour les résineux contre 27 % pour les feuillus) (Institut de l'information géographique et forestière, 2017; Centre national de la propriété forestière, 2018; FIBOIS Auvergne-Rhône-Alpes, 2018).

D'un point de vue foncier, la forêt est largement privée et morcelée (670 000 propriétaires privés possèdent ainsi 80 % de la superficie forestière régionale), les forêts domaniales et les forêts des collectivités représentant respectivement 5 et 15 % de la superficie forestière. Ces forêts publiques sont principalement situées en zone de montagne, parfois dans des secteurs à fort enjeu de protection (FIBOIS Auvergne-Rhône-Alpes, 2018; Centre national de la propriété forestière, 2018; Office national des forêts, 2018).

Plusieurs structures assurent la gestion des forêts dans la région. En forêt privée, le morcèlement foncier important (sur 670 000 propriétaires forestiers, seuls 12 % possèdent plus de 4 hectares boisés) constitue un frein indéniable à la gestion forestière. Si nombre de propriétaires - parfois avec l'aide d'un membre de leur famille - gèrent eux-mêmes leur forêt (i.e. rédaction du plan simple de gestion si la forêt dépasse 25 hectares, organisation des travaux et des coupes de bois, etc.), les coopératives (5 recensées dans la région) sont les plus importantes structures gestionnaires en forêt privée, suivies par les experts forestiers et les gestionnaires forestiers professionnels. En outre, les propriétaires forestiers peuvent être conseillés et formés par le Centre régional de la propriété forestière Auvergne-Rhône-Alpes et par les services forestiers des chambres départementales et régionale d'agriculture (Centre national de la propriété forestière et Forestiers privés de France, 2015; Centre national de la propriété forestière, 2018).

La forêt publique, composée de 426 000 hectares de forêts appartenant aux collectivités et de 156 000 hectares de forêts domaniales (soit environ 20 % de la superficie forestière régionale), est gérée par l'Office national des forêts (ONF^o). Employant 1300 personnes en Auvergne-Rhône-Alpes, cet établissement public à caractère industriel et commercial assure de nombreuses missions telles que la production de bois, la préservation des espaces naturels et de la biodiversité, l'accueil du public en forêt, la prévention des risques naturels (Restauration des terrains en montagne (RTM^o), Défense des forêts contre les incendies (DFCI^o)...), la réalisation de prestations diverses (travaux, services...) auprès des collectivités, entreprises et particuliers (Office national des forêts, 2018).

1.3. Le projet MACCLIF

Le projet MACCLIF « Prise en compte des Mesures d'Adaptation au Changement CLimatique par les gestionnaires Forestiers » a vu le jour en 2016 suite à la réponse à l'appel à projets du RMT AFORCE^o sur l'adaptation des forêts au changement climatique par le GIP ECOFOR^o.

Trois grands axes de travail interactifs sont à souligner dans le cadre du projet MACCLIF. Le premier vise à mettre en évidence la perception du changement climatique par les propriétaires, les conseillers et les gestionnaires forestiers à travers diverses enquêtes (questionnaires nationaux, enquêtes locales, auprès des différents acteurs de la forêt publique et privée). De cette manière, les mesures d'adaptation sylvicoles, l'accompagnement et les outils disponibles pour les gestionnaires, mais également les différents freins à la mise en place de certaines mesures d'adaptation seront étudiés.

Une seconde thématique réside dans l'étude des documents d'orientation et d'aménagement en forêt publique et privée (e.g. ONAG^o, ORF^o, DRA^o, SRA^o, Aménagements forestiers ONF, SRGS^o, PSG^o, etc.), afin d'étudier, à travers un indicateur spécialement créé, la prise en compte du changement climatique dans ces documents (notamment les différentes mesures d'adaptation citées) ainsi que son évolution temporelle.

Enfin, le projet vise à mettre en place une typologie des mesures d'adaptation de la sylviculture au changement climatique et à proposer un diagnostic sur les pratiques actuelles et sur les moyens d'aider les gestionnaires dans leurs choix de gestion (i.e. messages à adresser, freins à résoudre, outils à développer, etc.).

Ainsi, ces trois axes en interaction appellent à considérer différents contextes géographiques (échelle nationale, régionale), administratifs (acteurs de la forêt publique, privée) et stationnels (forêts de plaine, montagne), afin de comprendre au mieux la perception du changement climatique par les gestionnaires, d'identifier les mesures d'adaptation sylvicoles utilisées mais aussi les obstacles à leur mise en œuvre, afin d'aider les praticiens dans leur gestion et dans leurs choix indispensables à l'avenir de la forêt.

De nombreux acteurs sont impliqués dans le projet MACCLIF. Coordinné par le GIP ECOFOR avec le soutien financier du RMT AFORCE, il intègre l'ONF, le CNPF-IDF° et des CRPF°, l'IRSTEA° et la SFCDC°.

1.4. Objectifs du mémoire

Dans le cadre du projet MACCLIF présenté plus haut, il a été jugé opportun de conduire, en complément des questionnaires nationaux aux propriétaires et aux gestionnaires, des enquêtes qualitatives dans deux régions d'intérêt, une en zone de plaine (région Centre) et une en zone de montagne (région Auvergne-Rhône-Alpes). Deux stagiaires ont ainsi été affectés dans deux structures partenaires du projet, l'un au CRPF d'Orléans et l'autre à la direction territoriale de l'ONF de Lyon.

Le mémoire s'articule de ce fait autour d'une enquête sur la perception du changement climatique par les gestionnaires forestiers en zone de montagne. L'enquête a été formalisée conformément aux exigences de l'enquête qualitative par entretiens semi-directifs, en accord avec le stagiaire travaillant sur la zone de plaine afin d'obtenir des résultats comparables entre les deux régions. Des recherches bibliographiques sur l'adaptation de la gestion forestière aux changements climatiques ainsi qu'une étude des documents d'aménagement évoqués plus haut ont été également été conduites préalablement afin d'enrichir le projet.

L'enquête a été conduite auprès d'un large échantillon de gestionnaires, composé d'une cinquantaine de forestiers publics (ONF) et privés (e.g. GFP°, experts, coopératives) intervenant sur l'ensemble de la région Auvergne-Rhône-Alpes, avec une prépondérance de gestionnaires travaillant en zone de montagne, déjà définie précédemment. A noter que le département de l'Allier, qui ne fait pas partie du périmètre de gestion de la direction territoriale Auvergne-Rhône-Alpes de l'ONF et dont les zones montagneuses sont assez réduites, ne sera pas étudié en priorité. Par ailleurs, les gestionnaires étant souvent confrontés à une variété de secteurs, il pourra arriver que certains éléments recueillis se rapportent à des zones de plaine.

Les entretiens menés lors des rencontres de terrain ont porté sur la gestion pratiquée, sur la connaissance du changement climatique, sur sa prise en compte (documents de gestion durable, conseils, pratiques sylvicoles), sur les obstacles rencontrés, sur l'accompagnement et les outils existants et à développer. Le traitement des données recueillies, en lien avec les études préalables, a permis de créer une typologie des mesures d'adaptation, d'identifier les freins à leur mise en œuvre, mais aussi de mettre en évidence des profils de gestionnaires et de proposer des recommandations sur la prise en compte du changement climatique et les outils associés.

Ce mémoire cherche ainsi à estimer si les forestiers d'Auvergne-Rhône-Alpes adaptent leur gestion au changement climatique. Pour ce faire, on s'est efforcé de répondre aux questions suivantes : « Que pensent les gestionnaires forestiers du changement climatique en Auvergne-Rhône-Alpes ? Quelles sont les stratégies d'adaptation sylvicoles mises en œuvre ? Quels sont les freins à résoudre et les initiatives à développer ? ».

2. Etat des connaissances scientifiques en matière d'adaptation de la sylviculture au changement climatique

2.1. Forêts et changement climatique

2.1.1. Les forêts, écosystèmes en perpétuelle évolution

Loin de présenter une image figée et immuable, les forêts françaises, qui couvrent près d'un tiers de la surface métropolitaine du pays, évoluent en continu en fonction des paramètres naturels et anthropiques. Ainsi, la superficie forestière progresse de 0,7 % par an en moyenne depuis 1985 et atteint aujourd'hui 16,9 millions d'hectares, alors qu'elle avait été réduite à 9,2 +/- 0,3 millions d'hectares au début du XIX^e siècle (Cinotti, 1996; Institut de l'information géographique et forestière, 2017). A l'inverse, les tempêtes de 1999 (l'ouragan Lothar du 26 décembre et l'ouragan Martin des 27 et 28 décembre 1999) et 2009 (l'ouragan Klaus du 24 janvier 2009) ont quant à elles abattu respectivement 120 et 42 millions de m³ de bois (Office national des forêts, 2018).

Depuis toujours, les forêts ont été façonnées par les évolutions et perturbations naturelles (e.g. cycles glaciaires, tempêtes, sécheresses, incendies, attaques d'insectes ou de champignons, gel, etc.), qui font partie intégrante du cycle sylvogénétique (Trumbore et al., 2015; Bebi et al., 2017; Roux et al., 2017). Or, l'intervention de l'homme dans les écosystèmes forestiers, qu'elle soit directe (e.g. coupe de bois, plantation) ou indirecte (e.g. changement climatique, pollution), pousse les forêts à évoluer afin de s'adapter aux nouvelles conditions de milieu (Riou-Nivert, 2015; Trumbore et al., 2015). On peut d'ailleurs observer que le massif alpin a subi d'importantes transformations au cours du dernier millénaire en termes de couvert forestier (*figure 5.*, cf *Annexes*) et de régimes de perturbations (avalanches, dommages dus à la neige, incendies, chablis*, scolytes*, usages du sol), comme l'ont retracé Bebi et al. (2017). Une forte hausse de l'importance des perturbations naturelles est toutefois prévue pour les prochaines décennies, du fait de l'augmentation des perturbations liées au feu, au vent et aux scolytes depuis le XX^e siècle, mais également de l'influence grandissante du changement climatique sur ces perturbations (Bebi et al., 2017).

La question qui découle de ces observations est de savoir si les forêts auront les capacités suffisantes pour maintenir leur production de biens et services malgré les changements récents et rapides (notamment climatiques) décrits en *figure 6 ci-après*. Au vu du temps important nécessaire au recouvrement des différentes fonctions des écosystèmes forestiers après une perturbation (*figure 7.*, cf *Annexes*), la question s'avère pertinente si l'on souhaite pérenniser l'ensemble des prestations offertes par les forêts (Trumbore et al., 2015).

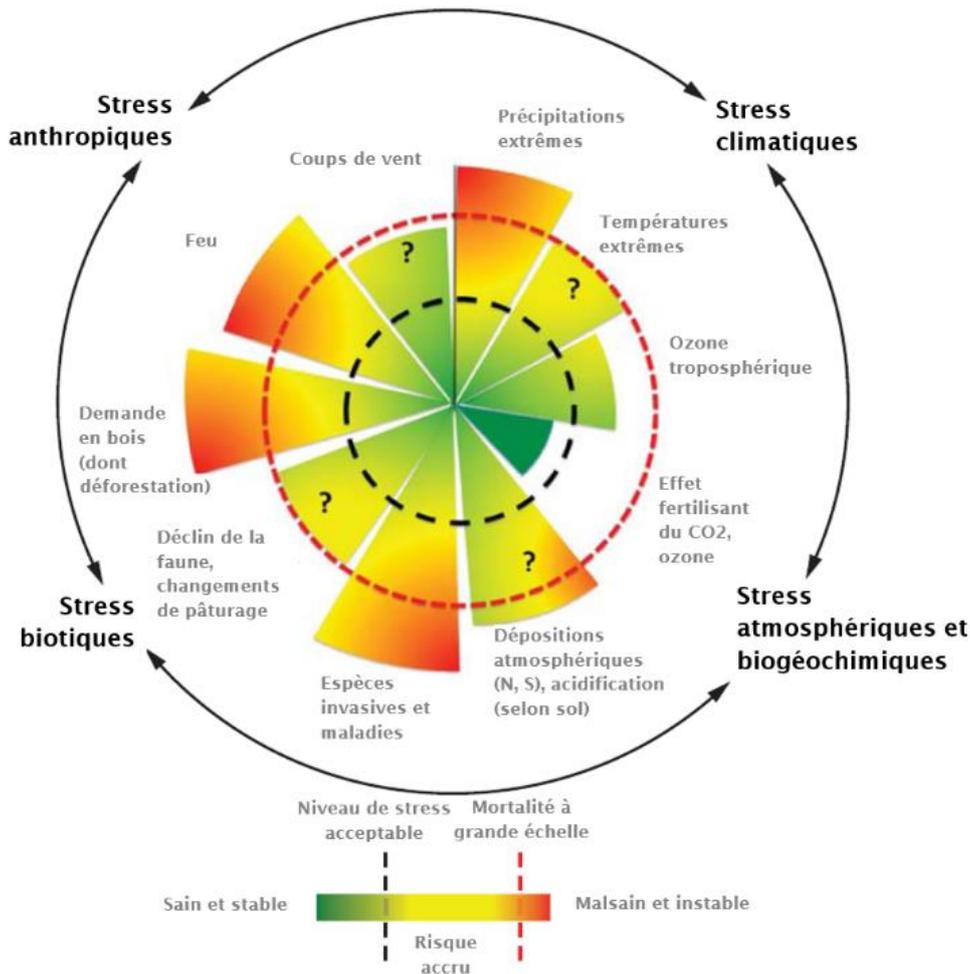


Figure 6. : Exemples de différents stress et perturbations affectant les forêts, accompagnés de leur évolution attendue à l'avenir, en comparaison avec les niveaux de l'époque préindustrielle (modifié d'après Trumbore et al., 2015)

C'est ainsi que le forestier se place à la rencontre des conditions du milieu naturel et des demandes sociales évoquées précédemment (cf partie 1.1.1.), en veillant à ce que la forêt fournisse durablement les prestations attendues, ce qui requiert une forêt saine et adaptée à son environnement. Le dérèglement climatique et l'augmentation prévue de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes tels que les sécheresses, les incendies ou les tempêtes pourraient affecter en profondeur l'évolution des forêts et remettre en question le maintien des différentes prestations qui leur sont associées (Pluess et al., 2016; Roux et al., 2017; Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018). Des perturbations de grande ampleur pourraient ainsi avoir lieu, dont les impacts dépasseraient largement ceux des tempêtes de 1999 ou de l'été caniculaire de 2003, à l'image du dépérissement des pinèdes nord-américaines dû au scolyte *Dendroctonus ponderosae* qui a déjà entraîné une perte estimée de plus de 750 millions de m³ de pin au Canada (figure 8., cf Annexes) (Environmental energetics, 2014; Bleiker, 2017; Roux et al., 2017).

Afin de dresser l'état des connaissances scientifiques et techniques portant sur les thématiques esquissées, nous rappelons tout d'abord les composantes du changement climatique, puis les différents effets – positifs, négatifs, mitigés, et souvent en interaction – observés et attendus sur les forêts. Dans un second temps, les différents concepts clefs associés à la notion d'adaptation tels que la résilience, la capacité adaptative, l'incertitude, etc. seront décrits et permettront d'appréhender les différentes mesures d'adaptation de la sylviculture au

NB : L'évolution future attendue des niveaux de stress et de perturbations affectant les écosystèmes forestiers est illustrée par le gradient de couleurs (de vert : écosystème sain et stable, à rouge : écosystème malsain et instable).

Le cercle de pointillés noirs indique le niveau acceptable de stress, alors que celui en pointillé rouge désigne le niveau de stress correspondant à une mortalité à grande échelle.

Enfin, les points d'interrogation caractérisent les processus avec une forte incertitude* quant aux prévisions sur les impacts sur la santé des écosystèmes forestiers.

changement climatique recensées à différentes échelles géographiques. Enfin, après avoir dépeint des modes de gestions dites « adaptatives » intégrant différentes mesures d'adaptation, nous évoquerons les différentes postures et initiatives adoptées par les gestionnaires et les propriétaires forestiers.

La prise en compte du changement climatique dans la gestion forestière nécessitant souvent une variété d'outils et de méthodes, cette étude s'appuie volontairement sur des éléments rapportés au contexte local – les montagnes d'Auvergne-Rhône-Alpes –, mais également sur des travaux menés plus largement en France ou dans d'autres pays, limitrophes ou non, comme un gage d'ouverture à des méthodes d'adaptation nombreuses et diversifiées permettant de répondre au mieux aux besoins de chaque situation locale.

2.1.2. Un climat changeant

La prise de conscience et l'étude du changement climatique voient leur importance grandir depuis la fin du siècle dernier. En témoignent, par exemple, la création du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat – GIEC° (*en anglais, Intergovernmental panel on climate change – IPCC*°) en 1988, ou encore la mise en place des rencontres internationales de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques – CCNUCC° (*en anglais, United Nations framework convention on climate change – UNFCCC*°) en 1994.

Le GIEC est chargé d'évaluer les connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques portant sur les changements climatiques (i.e. causes, effets, stratégies de réponse). Quant à elle, la CCNUCC coordonne les stratégies de réponses aux changements climatiques aux échelles nationales et internationale (e.g. diffusion d'informations sur les politiques nationales, coopération financière entre les pays, etc.).

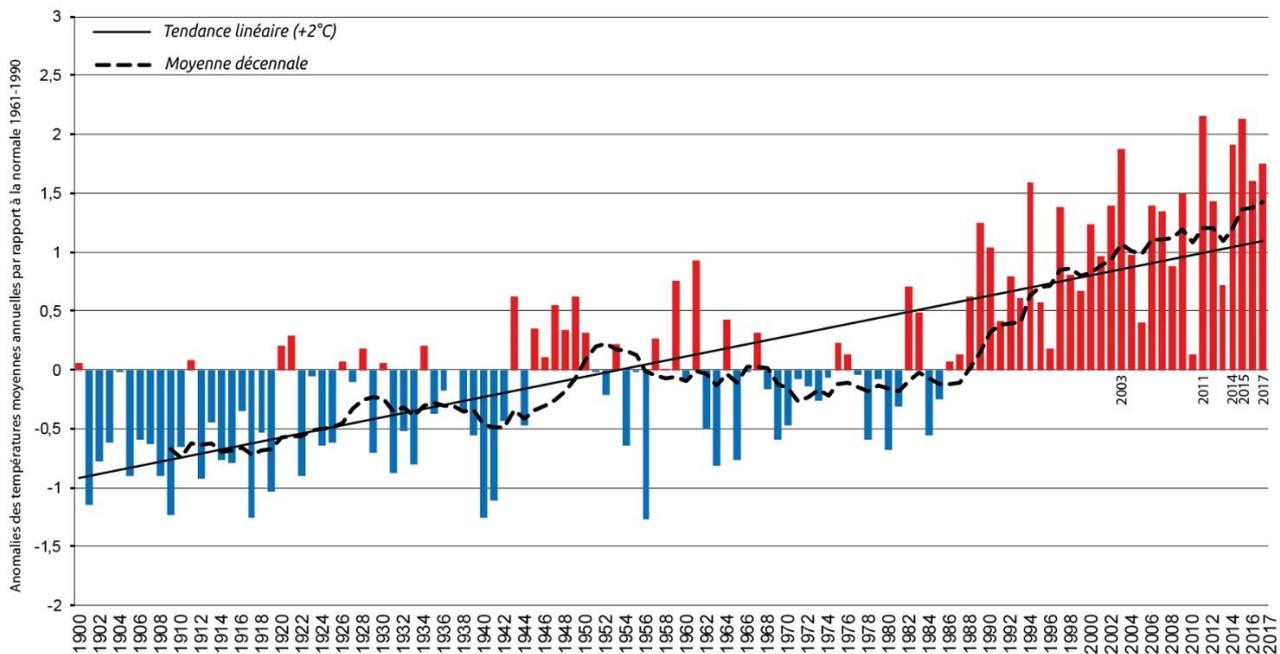
D'autres initiatives internationales telles que les Sommets de la Terre (1972), le protocole de Kyoto (2005), le « Reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD°) » (2008) témoignent également des avancées en matière de reconnaissance de la responsabilité de l'homme dans les dérèglements climatiques, mais aussi de conduite de négociations internationales, visant à stabiliser les émissions de gaz à effet de serre (GES°) afin de prévenir de potentielles interférences dangereuses avec le système climatique (United Nations framework convention on climate change, 2014; Intergovernmental panel on climate change, 2018).

Les réponses politiques mondiales apportées au changement climatique pourraient faire l'objet d'un travail à part entière ; néanmoins, celles-ci n'intervenant pas directement dans notre étude, nous nous attacherons davantage à étudier dans cette partie les effets du changement climatique sur les forêts, après avoir rappelé les composantes de celui-ci.

Forts de cela, nous présenterons dans un premier temps les effets observés du changement climatique, que nous expliquerons et que nous comparerons aux prévisions pour les décennies et les siècles à venir. Les perspectives d'adaptation seront quant à elles évoquées en partie 2.2.

Le changement climatique se manifeste d'abord par un réchauffement de la planète (atmosphère, océans, continents), qui entraîne une diminution des couvertures de neige et de glace au profit d'une augmentation du niveau des mers. En plus de ce réchauffement, on constate depuis 1950 des modifications concernant les phénomènes exceptionnels, telles que la hausse des extrêmes de chaleur et la diminution des extrêmes de froid, ou encore la multiplication des épisodes de fortes précipitations. Ce changement – ou dérèglement – climatique s'explique par une forte hausse des émissions anthropiques de gaz à effet de serre depuis l'époque préindustrielle, comme le montre la *figure 9*. (*cf Annexes*). De tels gaz participent au réchauffement de l'atmosphère en empêchant une partie des rayonnements infrarouges reçus par la Terre de retourner dans l'espace. On parle alors de « forçage radiatif » positif pour signifier que la Terre reçoit plus d'énergie qu'elle n'en perd, ce qui conduit à son réchauffement (Legay et al., 2007; Riou-Nivert et Moussu, 2007; Roman-

Amat, 2007; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014; Pluess et al., 2016). Ce réchauffement peut être observé grâce aux stations météorologiques dont nous disposons. Comme le montre par exemple la *figure 10*, ci-dessous, la température moyenne annuelle dans les Alpes françaises a déjà augmenté de 2 °C entre 1900 et 2017.



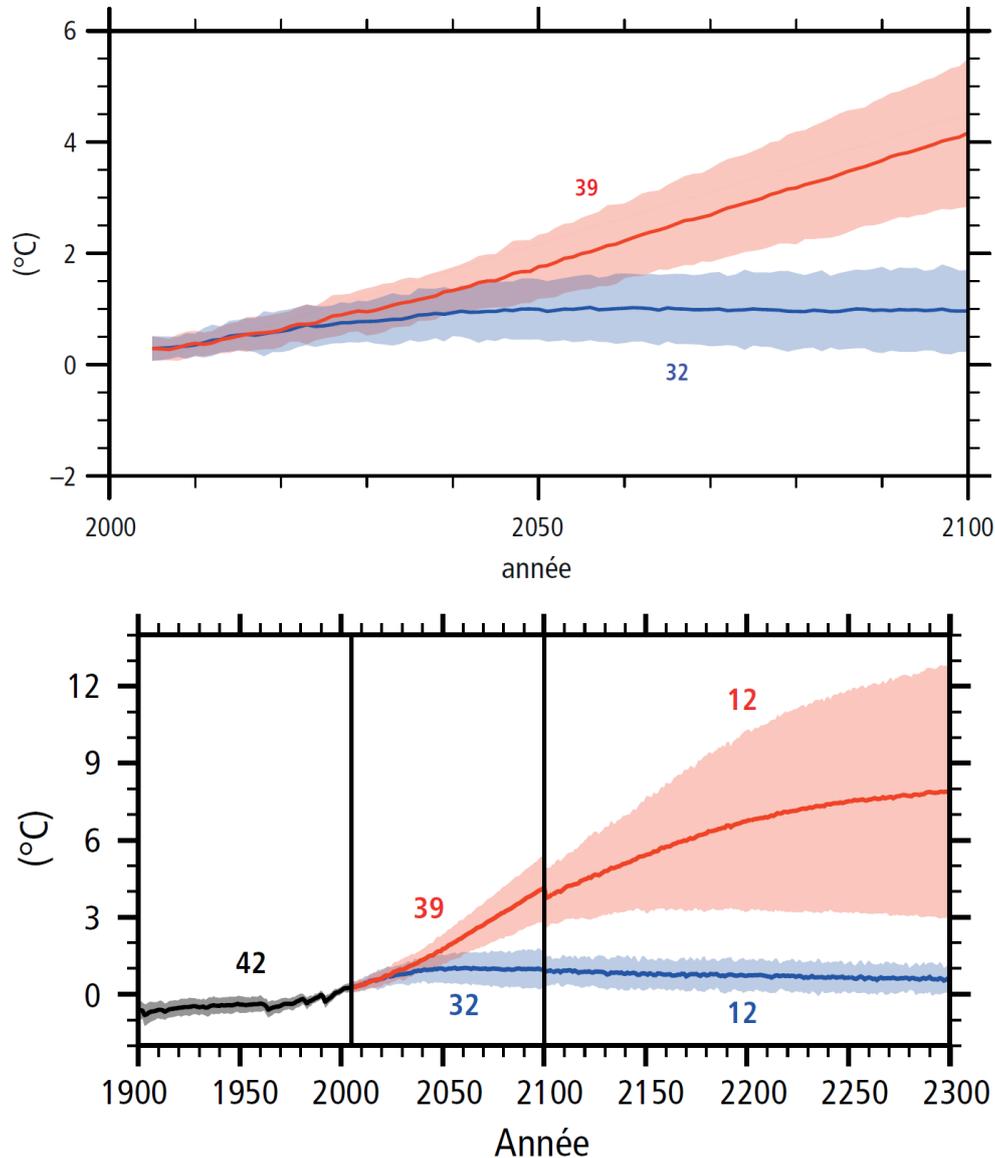
NB : Les données météorologiques proviennent des séries homogénéisées du programme « Histalp » pour les Alpes du nord et les Alpes du sud de 1900 à 2007, et des séries homogénéisées des stations de mesure de Météo-France de Bourg-Saint-Maurice (73) et d'Embrun (05) depuis 1950. Les tendances obtenues sont similaires à celles d'autres stations de mesure situées dans les Alpes, le sud-est de la France ou encore le sud-ouest de la Suisse voisine.

Figure 10. : Evolution des températures moyennes annuelles entre 1900 et 2017 dans les Alpes françaises (Observatoire savoyard du changement climatique de l'Agence alpine des territoires, 2018)

Les prévisions pour l'avenir sont encore incertaines, car elles sont tributaires des politiques mondiales en matière de réduction des émissions de GES ; en témoignent les différents scénarios RCP° ou littéralement les « profils représentatifs d'évolution de concentration – representative concentration pathway en anglais – » présentés par le GIEC (de RCP2,6 pour un forçage radiatif de 2,6 W/m² à RCP8,5 pour 8,5 W/m²). Ainsi, comme l'illustre la *figure 11*, ci-après, l'augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre en 2100 par rapport à la période 1986-2005 est encore inconnue mais sera probablement comprise entre + 0,5 et + 4,1°C. Selon le scénario le plus pessimiste, RCP8,5, la température pourrait continuer à augmenter jusqu'à + 8°C en 2300 (*cf figure 11*). Quoi qu'il en soit, il est avéré que les dérèglements climatiques conduiront à une hausse (en fréquence, en durée et en intensité) des événements exceptionnels tels que les vagues de chaleur, les précipitations extrêmes, etc., conduisant à des phénomènes tels que des sécheresses, des incendies (*figure 12* – *cf Annexes*), des processus d'érosion, des inondations ou des tempêtes (Roman-Amat, 2007; Lindner et al., 2010; Office des forêts du canton de Berne, 2013a; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014; Roux et al., 2017).

Il faut noter également que les répercussions du changement climatique se manifesteront pendant plusieurs siècles, y compris après l'arrêt des émissions de GES. Les scientifiques du GIEC estiment que les changements dus à la déstabilisation des différentes composantes du système climatique (e.g. fonte des glaciers,

réchauffement, élévation et acidification des océans (*figure 13. – cf Annexes*), déplacement des biomes, évolution du carbone du sol, etc.) se poursuivront pendant plusieurs siècles voire millénaires après la stabilisation de la température de surface du globe. Des effets brutaux et irréversibles sur les structures et les fonctions des écosystèmes marins et terrestres pourraient également avoir lieu après 2100 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014; Pluess et al., 2016).



NB : Les nombres apposés sur les courbes indiquent le nombre de modèles utilisés pour les calculs. Les discontinuités observables pour 2100 dans le second graphique sont dues au fait que certains modèles établissent des prévisions uniquement jusqu'à 2100.

Figure 11. : Variation de la température moyenne à la surface du globe aux horizons 2100 et 2300 (par rapport à 1986-2005) (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014)

Enfin, les changements climatiques sont indissociables de deux notions clés, déjà évoquées de manière sous-jacente, que sont l'incertitude et l'hétérogénéité. Incertitude d'abord, en raison de la complexité du système climatique et, conséquemment, des difficultés de modélisation de celui-ci, notamment en zone montagneuse ; mais aussi de l'incertitude associée à l'évolution des émissions de GES à l'échelle mondiale dans les

prochaines années – laquelle évolution aura des conséquences fondamentales sur les niveaux de dérèglement climatique attendus. Les *figures 11., 13. et 14. (cf Annexes)* illustrent ainsi clairement la forte amplitude des différents indicateurs climatiques (e.g. température de surface, taux de CO₂ atmosphérique, niveau d'élévation de la mer) potentiellement atteignables. Hétérogénéité ensuite, car le changement climatique conduit et conduira de plus en plus à accroître les différences climatiques entre les régions du globe, à la fois par la variation des paramètres climatiques moyens (e.g. température moyenne de surface, précipitations moyennes) et par les événements extrêmes déjà évoqués. La *figure 14. (cf Annexes)* souligne par conséquent la forte dépendance des variations des paramètres climatiques à la zone géographique d'une part, et aux scénarios climatiques de l'autre (Legay et al., 2007; Roman-Amat, 2007; Lindner et al., 2010; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014; Roux et al., 2017; Piazza-Morel et al., 2018).

2.1.3. Effets du changement climatique sur les forêts

En modifiant rapidement les conditions de milieu, les changements climatiques évoqués plus haut conduisent logiquement à des effets sur les milieux naturels et notamment sur les écosystèmes forestiers. Ces effets, difficiles à évaluer précisément, varient fortement selon de multiples paramètres en interaction tels que la localisation géographique, la station, les caractéristiques des peuplements, la sylviculture pratiquée, l'altitude, etc. A titre d'exemple, le bilan hydrique, qui constitue régulièrement le facteur limitant de croissance forestière, est influencé par un large ensemble de facteurs de variation spatiale et temporelle, comme l'ont décrit Bertin et al. (2016) dans un ouvrage issu du groupe de travail n°2 du RMT AFORCE portant sur la gestion de l'eau dans la sylviculture des peuplements. De même, l'élévation de température estivale pourrait être plus importante dans le Sud-Ouest et en Méditerranée que dans le reste du pays ; ou encore, la réduction des chutes de neige (plus précisément de la durée d'enneigement et de l'épaisseur de la neige) pourrait être plus forte à basse et moyenne altitude et dans les Alpes du Sud que dans les Alpes du Nord ; etc. Les exemples ne manquent pas pour souligner les fortes disparités régionales et locales observés pour de nombreux paramètres (e.g. nombre de jours de gelées, modification du bilan hydrique climatique, fréquence des tempêtes, etc.) (Legay et al., 2007; Roman-Amat, 2007; Lechine et Abt, 2012; Legay et al., 2012; Day et Pérez, 2013).

Les recherches scientifiques cherchant à expliquer et à mesurer les effets du changement climatique sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers et sur les prestations qui leur sont associées (cf partie 1.1.1.) constituent le socle de réflexion des approches d'adaptation (Pluess et al., 2016). Par conséquent, nous dresserons ici un tableau concis des effets, positifs et négatifs, recensés sur les forêts ; la décomposition des composantes choisie par souci de clarté n'excluant aucunement les effets d'interaction entre les différents effets et leur forte dépendance aux facteurs stationnels.

2.1.3.1. Productivité

Tout d'abord, des composantes du changement climatique peuvent, dans certains cas, s'avérer positifs pour les écosystèmes forestiers.

Ainsi, la hausse du taux de CO₂ atmosphérique peut favoriser la croissance des arbres en améliorant la disponibilité du carbone. On parle de « l'effet fertilisant du CO₂ » (« CO₂ fertilization effect » en anglais), qui augmente la photosynthèse et améliore l'efficacité hydrique (en pratique, une concentration de CO₂ plus forte dans l'air permet une fermeture partielle des stomates, ce qui réduit les pertes d'eau par transpiration ; le ratio entre le carbone gagné et l'eau perdue, c'est-à-dire l'efficacité hydrique, s'en trouve alors augmenté). Il apparaît que les écosystèmes les plus répondeurs à cet effet fertilisant sont les forêts poussant sous climats arides ou semi-arides, modérément stressées par la sécheresse et largement alimentées en azote. L'effet fertilisant du CO₂ est plus incertain dans d'autres forêts, notamment en haute montagne où d'autres facteurs limitants interviennent. On notera également que cet effet fertilisant est difficilement isolable des effets

potentiels du réchauffement et des dépositions atmosphériques anthropiques (notamment azotées), et qu'il est influencé par d'autres facteurs (e.g. disponibilité en nutriments, statut azoté, essence) (Huang et al., 2007; Piedallu et al., 2009; Lindner et al., 2010).

D'autre part, l'augmentation de température – qui diffère selon les régions – pourra avoir un effet stimulant pour la production forestière, notamment dans les forêts boréales et tempérées, de par l'augmentation de la photosynthèse et l'allongement de la période de végétation. Néanmoins, il faut s'attendre à des effets inverses et indésirables dans les zones où la contrainte hydrique est limitante (e.g. région méditerranéenne et Sud-Ouest, s'étendant ensuite vers le Nord et l'Est), surtout si les précipitations n'augmentent pas ou se concentrent sur la période hivernale. La hausse des températures augmenterait alors le risque d'incendie, le stress hydrique et réduirait donc la croissance des arbres. En outre, la température optimale pour la photosynthèse est rarement supérieure à 30°C pour les essences européennes ; de ce fait, de fortes températures favorisent la photorespiration* au détriment de la photosynthèse (Huang et al., 2007; Legay et al., 2007, 2012; Lindner et al., 2010; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et Agence pour l'environnement et le développement soutenable, 2012; Lechine et Abt, 2012). Enfin, l'étude menée en Suisse par Pluess et al. (2016), après avoir rappelé les nombreuses variables influençant la croissance des arbres, prévoit qu'en conditions sèches, la croissance à basse altitude recule du fait du stress hydrique, et qu'elle augmente en altitude grâce à la hausse de température et aux effets associés déjà évoqués.

Actuellement, les nombreuses études françaises rassemblées par Dhôte et al. (2000) ont mis en évidence que les changements climatiques observés depuis le milieu du XIX^e siècle – hausse du taux de CO₂ atmosphérique, réchauffement, dépositions atmosphériques notamment azotées – qui stimulent la croissance par une augmentation de la photosynthèse, un allongement de la saison de végétation, mais aussi par le développement de l'activité mycorhizienne*, ont largement favorisé la productivité des essences forestières françaises. L'ensemble des résultats obtenus par les différentes études (qui concernent une variété d'essences et de massifs) sont présentés dans le *tableau 1*. (cf *Annexes*) et en *figure 15*. (cf *Annexes*). L'exemple de l'évolution de la croissance radiale du sapin pectiné dans le Jura entre 1865 et 1988, mesurée par dendrochronologie sur un échantillon de 1275 sapins jurassiens, est présenté ci-dessous (*figure 16*.) à titre d'exemple ; on évalue ainsi la hausse du potentiel de croissance à + 130 % (Becker et al., 1994; Dhôte et al., 2000; Huang et al., 2007; Riou-Nivert et Moussu, 2007; Lechine et Abt, 2012; Legay et al., 2012).

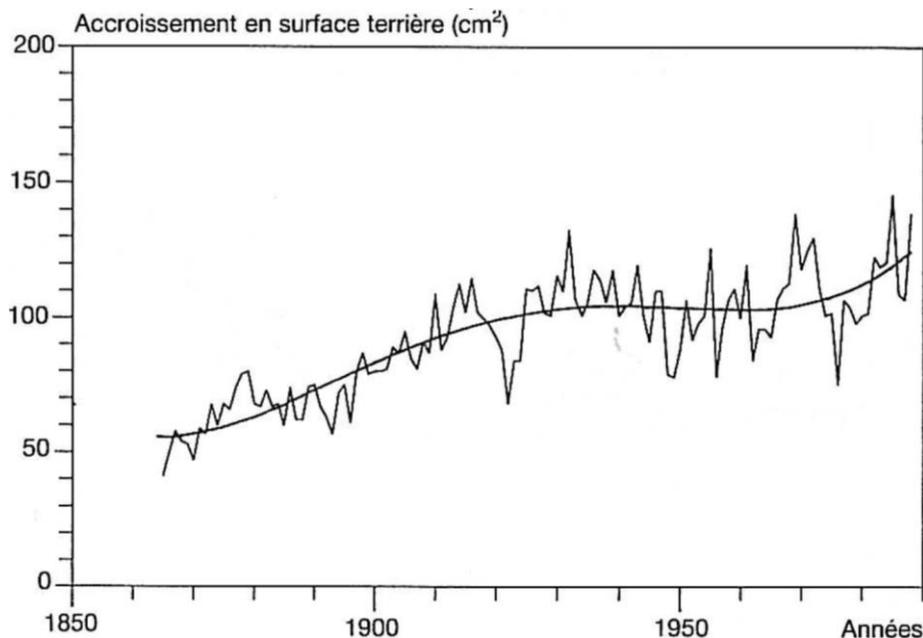


Figure 16. : Evolution de l'accroissement en surface terrière du sapin pectiné dans le massif du Jura entre 1865 et 1988 (Becker et al., 1994)

Fort de ces éléments passés et futurs, l'évolution de la production des forêts françaises proposée par Roman-Amat (2007) prévoit dans un premier temps une poursuite de l'augmentation de la production jusqu'en 2050 environ ; puis une diminution progressive de la production jusqu'à des niveaux inférieurs à la production actuelle. Cette évolution possible s'applique dans le cas d'un dérèglement climatique progressif et sans accidents exceptionnels. Dans le cas où des événements extrêmes – tels que ceux déjà évoqués en partie 2.1.2. – auraient lieu, la production diminuerait alors rapidement. Ces deux scénarios théoriques d'évolution de la production de bois en France pour les 150 ans à venir sont présentés en *figure 17*. (cf *Annexes*).

2.1.3.2. Phénologie

En plus des modifications de la productivité des essences forestières, les changements climatiques influent sur la phénologie* des essences. Les études européennes et nord-américaines convergent pour mettre en évidence un allongement de la saison de végétation* (10 jours gagnés en 30 ans), caractérisé par un avancement des stades phénologiques de printemps (débourrement, floraison, maturation des fruits) et un retard des stades automnaux (sénescence des feuilles) (Legay et al., 2007, 2012; Lindner et al., 2010; Lechine et Abt, 2012; Office des forêts du canton de Berne, 2013a).

A l'image des changements de productivité évoqués plus haut, ces effets sur la phénologie des essences pourront avoir des conséquences positives et négatives. Si l'allongement de la durée de végétation apparaît favorable pour la croissance (allongement de la période annuelle de production), la précocité des printemps pourrait entraîner dans le même temps davantage de dégâts liés aux gelées tardives ou aux inondations. Les diverses études sur le sujet n'ont pas encore établi de tendances claires et unanimes ; mais elles ont souligné d'importantes interactions existant entre nombre de facteurs liés à la végétation (e.g. comportement phénologique des essences, sensibilité des écosystèmes) et au climat (modes de circulations atmosphériques, fluctuations de températures), ainsi que la forte variabilité des effets selon les régions (Legay et al., 2007; Marino et al., 2011; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et Agence pour l'environnement et le développement soutenable, 2012; Pluess et al., 2016).

De surcroît, le changement climatique influence également la phénologie des ravageurs, et notamment des insectes, comme c'est le cas pour le bostryche typographe *Ips typographus*, qui voit son développement s'accélérer (avancement des premiers vols de scolytes dans l'année) et son taux de reproduction augmenter (hausse du nombre moyen de générations) du fait du réchauffement. Nous reviendrons plus largement sur l'évolution des relations entre les peuplements et leurs ravageurs dans un contexte de changement global en partie 2.1.3.4. (Stadelmann et al., 2013; Troccaz, 2014; Pluess et al., 2016).

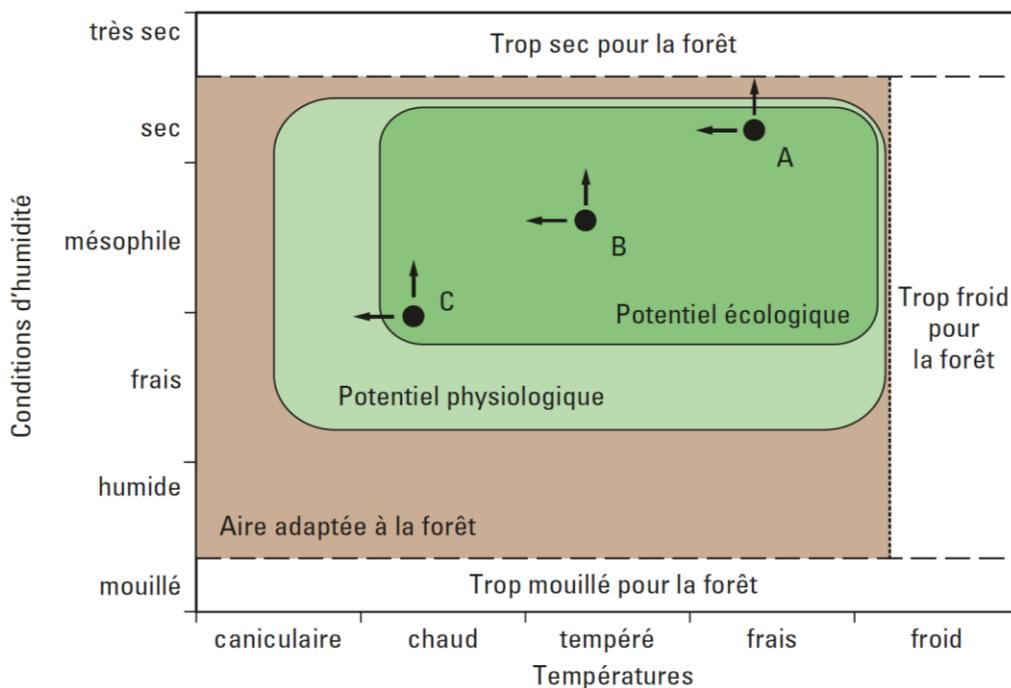
Enfin, s'il est avéré que ces effets sur la phénologie vont continuer à s'accroître de manière significative à l'avenir, il apparaît primordial de rappeler que les incertitudes des modèles, les interactions entre les divers paramètres impliqués, et les fortes variabilités locales associées rendent complexes ces prévisions futures (cf 2.1.2. et 2.2.1.) (Legay et al., 2007, 2012; Lindner et al., 2010; Marino et al., 2011; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014; Pluess et al., 2016).

2.1.3.3. Distribution des essences

D'autre part, un des effets majeurs du changement climatique sur les forêts concerne la modification de la distribution des essences. En effet, la modification des conditions de milieu que nous avons déjà évoquées (e.g. températures moyennes et extrêmes, précipitations) influe directement sur la présence des espèces. Ainsi, certaines espèces adaptées à leur milieu actuellement pourraient ne plus l'être en 2050 ou en 2100 ; et à l'inverse, des espèces non adaptées à un certain milieu actuellement pourraient le devenir rapidement. Le rythme du changement climatique est tel que les essences forestières ne seront pas toujours en mesure de s'adapter et/ou de se déplacer suffisamment vite pour survivre. (Legay et al., 2012; Groupe d'experts

intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014; Pluess et al., 2016; Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018).

Avant de présenter certains travaux cherchant à anticiper la répartition future des essences, rappelons tout d'abord que d'un point de vue fondamental, la niche écologique (ou réalisée) d'une espèce ne constitue généralement qu'une partie de sa niche fondamentale, du fait de l'implantation d'espèces concurrentes, tel que le décrit la *figure 18*. (cf *Annexes*). L'aire de répartition potentielle de cette espèce, c'est-à-dire l'aire qui présentera, en fonction du scénario climatique retenu, des conditions de milieu compatibles avec son développement, pourra être atteinte progressivement par migration, comme l'illustre la *figure 19*. (cf *Annexes*). En résumé, le déplacement des aires de répartition potentielles présenté dans l'écogramme en *figure 20*. ci-dessous décrit les différents effets du changement climatique en fonction des essences et de la station associée, pouvant conduire au maintien de l'espèce, à son déplacement ou, à terme, à sa disparition de la station considérée (Pluess et al., 2016).



NB : Le changement climatique induit selon la station un stress physiologique important (A), une modification de la concurrence (C) ou de faibles modifications uniquement dans le potentiel de la station (B).

Figure 20. : Représentation schématique du déplacement des aires de répartition potentielles (flèches) dans un écogramme (Pluess et al., 2016)

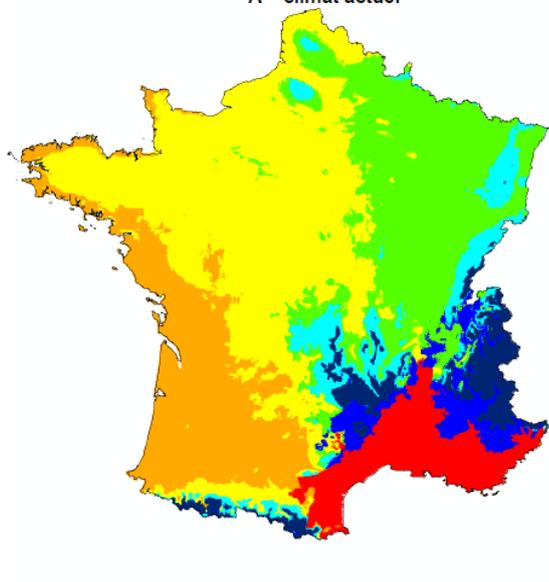
Les études scientifiques portant sur la modification de la répartition des essences ne manquent pas (e.g. Badeau et al., 2004; Piedallu et al., 2009; R. Pluess et al., 2016; Latte et al., 2017, etc.). Un des exemples les plus parlants nous est donné par Peñuelas et al. (2007), qui ont clairement établi le lien entre le changement climatique et la remontée altitudinale des aires de répartition des essences forestières dans les montagnes de Montseny en Catalogne, au nord-est de l'Espagne. En effet, la région montagneuse étudiée est située à l'extrême sud de la zone de répartition du hêtre en Europe (*figure 21*. – cf *Annexes*) et constitue par conséquent un observatoire privilégié des effets du changement climatique.

Les suivis climatiques ont permis de mettre en évidence une augmentation de la température et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) qui ont conduit à des conditions plus arides. Par suite, les hêtraies situées à des altitudes moyennes (800 - 1200 mètres), et particulièrement celles implantées en versant sud, ont progressivement été remplacées par des chênaies vertes, mieux adaptées aux nouvelles conditions plus sèches. A plus haute altitude (1600 - 1700 mètres), une remontée du hêtre a été observée avec l'implantation d'arbres en « avant-postes », c'est-à-dire plus haut que la limite de végétation. Le hêtre a ainsi colonisé les hauts pâturages et remplacé les quelques résineux (sapins pectinés) qui existaient à 1700 mètres d'altitude. Les résultats issus des relevés et des analyses sont corroborés par les photographies prises tout au long du siècle dernier, présentées en *figure 22*. (*cf Annexes*), et qui montrent l'évolution rapide du couvert dans le massif du Montseny.

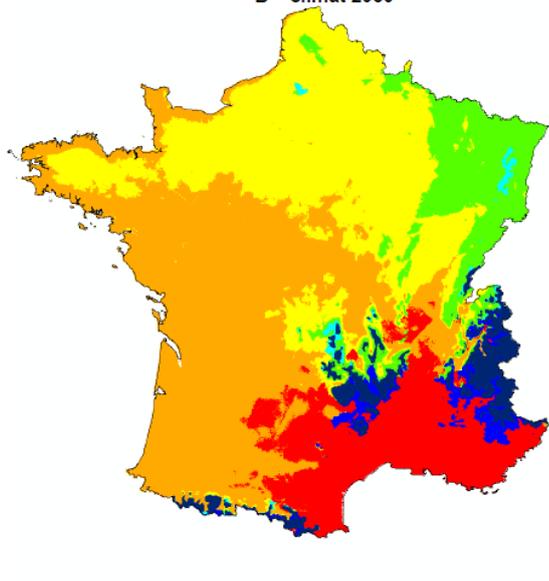
Cette étude souligne également que la colonisation de nouveaux espaces par des essences forestières (i.e. élévation des aires de répartition ainsi que de la limite supérieure de la forêt) peut être facilitée en montagne comparé aux zones de plaine en raison de l'évolution rapide du climat avec l'altitude (augmentation des précipitations et diminution des températures). A titre d'exemple, la température moyenne baisse de 0,6°C par tranche de 100 mètres d'altitude, alors qu'elle ne baisse que de 0,5 °C pour 100 kilomètres en latitude (Peñuelas et al., 2007; Lechine et Abt, 2012; Legay et al., 2012; Office des forêts du canton de Berne, 2013a).

Les outils de modélisation du climat et de cartographie qui s'appuient sur les scénarios climatiques et sur les répartitions actuelles des essences nous permettent en outre d'établir des aires de répartition potentielle (i.e. présentant des conditions favorables à la présence de telle ou telle essence) pour le futur. Les travaux menés par Badeau et al. (2004), Piedallu et al. (2009) et R. Pluess et al. (2016) à partir de modèles statistiques proposent par exemple des cartes de répartition potentielle d'essences prépondérantes en France et en Suisse. Les résultats obtenus pour le hêtre, le chêne vert, le sapin et l'épicéa en France, ainsi que pour le hêtre, le chêne sessile, le sapin et l'épicéa en Suisse sont disponibles en *figure 23*. (*a., b. et c. - cf Annexes*). Un résumé des modifications attendues pour l'ensemble des essences en France selon le scénario B2 (optimiste) est quant à lui présenté ci-après en *figure 24* ; on peut y observer une forte augmentation des aires de répartition potentielle des essences de l'Ouest et de la Méditerranée (groupes 7 et 8, superficies multipliées par trois d'ici 2100), et un recul marqué des essences collinéennes et montagnardes (groupes 1, 2 et 3, passant de 16 à 6 % du territoire).

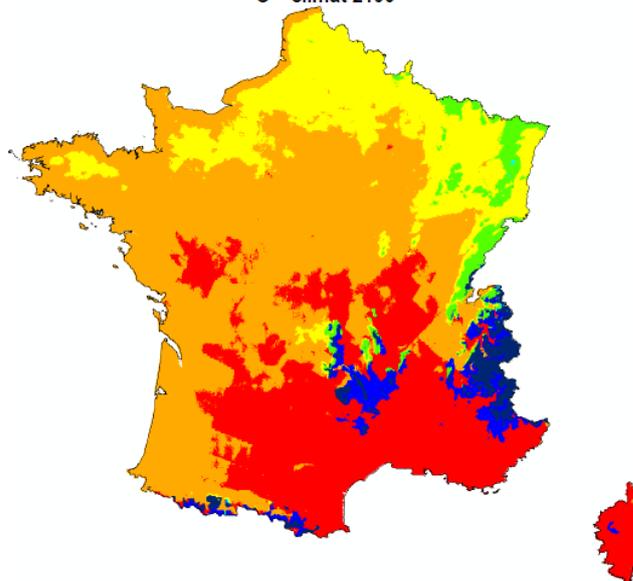
A – climat actuel



B – climat 2050



C – climat 2100



Groupe 1 : étage sub-alpin (*Alnus viridis*, *Pinus montana*, *Pinus cembra*, *Punus brigantiaca*, *Laburnum alpinum*, *Rhamnus alpina*, *Sorbus mougeoti*)

Groupe 2 : étage montagnard (*Acer opalus*, *Euonimus latifolia*, *Hyppophae rhamnoides*, *Alnus incana*)

Groupe 3 : espèces communes à l'ensemble des régions de montagne (*Sorbus aria*, *Laburnum anagyroides*, *Ulmus scabra*, *Sorbus aucuparia*, *Abies alba*, *Sambulus racermosa*, *Picea excelsa*)

Groupe 4 : espèces communes en montagne et très présentes en plaine (*Pinus sylvestris*, *Acer platanoides*, *Fagus sylvatica*, *Acer pseudoplatannus*)

Groupe 6 : espèces de l'étage collinéen fréquentes dans le sud et l'Ouest et plus rares dans le Nord-Est (*Cedrus brevifolia*, *Rhamnus frangula*, *Mespilus germanica*, *Castanea sativa*)

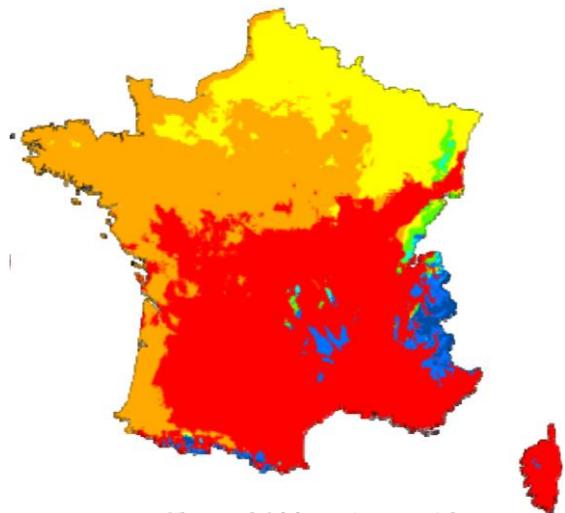
Groupe 7a : espèces de la moitié ouest de la France (*Pinus pinaster*, *Quercus toza*, *Erica scoparia*)

Groupe 8 : espèces méditerranéennes (*Cupressus sempervirens*, *Erica arborea*, *Fraxinus oxyphylla*, *Juniperus oxycedrus*, *Olea europaea*, *Pinus pinea*, *Quercus ilex*, *Quercus suber*, *Viburnum tinus*).

NB : A noter que seuls 7 des 12 groupes chorologiques établis sont représentés ici, car présentant la meilleure séparation spatiale.

Les résultats sont obtenus en se basant sur le scénario B2 du GIEC. Cet ancien scénario correspond à un réchauffement de 2,4 °C environ d'ici 2100 ; il s'agit donc d'un scénario très optimiste, se rapprochant du RCP2,6. A titre d'exemple, la même carte ci-contre obtenue avec le scénario A2 (+ 3,4 °C, scénario proche du RCP4,5) présente une remontée vers le nord du groupe 8 beaucoup plus marquée, ainsi qu'un retrait plus prononcé des groupes montagnards (1, 2 et 3).

Figure 24. : Répartition de 7 groupes chorologiques* d'essences sous le climat actuel et futur (Badeau et al., 2004)



Climat 2100, scénario A2

Dans l'ensemble des études citées ici, les prévisions annoncent des changements extrêmement importants des aires de répartition potentielle des essences. D'un point de vue général – sans oublier que chaque station consiste en un cas particulier (*cf figure 20.*) –, les essences méditerranéennes, à l'image du chêne vert, verront les zones qui leur sont favorables s'étendre rapidement vers le nord ; les chênes se développeront au détriment des hêtres ; les épicéas, les sapins et les hêtres remonteront en altitude. Néanmoins, les mesures d'évolution des aires de répartition menées en France, en Suisse ou encore en Belgique montrent que la vitesse de progression des arbres est très largement inférieure à la vitesse du changement climatique, faisant craindre d'importants stress climatiques, pouvant conduire à des cas de dépérissements et de mortalité. Par ailleurs, les arbres déjà en place et situés en limite basse et sud de leur aire de répartition (front chaud), qui ne sont donc pas en mesure de se déplacer vers des conditions plus favorables, seront vraisemblablement exposés à des stress climatiques significatifs (Badeau et al., 2004; Roman-Amat, 2007; Piedallu et al., 2009; Legay et al., 2012; Office des forêts du canton de Berne, 2013b; Pluess et al., 2016; Latte et al., 2017).

Enfin, bien que ces tendances soient avérées, il est nécessaire de rappeler, à l'instar des parties précédentes, que d'autres facteurs sont à prendre en compte, lesquels peuvent nuancer les résultats obtenus. Ainsi, la résilience des peuplements, la plasticité individuelle, la diversité génétique intraspécifique, la concurrence et l'interaction entre les essences en place, la capacité de migration, la fragmentation des espaces boisés (e.g. connexion entre les massifs, barrières naturelles), la capacité d'adaptation à d'éventuelles nouvelles espèces d'herbacées, de ligneux ou de pathogènes, mais également l'introduction d'essences par le sylviculteur, ou encore l'incertitude liée aux relevés de terrain utilisés dans les modèles ainsi que la difficulté de modélisation des valeurs extrêmes, sont autant de sources d'incertitude à prendre en compte (Badeau et al., 2004; Riou-Nivert et Moussu, 2007; Legay et al., 2007; Roman-Amat, 2007; Piedallu et al., 2009; Lindner et al., 2010; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et Agence pour l'environnement et le développement soutenable, 2012; Lechine et Abt, 2012; Pluess et al., 2016).

2.1.3.4. Effets sanitaires

2.1.3.4.1. Santé des peuplements

Enfin, le changement climatique n'est pas sans conséquences sur les interactions entre les arbres et leurs ravageurs ou parasites. Les attaques sanitaires peuvent d'ailleurs constituer des indicateurs du dérèglement climatique et des stress vécus par les écosystèmes forestiers.

A l'image des mises en garde précédentes, il faut rappeler qu'il est difficile de distinguer l'incidence de chacun des nombreux paramètres impliqués (e.g. station, peuplement, état des parcelles voisines, historique de gestion, incidents climatiques ou biotiques (ravageurs, pathogènes de faiblesse), affaiblissement, stress climatique, etc.), d'autant que les interactions entre le biotope, les arbres, les parasites et ravageurs et leurs ennemis naturels sont multiples (cf figure 25.) (Legay et al., 2007).

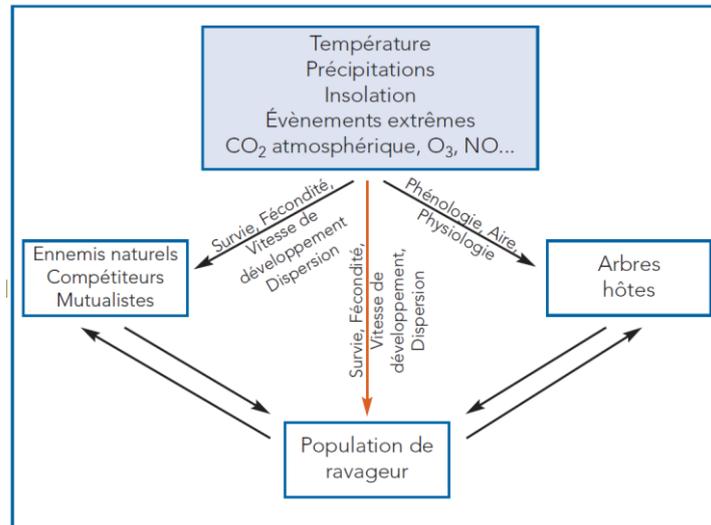


Figure 25. : Schéma des interrelations des insectes phytophages avec leurs hôtes et leurs antagonistes (Legay et al., 2007)

Le changement climatique, et plus particulièrement la hausse des températures, entraîne des conséquences directes sur les populations d'insectes forestiers : généralement, une meilleure survie hivernale, une rapidité de développement, une précocité des vols des individus adultes, une période d'activité plus longue, une multiplication des générations, une expansion en altitude et vers le nord... Effets qui risquent d'entraîner des dommages plus importants notamment sur des arbres affaiblis par ces mêmes conditions climatiques (Legay et al., 2007; Pluess et al., 2016).

Le réseau DSF° de la région Auvergne-Rhône-Alpes a ainsi pour mission de recenser et d'étudier les différents problèmes sanitaires rencontrés dans les forêts. Ces dernières années, les correspondants-observateurs (CO°) en Rhône-Alpes ont relevé de la sorte plusieurs évolutions sur la région, en partie expliquées par la sécheresse, telles que l'augmentation du déficit foliaire sur les épicéas et les sapins, la hausse des volumes scolytés en zones alpine et jurassienne (à laquelle contribuent également les chablis et les ouvertures brutales), la présence de gui* sur le sapin (notamment en stations peu favorables), et de rougissements physiologiques* printaniers et de nécroses cambiales* sur le douglas (Baubet, 2016).

De surcroît, un exemple parlant nous est donné par la chenille processionnaire du pin*, qui progresse régulièrement vers le nord et en altitude. Favorisée par des hivers doux et secs (où la température ne descend plus sous le seuil des - 16 °C, limite de survie de la colonie), elle est maintenant régulièrement observée à 1000 mètres d'altitude ou plus dans les Alpes ou le Massif central, comme l'illustre la figure 26. (a., b. et c. - cf Annexes). Enfin, le *Sphaeropsis* des pins *Diplodia pinea* ou *Sphaeropsis sapinea* entraîne d'important dégâts notamment sur le pin noir d'Autriche, les pins laricios et le pin sylvestre (rougissement des pousses, chancres*, dessèchement des houppiers suite à un orage de grêle ou un stress hydrique marqué...) pouvant conduire à des dépérissements significatifs illustrés en figure 27. (cf Annexes). Ce champignon se développe particulièrement dans des peuplements installés sur des sols à faible réserve utile ou à exposition chaude, et fragilisés par les sécheresses telles que celles de 2015, 2016 et 2017 (Legay et al., 2007; Institut national de recherche agronomique, 2013; Boutte, 2018; Csakvary, 2018).

S'il est certain que le changement climatique influe sur la santé des forêts, de nombreux facteurs interviennent dans les interactions entre parasites, ravageurs, ennemis naturels et végétaux, et rendent complexes la quantification de tel ou tel facteur. Ainsi, si des températures en hausse peuvent favoriser un organisme donné (cas des champignons thermophiles comme le chancre du châtaignier ou la maladie des bandes rouges*), l'atteinte d'une température trop élevée (supérieure à 30 °C pour la processionnaire par exemple) peut conduire à l'arrêt de son activité. Enfin, le changement global et la hausse des échanges commerciaux à l'échelle mondialisée pourraient favoriser, à l'image de la pyrale* du buis ou du dendroctone* de l'épicéa, l'introduction de ravageurs extérieurs en l'absence de leurs ennemis naturels, non sans conséquences potentiellement désastreuses sur nos forêts (on pourra citer par exemple pour les résineux, le nématode du pin *Bursaphelenchus xylophilus*, ou des scolytes asiatiques tels que le scolyte noir du Japon *Xylosandrus germanus*, etc.) (Legay et al., 2007; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et Agence pour l'environnement et le développement soutenable, 2012; Institut national de recherche agronomique, 2018).

2.1.3.4.2. Exemple du bostryche typographe *Ips typographus*

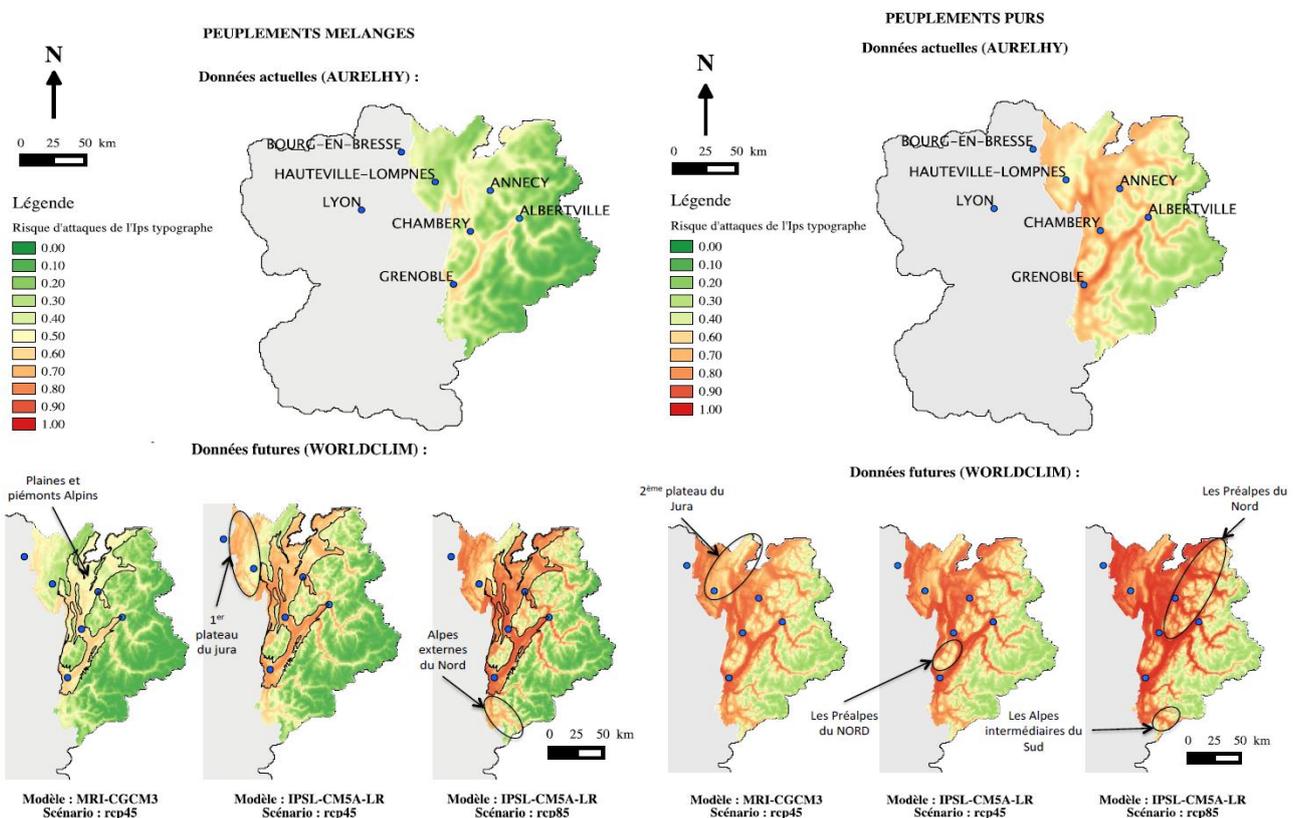
Avec 86 millions de mètres cubes sur pied environ en Auvergne-Rhône-Alpes, l'épicéa commun constitue l'essence résineuse majoritaire dans la région avec le sapin pectiné. Essence de montagne, elle constitue l'un des piliers de la filière bois locale (Centre national de la propriété forestière, 2018). L'*Ips typographus* (communément appelé bostryche typographe, bien qu'il s'agisse en réalité d'un scolyte), ravageur de l'épicéa, est l'un des principaux insectes nuisibles des forêts de montagne riches en épicéas. Inhérent au fonctionnement des pessières, il est favorisé par les tempêtes (chablis) et par les sécheresses. La quantité d'épicéas attaqués a ainsi fortement augmenté après la canicule de 2003, notamment en Savoie et Haute-Savoie. Ce scolyte constitue un exemple intéressant pour appréhender les effets directs et indirects du changement climatique sur les forêts de montagne de la région (Pluess et al., 2016; Centre national de la propriété forestière, 2018).

Les études menées sur le massif jurassien, sur le massif alpin, ainsi qu'en Suisse, s'accordent à souligner une diminution significative de l'aire favorable à l'épicéa commun dans le futur, quel que soit le scénario climatique retenu (Lechine et Abt, 2012; Troccaz, 2014; Joly, 2015; Pluess et al., 2016). La *figure 23*. (cf *Annexes*), qui illustre la modélisation de l'aire de répartition potentielle actuelle et future de l'épicéa commun en France et en Suisse, fait d'ailleurs écho à ces prévisions. Plus précisément, la *figure 28*. (cf *Annexes*) présente l'évolution attendue sur le Parc Naturel Régional du Haut-Jura de plusieurs paramètres climatiques pour le mois de juillet (température moyenne, précipitations, humidité relative, rayonnement global, ETP, bilan hydrique), à différentes échelles de temps. Un degré de vulnérabilité intégrant ces différents paramètres est ensuite proposé pour chaque échelle de temps, à la fois en année normale et en année plus déficitaire. Si ces critères pédoclimatiques sont, hormis pour les zones limites, satisfaisants les premières décennies, la vulnérabilité des écosystèmes forestiers, majoritairement composés d'épicéas, augmente ensuite fortement jusqu'à la fin des prévisions de l'étude, particulièrement à basse altitude (Joly, 2015).

Outre l'affaiblissement des arbres et la réduction des surfaces adaptées à l'épicéa, le dérèglement climatique, et notamment le réchauffement, agit directement sur les populations de scolytes. Comme l'ont montré Stadelmann et al. (2013) et Pluess et al. (2016), l'augmentation des températures conduit à une forte hausse du taux de reproduction des femelles (*figure 29*. – cf *Annexes*) et de la vitesse de développement des insectes. Qui-plus-est, la mortalité hivernale tend à régresser avec des hivers plus doux (on rappellera que la température létale est de – 30 °C pour les individus adultes et – 13 °C pour les larves. A noter qu'un froid beaucoup moins prononcé mais durable peut également être responsable de forts taux de mortalité). D'autre part, l'envol des scolytes en début de saison pourrait être avancé avec de plus fortes températures, ce qui hâterait la première période d'infestation printanière (*figure 30*. – cf *Annexes*). En effet, le typographe essaime vers de nouveaux lieux de ponte dès que la température dépasse 16°C. De même, la saison d'activité pourrait être prolongée plus tard en automne, notamment en plaine. Remarquons enfin qu'à l'inverse, l'activité des insectes pourrait se voir réduite en période de forte chaleur (supérieure à 30 °C).

Des effets indirects de deux natures différentes sont également à prendre en compte. D'abord, des sécheresses plus longues ont tendance à fragiliser l'épicéa qui devient plus sensible aux attaques et qui voit sa capacité de production de résine pour lutter contre l'invasion des scolytes réduite. Par ailleurs, l'augmentation possible du risque de tempêtes liée au changement climatique pourrait fournir des conditions optimales au typographe, qui affectionne tout particulièrement les chablis dans son cycle de développement.

Forts de cela, des chercheurs suisses ont proposé une carte de prédisposition des peuplements aux infestations d'*Ips typographus*, à différents pas de temps et pour différents scénarios climatiques. Il apparaît clairement sur ces cartes prédictives présentées en *figure 31*. (cf Annexes) que le risque de pullulation sera très élevé en 2085, particulièrement dans des forêts riches en épicéas et situées à des altitudes modérées. Des travaux similaires menés par Troccaz (2014) et illustrés en *figure 32*. ci-après sur les Alpes du Nord et les montagnes de l'Ain donnent des résultats comparables, tout en soulignant également l'impact positif du mélange d'essences dans les peuplements menacés.



NB : Les données météorologiques proviennent du modèle Aurelhy de Météo-France pour la période 1981-2010 et de Worldclim pour la période 2061-2081. Les différents modèles associés aux scénarios climatiques (RCP4.5 ; RCP6.0 ; RCP8.5) ont été développés par l'institut de météorologie Max Planck (MPI-M), l'institut Pierre-Simon Laplace (IPSL) et le laboratoire Geophysical Fluid Dynamics (GFDL), et donnent des prévisions futures pour 2070.

Figure 32. Préd dispositions actuelles et futures des forêts des Alpes du Nord françaises et des montagnes de l'Ain aux attaques d'*Ips typographus* selon la composition du peuplement et le scénario climatique (Troccaz, 2014)

Pour conclure, les conséquences du changement climatique peuvent s'avérer très diverses : augmentation de la croissance dans certaines régions ; stress, dépérissements ou attaques biotiques dans d'autres ; modification des équilibres entre essences, entre essences et milieu, entre essences et parasites ou ravageurs... Celles-ci peuvent être directes ou indirectes, positives sur certains facteurs, négatives sur d'autres, souvent en interaction, variables dans le temps et encore incertaines. De fait, les différentes études évoquées soulignent qu'il n'est pas possible d'intégrer l'ensemble des facteurs biotiques et abiotiques dans les modèles prédictifs, et proposent quasi-systématiquement des résultats pour plusieurs scénarios climatiques différents. Toutefois, et malgré leurs limites, toutes les études semblent s'accorder sur trois tendances clefs : une forte incertitude quant à l'ampleur (vitesse, amplitude, fréquence, etc.) des changements, une différenciation géographique des effets selon divers critères (altitude, exposition, pédologie, composition, etc.), et des effets s'avérant à terme de plus en plus problématiques.

2.2. Adaptation de la gestion forestière au changement climatique

Face aux changements rapides et incertains, et à la hausse attendue des perturbations sur les forêts, le maintien des diverses prestations forestières évoquées en partie 1.1.1. requiert une adaptation des écosystèmes et des pratiques de gestion forestière. C'est, en substance, ce que défend le nouveau PRFB° de la région Auvergne-Rhône-Alpes : « Seule une adaptation rapide et accompagnée de l'écosystème forestier lui permettra en effet de continuer à exercer ses fonctions de production, de protection de la biodiversité et d'atténuation du changement climatique. ». Il s'agit en conséquence de réviser nos acquis sylvicoles et de faire évoluer nos pratiques d'aménagement et de conduite des peuplements, ainsi que nos références en termes de structure, de composition, de régénération, de récolte, etc. (Riou-Nivert et Moussu, 2007; Office des forêts du canton de Berne, 2013a; Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018). Diverses pistes d'action, qui cherchent toutes à développer les possibilités d'adaptation de la forêt, sont présentées ici.

2.2.1. Concepts clefs

Les concepts structurants d'adaptation, d'atténuation et d'incertitude, déjà évoqués préalablement, sont définis dans le glossaire à la fin du rapport. Revenons néanmoins sur deux caractéristiques des écosystèmes forestiers que sont la capacité adaptative et la résilience. Nous verrons par la suite comment le forestier peut les développer dans le cadre de l'adaptation aux changements climatiques.

Tout d'abord, la capacité adaptative désigne la capacité des arbres, des écosystèmes forestiers et des systèmes socio-économiques à réagir aux perturbations et à se protéger des dégâts associés. On distingue d'une part la capacité d'adaptation inhérente des arbres et des écosystèmes forestiers qui leur permet de s'ajuster aux nouvelles conditions de milieu (phénomènes d'acclimatation, de modifications épigénétiques, de sélection naturelle, d'hybridation, d'évolution des relations symbiotiques ou compétitrices entre espèces, etc.), et de l'autre la capacité d'adaptation socio-économique qui dépend notamment des politiques publiques, des orientations des organismes forestiers, du développement économique, des connaissances et des technologies disponibles, des filières de transformation, etc. (Lindner et al., 2010).

En outre, la résilience représente la capacité qu'ont les écosystèmes – naturels ou socio-économiques – à se réorganiser afin de recouvrer leurs fonctions et leur structure suite au passage d'une perturbation, comme l'a déjà illustré la *figure 7*. (cf *Annexes*). Un écosystème forestier fortement résilient est ainsi capable de faire face à certains stress sans conséquences fondamentales sur le fonctionnement de la forêt.

Selon le niveau de stress ou de perturbation d'une part, et le niveau de résilience de la forêt de l'autre, la forêt sera plus ou moins saine et stable, comme le schématise la *figure 33*. ci-dessous. Une incertitude demeure toutefois sur le seuil de transition entre les différents stades (sain, instable, malade) (Trumbore et al., 2015).

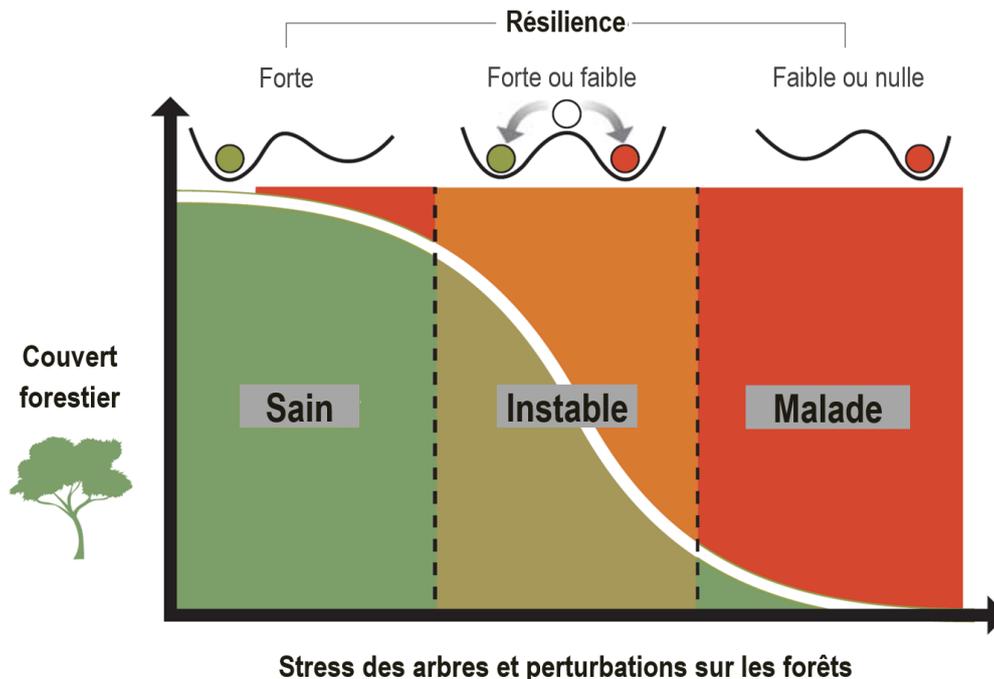


Figure 33. : Représentation schématique de l'évolution de la santé des écosystèmes forestiers selon la résilience et le niveau de stress ou de perturbation (modifié d'après Trumbore et al., 2015)

2.2.2. Mesures techniques d'adaptation

2.2.2.1. Planification et analyse économique

L'évolution accélérée des paramètres biotiques et abiotiques du milieu nécessite une prise en compte dans les choix de gestion. En effet, comme évoqué en partie 2.1.3.3., les caractéristiques des stations forestières changent ; une essence peut ainsi devenir progressivement inadaptée dans une parcelle forestière où elle l'était jadis. Nous avons vu précédemment que cette évolution du degré d'adaptation d'une essence forestière à une station donnée variait fortement selon les scénarios climatiques et la zone géographique (exposition, altitude, caractéristiques du sol, position dans l'aire de répartition potentielle de l'essence, etc.). De ce fait, il convient d'utiliser toutes les données et les outils à sa disposition (e.g. données météorologiques, données pédologiques, guide des stations, cartes prédictives de la contrainte hydrique, cartes de sensibilité aux ravageurs, etc.) pour réfléchir ses choix en intégrant le climat changeant. Des travaux sur l'autécologie des essences et leur évolution sous le climat futur ont déjà été réalisés dans certaines régions comme en Franche-Comté (Lechine et Abt, 2012) ou en Suisse (Office des forêts du canton de Berne, 2013b). De plus, l'analyse économique peut également permettre de comparer plusieurs itinéraires sylvicoles avant de les mettre en œuvre sur une forêt ou une parcelle forestière (e.g. Bruciamacchie et De Turckheim, 2005; Bréda et Brunette, 2014).

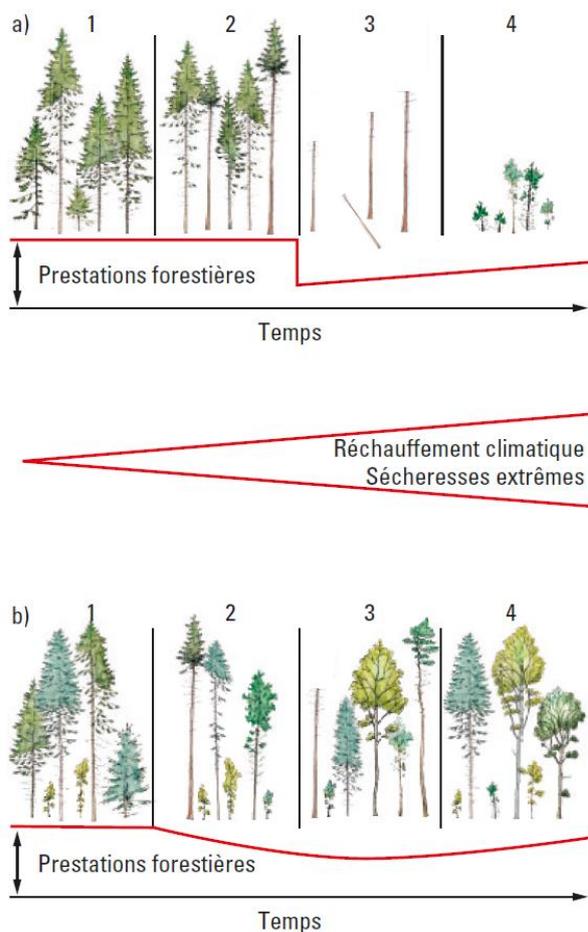
2.2.2.2. Diversité des essences

En premier lieu, une forêt adaptée aux changements climatiques doit être composée d'essences adaptées à la station et qui présentent un bon potentiel de développement sous les climats futurs. A titre d'exemple, si une essence implantée en station limite présente d'ores et déjà des signes d'affaiblissement ou de stress dus à la sécheresse (cas de certains résineux à basse altitude), celle-ci semble peu adaptée pour l'avenir. Tout en conservant l'existant, il peut être envisagé de mélanger progressivement cette dernière (selon les cas, par régénération naturelle et/ou par enrichissement) avec diverses essences autochtones et allochtones potentiellement plus adaptées (en fonction des caractéristiques locales, s'agirait-il plus de hêtre, d'érable sycomore, de mélèze, de douglas, de pin noir, voire de cèdre de l'Atlas, de sapin de Bornmüller, d'épicéa d'Orient, de thuya géant, etc. ?) (*figure 34. – cf Annexes*).

Les outils de prévision (cartes de répartitions potentielles), d'identification et de recommandations techniques (guides de station, guides de sylviculture et typologies de peuplements mis à jour, fichier écologique des essences en Wallonie), de même que les outils de diagnostic (BioClimSol*, IKS*, ARCHI*, BILJOU*, documents locaux des structures forestières) peuvent permettre d'affiner le choix d'essences d'avenir, qu'il s'agisse d'essences objectif ou d'accompagnement (Bruciamacchie et De Turckheim, 2005; Courbet et al., 2012; Office des forêts du canton de Berne, 2013a, 2013b; Lemaire, 2014; Pluess et al., 2016; Service public de Wallonie, 2018). Dans cet esprit, les services forestiers bernois (Suisse) ont publié des fiches techniques à destination des propriétaires forestiers pour illustrer le comportement futur attendu des essences à différentes altitudes (cf extrait en *figure 35. – cf Annexes*). De même, le Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes (2017) a ajouté un additif au guide des stations forestières des Alpes du Nord et des montagnes de l'Ain, datant initialement de 2006. Celui-ci met en exergue plusieurs principes d'adaptation qui seront repris ultérieurement dans ce rapport, et propose également des tableaux d'aide au choix des essences intégrant la notion de vigilance climatique. L'exemple pour les stations du montagnard externe (groupe des US 5) en situation d'ubac et d'adret, pour les essences résineuses est ainsi présenté en *figure 36. (cf Annexes)*.

D'autre part, le mélange d'essences améliore la résistance des peuplements aux perturbations, tout comme leur résilience, c'est-à-dire leur capacité à recouvrer leurs fonctions et leur structure après une perturbation (i.e. retour à l'équilibre dynamique initial). Les travaux présentés en *figure 32.*, qui illustrent la prédisposition des forêts des Alpes du Nord françaises et des montagnes de l'Ain aux attaques d'*Ips typographus*, mettaient ainsi en évidence l'influence positive d'une composition mélangée sur la résistance aux infestations de scolytes. D'autres études soulignent l'importance d'une composition diversifiée pour favoriser la résistance au vent et aux attaques sanitaires. Parallèlement, la présence de plusieurs essences permet de répartir les risques : de cette manière, les autres essences peuvent constituer un relais si une essence est touchée par des dépérissements, ce qui permet de maintenir au moins partiellement les prestations forestières dans un contexte instable, comme le montre la *figure 37. ci-après*.

Au-delà des aspects cultureux (e.g. obtention de la régénération naturelle, éducation des jeunes sujets) et environnementaux (e.g. stabilité et résilience), le mélange d'essences peut s'avérer également utile en termes économiques, les prix de vente des différents produits forestiers étant variables. L'étude menée par Knoke et al. (2008) démontre par exemple qu'un mélange feuillus / résineux permet de réduire le risque économique plus fortement que les recettes financières (*figure 38. – cf Annexes*) (Bruciamacchie et De Turckheim, 2005; Roman-Amat, 2007; Knoke et al., 2008; Office des forêts du canton de Berne, 2013a; Pluess et al., 2016).



Cas a) L'essence préexistante (e.g. l'épicéa) est maintenue alors que le risque de perturbation augmente. Les changements climatiques et ses conséquences (sécheresses, tempêtes, dégâts sanitaires, etc.) entraînent un effondrement du peuplement. Différentes essences viennent s'installer après le passage de la perturbation, et les prestations forestières repartent progressivement.

Cas b) Le peuplement existant est converti vers un peuplement mélangé (mélange d'essences d'abord sous couvert). La diversité spécifique répartit progressivement les risques de perturbation ; lors d'une perturbation, les prestations forestières ne sont que partiellement réduites et ré-augmentent rapidement.

A noter que dans les deux cas, la production de résineux diminue, mais avec des risques plus importants sur les produits et services de la forêt dans le cas a).

Figure 37. : Représentation schématique de l'effet de la composition en essences sur le maintien des prestations forestières (Pluess et al., 2016)

2.2.2.3. Diversité génétique

La diversification des peuplements passe aussi par la variété génétique. Lors de plantations, le recours à des plants plus adaptés au climat futur (e.g. provenances d'origines plus méridionales ou plus sèches, individus améliorés génétiquement) est à favoriser. Les règles de bon sens associées à la plantation sont plus que jamais à intégrer aux opérations de reboisement : diagnostic stationnel préalable, adaptation essence/station, achat de plants « à la planche »*, attention portée au stockage et à la fraîcheur des plants, aux opérations de plantations et aux travaux, etc. C'est ainsi que les « conseils d'utilisation des matériels forestiers de reproduction » présentés par le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation et l'IRSTEA en 2017 présentent la diversité génétique comme l'un des trois facteurs principaux de réussite d'une plantation, aux côtés de la qualité génétique et phénotypique des plants et de leur bonne adéquation au site de plantation. Que ce soit à l'échelle du boisement ou du massif forestier*, mélanger les essences et les provenances réduit les risques liés aux aléas climatiques et sanitaires. Cela permet également de fournir, au sein du peuplement, des phénotypes potentiellement adaptés aux conditions climatiques futures (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et Agence pour l'environnement et le développement soutenable, 2012; Pluess et al., 2016; Pierangelo et al., 2017).

Dans le cadre de la régénération naturelle, une durée de régénération importante (plusieurs années) peut augmenter la variabilité génétique au sein d'un peuplement, améliorant l'adaptation aux changements climatiques grâce aux individus bénéficiant d'un patrimoine génétique adéquat (*figure 39. – cf Annexes*). Les zonages réglementaires (e.g. réserves naturelles, conventions régionales, etc.) peuvent néanmoins constituer un frein à l'introduction de nouvelles essences ou provenances dans certaines zones (Cizabuiroz, 2014; Pluess et al., 2016; Préfet de la région Auvergne-Rhône-Alpes, 2018).

2.2.2.4. Diversité structurelle

De surcroît, un autre principe d'adaptation consiste à maintenir (jardinage) ou à augmenter (conversion et jardinage) la diversité structurelle, c'est-à-dire l'hétérogénéité des diamètres, des hauteurs et des âges des arbres, comme illustré en *figure 40. (cf Annexes)*. Cette diversité verticale développée à l'échelle de la parcelle (futaie jardinée par bouquets ou par pieds d'arbres) ou de la forêt (futaie irrégulière par parquets, par bouquets ou par pieds d'arbres), à l'image des deux principes précédents, permet à la fois de réduire les risques liés aux perturbations, et d'augmenter la résilience des forêts grâce au relais fourni par les différentes classes d'âge représentées dans le peuplement (Lanier et al., 1994; Bruciamacchie et De Turckheim, 2005; Pluess et al., 2016).

En ce qui concerne le premier aspect (stabilité face aux perturbations), Bruciamacchie et De Turckheim (2005) ont montré, à travers divers exemples chiffrés, que les peuplements réguliers étaient largement plus touchés par les dégâts de chablis et de volis* que les peuplements à structure jardinée ou en cours de conversion. En effet, les risques liés aux tempêtes étant fonction de la hauteur de chaque arbre, les sujets d'une forêt irrégulière n'y sont pas soumis avec la même intensité. Outre cela, si l'on considère à présent un aléa d'ordre biotique, les insectes nuisibles ont souvent des diamètres d'attaque de prédilection ; par exemple, le bostryche typographe de l'épicéa affectionne particulièrement les bois de plus de 20 cm de diamètre et de plus de 80 ans. Ainsi, une structure étagée – et qui-plus-est en forêt mélangée – contribue de fait à freiner son expansion (Lanier et al., 1994; Bruciamacchie et De Turckheim, 2005; Pluess et al., 2016).

Le second principe souligne l'intérêt de la stratification verticale pour recouvrer la structure et les fonctions de la forêt après un stress ou une perturbation. Le maintien d'un couvert continu assure une permanence du microclimat forestier (lumière, température, hygrométrie...), favorable à la régénération diffuse et continue et à l'éducation des jeunes sujets, ainsi qu'à la reprise rapide de la croissance végétale après un accident biotique ou abiotique (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et Agence pour l'environnement et le développement soutenable, 2012; Pluess et al., 2016).

Dans cet esprit, le Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes (2017), dans son additif au guide des stations forestières des Alpes du Nord et des montagnes de l'Ain, met en exergue les trois axes de diversité qui viennent d'être évoqués, tant à l'échelle spécifique, génétique que structurelle. Les modalités techniques de ces objectifs ainsi que des mesures également évoquées (e.g. adéquation essences/station, veille sanitaire, sylviculture dynamique, expérimentations, etc.) sont disponibles en *figure 36. (cf Annexes)*.

Enfin, il est nécessaire de rappeler, à l'instar de remarques déjà énoncées, que le forestier doit faire face à une multiplicité de situations toutes particulières du fait de la station, du peuplement et son histoire, du niveau de vulnérabilité en présence, etc. Tout comme les autres pratiques sylvicoles, le traitement en futaie irrégulière ou jardinée peut s'avérer plus adapté à certains secteurs (en montagne notamment), et s'il peut présenter certains avantages (e.g. revenus réguliers, faible coût de la régénération naturelle, production de bois de qualité, multifonctionnalité, stabilité, etc.), sa mise en œuvre rencontre certaines difficultés qu'il convient de prendre en compte (e.g. technicité de la gestion, besoin en main d'œuvre qualifiée, nécessité de regroupement pour commercialiser les coupes jardinatoires sur les très petites parcelles, manque de références sylvicoles chiffrées, etc.) (Bruciamacchie et De Turckheim, 2005; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et Agence pour l'environnement et le développement soutenable, 2012; Courbet et al., 2012).

2.2.2.5. Sylviculture dynamique

D'autre part, la résistance des arbres constitue un levier d'action supplémentaire pour l'adaptation aux changements climatiques. Plusieurs travaux (e.g. Roman-Amat, 2007; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et Agence pour l'environnement et le développement soutenable, 2012; Office des forêts du canton de Berne, 2013a; Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes, 2017; Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018) incitent par conséquent à la réduction de la compétition entre les arbres (plusieurs paramètres sont évoqués selon les cas, tels que la réduction de la surface foliaire, de la surface terrière, de la densité, du capital sur pied, etc.) afin de limiter le stress hydrique. L'éclaircie, opération sylvicole concomitante, permet ainsi de favoriser les arbres d'avenir en augmentant la quantité de ressources qui leur sont allouées (eau, lumière, éléments minéraux).

Elkin et al. (2015), qui ont étudié l'efficacité à court et à long terme de cette pratique dans les Alpes, ont mis en évidence un effet positif de l'éclaircie sur la résistance aux sécheresses, quelle que soit l'altitude considérée. Un effet plus durable est attendu à hautes et moyennes altitudes, avec une réduction au moins temporaire de la mortalité des espèces sensibles au stress hydrique. Toutefois, les travaux de recherche menés en Suisse (Elkin et al., 2015; Pluess et al., 2016) soulignent que si l'éclaircie permet d'améliorer la résistance aux perturbations telles que la sécheresse pendant un temps donné (quelques décennies), elle n'apparaît pas comme une solution efficace à long terme au vu de l'évolution attendue des conditions climatiques.

On précisera enfin que si l'objectif de cette sylviculture « dynamique » est bien d'améliorer la disponibilité en eau et en éléments nutritifs pour les arbres du peuplement, il convient de l'intégrer avec bon sens aux caractéristiques de chaque station : par exemple, il sera nécessaire de réfléchir l'intensité et la fréquence des éclaircies dans un peuplement sujet à la concurrence arbustive et herbacée (laquelle mobilise elle aussi de l'eau, peut freiner la régénération et s'avérer sensible aux incendies). De même, il faudra intervenir progressivement et par étapes dans une forêt capitalisée qui n'a pas été exploitée depuis longtemps, afin d'éviter de déstabiliser le peuplement par une intervention trop brutale (Office des forêts du canton de Berne, 2013a; Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes, 2017).

2.2.2.6. Choix des critères d'exploitabilité

Précisons tout d'abord que la question des durées de révolution et des diamètres cibles sera traitée au regard de l'adaptation au changement climatique, qui vise à maintenir le niveau de prestations forestières sous un climat changeant. Les débats liés à l'adéquation entre les ressources forestières et les demandes du marché seront quelque peu écartés de cette partie, et le lecteur pourra approfondir la question en se référant au dossier complet « Résineux – Quel diamètre de récolte ? » du numéro 224 de *Forêt entreprise* paru en octobre 2015.

La réduction des critères d'exploitabilité (âge, diamètre) est un moyen d'adaptation concomitant à la dynamisation de la sylviculture et qui présente plusieurs avantages... mais qui pose également un certain nombre de questions.

D'une part, cette mesure permet de diminuer la durée d'exposition des arbres aux aléas naturels (sécheresse, tempête, incendie, attaque biotique, etc.). Elle offre corrélativement une possibilité de rajeunissement du peuplement et donc une meilleure résistance des arbres – qui sont alors plus jeunes, dynamiques et moins hauts – aux diverses perturbations, qu'elles soient biotiques (e.g. ravageurs) ou abiotiques (e.g. tempêtes). Ce rajeunissement de la forêt peut aussi se justifier par l'augmentation de croissance permise dans certaines régions par l'augmentation de la température et du taux de CO₂ atmosphérique, déjà évoquée en partie 2.1.3.1.

Par ailleurs, des durées de révolution plus courtes facilitent l'évolution du patrimoine génétique et de la composition en essences du peuplement, que ce soit par voie naturelle et/ou artificielle (Roman-Amat, 2007; Office des forêts du canton de Berne, 2013a; Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et Agence pour l'environnement et le développement soutenable, 2012; Pluess et al., 2016; Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes, 2017).

A noter que cette mesure peut être couplée à la mesure précédente : en effet, des éclaircies dynamiques peuvent permettre d'atteindre les diamètres d'exploitabilité plus rapidement, tout en réduisant les risques de dépérissement, de chablis, etc. (Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes, 2017). D'un point de vue économique, Bréda et Brunette (2014) ont comparé plusieurs itinéraires sylvicoles pour des peuplements réguliers de douglas en Bourgogne. Celles-ci ont souligné l'intérêt de la réduction de la révolution et ont montré, en s'appuyant sur le calcul du bénéfice actualisé en séquence infinie (BASI^{o*}), que la stratégie d'adaptation optimale était fonction de la quantité de dommages que pourrait subir le peuplement. Ainsi, si un aléa touche moins de 15 % du volume sur pied, il est plus économique de maintenir un itinéraire classique (révolutions successives de 55 ans). Pour 15 à 30 % du volume touché, il est plus rentable de réaliser d'abord une révolution classique de 55 ans, puis des exploitabilités plus courtes (40 ans). Au-delà de 30 % du volume endommagé, il est plus intéressant de réduire immédiatement les révolutions à 40 ans.

Néanmoins, la réduction des âges ou des diamètres d'exploitabilité dans une logique d'adaptation soulève plusieurs freins. Ainsi, l'augmentation associée de la fréquence des interventions peut engendrer des conséquences à la fois économiques et techniques (coût, dégâts d'exploitation sur le peuplement restant, dégradation du sol). De plus, de trop courtes rotations, notamment en systèmes coupe rase/plantation, pourraient entraîner à terme un épuisement du sol par exportation des éléments minéraux contenus dans le bois jeune et les éléments fins. Les risques liés aux chantiers de plantation (coût, dégâts de gibier, sécheresse, attaques d'hylobe* sur les résineux) ne sont pas non plus à négliger. De surcroît, si cette mesure pourrait permettre de produire des bois de moindre diamètre en accord avec les demandes de la filière, elle ne peut se suffire à elle-même dans le sens où des peuplements équiennes monospécifiques même rajeunis offrent peu de résilience face aux aléas climatiques (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et Agence pour l'environnement et le développement soutenable, 2012; Chopard et al., 2016; Pluess et al., 2016). Enfin, nous verrons, lors de l'analyse de l'enquête auprès des gestionnaires, que cette question appelle également, dans certains contextes montagnards, à considérer des thématiques de qualité et de résistance aux attaques biotiques ; nous y reviendrons.

2.2.6. La gestion forestière adaptative en réponse au changement climatique

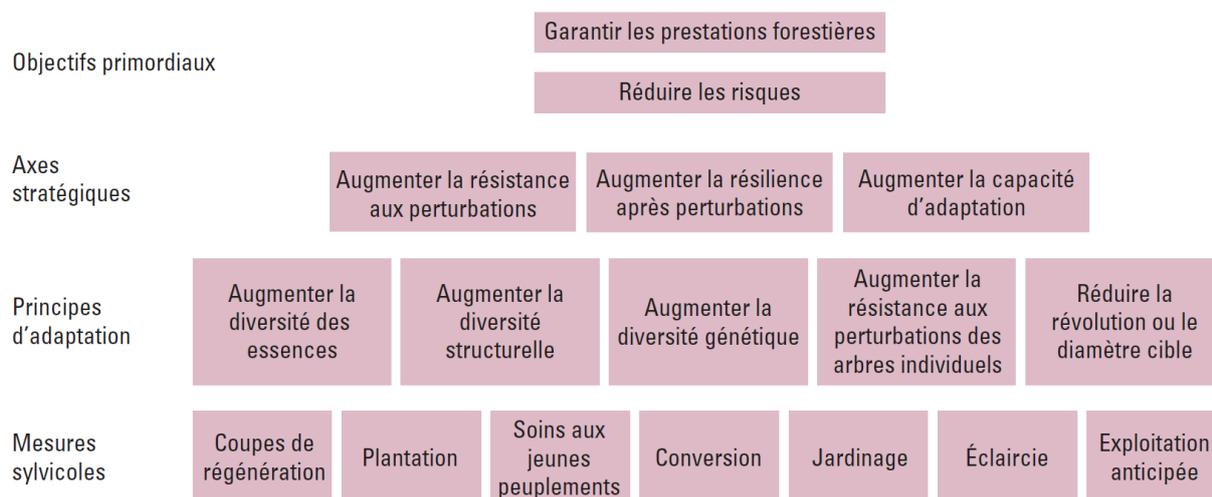


Figure 41. Moyens d'adaptation de la forêt aux changements climatiques, déclinés en objectifs, axes stratégiques, principes et mesures sylvicoles (Pluess et al., 2016)

Ainsi, plusieurs mesures d'adaptation de la sylviculture au changement climatique ont été décrites indépendamment dans cette partie. Une structuration de ces éléments est présentée en *figure 41*. ci-dessus. En conclusion, nous proposons ici de rappeler quelques principes généraux de la sylviculture adaptative qui cherche à associer au mieux ces différentes méthodes d'action.

Nous tenons d'abord à insister sur l'absence de certitudes et de solutions facilement reproductibles. S'il est avéré que les changements climatiques en Auvergne-Rhône-Alpes vont entraîner des modifications importantes sur la structure, la composition, la productivité et le fonctionnement des forêts, de par une augmentation des températures, des modifications du régime hydrique et une hausse des phénomènes extrêmes, il est difficile de quantifier ces effets. En outre, l'hétérogénéité des forêts de montagne (altitudes, expositions, caractéristiques topographiques, microclimats, diversités structurelles, spécifiques et génétiques) poussent à attendre une diversité d'impacts mais également de réponses aux changements climatiques (Courbaud et al., 2010; Pluess et al., 2016).

D'autre part, les mesures proposées sont à considérer au regard de chaque station et peuplement, et doivent pouvoir intégrer le capital boisé déjà existant, d'une part, et le degré de vulnérabilité de la parcelle de l'autre. Le forestier évitera donc les mesures trop brutales pouvant conduire à des situations d'impasse, comme une décapitalisation excessive remettant en cause la durabilité de la récolte ou des reboisements soldés par des échecs. Comme déjà évoqué, chacune des mesures mises en œuvre doit ainsi être précédée d'un diagnostic systémique (conditions stationnelles actuelles et futures, stade de développement et état sanitaire du peuplement, objectifs fixés dans le document de gestion durable, mesures déjà entreprises, etc.) afin d'être intégrée à une stratégie globale. De cette manière, et pour reprendre les deux cas énoncés juste avant, une dynamisation de la sylviculture par une réduction progressive des critères d'exploitabilité et du capital sur pied pourra par exemple être proposée dans une parcelle donnée nommée « A » afin de réduire la compétition hydrique et les risques de dépérissements, en maintenant cependant un niveau de capital suffisant pour assurer une production de bois régulière et faire perdurer la fonction de protection sous-jacente.

De même, la parcelle « B » pourra être enrichie dans des endroits ciblés à forte vulnérabilité, à l'aide d'une essence déjà introduite précédemment avec succès dans une parcelle similaire. En résumé, l'adaptation doit se faire avec mesure et en valorisant les synergies pouvant parfois apparaître entre les mesures, à l'image de la régénération naturelle qui peut dans certains cas contribuer à la fois à la diversification génétique, spécifique et structurelle (Courbaud et al., 2010; Lechine et Abt, 2012; Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes, 2017).

Enfin, l'adaptation de la gestion forestière requiert de hiérarchiser les parcelles forestières en fonction de leur sensibilité aux changements climatiques et de l'urgence d'action associée. Comme nous le verrons ultérieurement, certaines forêts ne sont pas menacées en priorité ; c'est le cas de forêts aux essences bien adaptées à la station, diversifiées, qui rencontrent actuellement des effets positifs dus aux changements climatiques (hausse de croissance), à l'image de certaines forêts de haute altitude dans les Alpes, et qui ne requièrent sans doute pas de grands bouleversements comme un changement d'essences précipité. A l'inverse, il convient de bien distinguer les parcelles problématiques constituées d'essences en limite d'aire de répartition, et qui présentent d'ores et déjà des signes de faiblesse (problèmes sanitaires, dépérissements...). A ces divers degrés de vulnérabilité, correspondent divers degrés d'adaptation pouvant être mis en œuvre par le gestionnaire, allant du maintien de l'existant au changement d'essence en passant par l'amélioration de la résistance et de la résilience des peuplements. Ces degrés d'adaptation se doivent aussi de considérer l'ensemble des enjeux en présence ainsi que l'intensité du risque acceptée par le propriétaire (Lechine et Abt, 2012; Office des forêts du canton de Berne, 2013a; Pluess et al., 2016; Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes, 2017).

Pour conclure, l'adaptation au changement climatique requiert une réflexion systémique et une application locale personnalisée de la part du gestionnaire, en application du cadre fourni par le document de gestion qui permet une transmission durable des orientations sylvicoles. La sylviculture adaptative intègre, par expérimentations et par actions régulières et suivies, le soin aux peuplements (suivi sanitaire, limitation des dégâts d'exploitation et de la dégradation du sol), la recherche de la diversité à tous les niveaux (structurelle, spécifique, génétique), et l'augmentation de la résistance et de la résilience des peuplements (amélioration de la stabilité du couvert, dynamisation de la sylviculture). Une forêt diversifiée, structurée, claire, jeune, mélangée et comportant des essences adaptées au climat futur apparaît comme adaptée et surtout adaptable à l'avenir ; en effet il s'agit avant tout, dans une logique d'adaptation permanente au contexte de plus en plus incertain, d'ouvrir le champ des possibles et de pouvoir orienter la forêt vers le maintien de ses diverses prestations.

3. Enquête auprès des gestionnaires forestiers publics et privés des massifs montagneux de la région Auvergne-Rhône-Alpes

3.1. Les forêts de montagne en Auvergne-Rhône-Alpes

L'enquête menée dans le cadre du projet MACCLIF a porté sur les gestionnaires forestiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes, région choisie de par son importance montagnarde. En effet, les deux tiers de la surface régionale sont classés en zone de montagne, et 88% des forêts sont situées dans l'un des trois grands massifs montagneux de la région (Massif central, Alpes, Jura) localisés en *figure 1*. (*cf Annexes*). Les caractéristiques principales (répartition du boisement, structures gestionnaires) de la forêt régionale ayant déjà été décrites en partie 1.1.2., nous nous attacherons ici à donner quelques éléments relatifs à ces trois grands massifs montagneux régionaux.

Rappelons tout d'abord que la région Auvergne-Rhône-Alpes est soumise à des influences climatiques multiples : montagnardes en altitude, méditerranéennes au sud, continentales au nord, océaniques à l'ouest... La diversité des contextes climatiques, géologiques et pédologiques est clairement soulignée par le nombre de sylvoécotones* (25) et de massifs forestiers (22) qui sont représentés en *figure 42*. (*cf Annexes*). Conséquemment, la matrice SWOT* de la forêt régionale rend compte d'une pluralité de faiblesses (dont certaines comme le morcellement ont déjà été évoquées précédemment), mais également de nombreux atouts et d'opportunités. Ces éléments de contexte sont repris en *figure 43*. (*cf Annexes*), et nous décrirons ici très succinctement, en nous appuyant sur les constats du PRFB, les trois grands massifs montagneux régionaux (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018).

3.1.1. Massif alpin

La partie rhônalpine des Alpes intègre les départements de la Haute-Savoie, de la Savoie, de l'Isère et de la Drôme, et rassemble les massifs forestiers du Chablais-Faucigny-Bornes-Aravis, des Alpes intermédiaires, du sillon alpin, du Trièves-Matheysine-Oisans, du Vercors, et du Diois-Baronnies. Le massif est dominé par le sommet du Mont-Blanc (Haute-Savoie) avec une altitude proche de 4810 mètres. Les contextes sont divers, tant au point de vue sylvicole avec la présence d'importantes pessières et hêtraies-sapinières (futaies irrégulières partiellement régularisées), mais également des pinèdes dans le Sud, qu'économiquement avec des résineux de qualité souvent difficiles à mobiliser, et des peuplements moins productifs dans le Diois.

3.1.2. Massif central

Le Massif central, plus grand massif français avec 85 000 km², concerne les départements rhônalpins de l'Allier, du Puy-de-Dôme, du Cantal, de la Haute-Loire, de l'Ardèche, de la Loire et du Rhône, et comprend notamment les massifs forestiers du Bourbonnais, de Combrailles, des Volcans-Limagne, des Monts du Cantal, de la châtaigneraie cantalienne, de la Margeride-Aubrac, du Livradois-Forez, du Velay, du Vivarais-Cévennes, du Pilat-nord Vivarais, de l'Ardèche méridionale et du Beaujolais-Roannais-Lyonnais. Il est dominé par le Puy de Sancy (Puy-de-Dôme) qui culmine à 1885 mètres d'altitude. Ce massif regroupe à la fois des feuillus (chêne, hêtre, châtaignier) et des résineux divers (sapin, épicéa, douglas, pin sylvestre). C'est là que l'on retrouve les plus fortes productivités de la région (10,7 m³ par hectare et par an en moyenne dans le Livradois-Forez, 10,3 m³ dans le Velay, 9,1 m³ dans le Beaujolais-Roannais-Lyonnais). Comparé aux Alpes, la tradition forestière est davantage tournée vers des sylvicultures régulières.

3.1.3. Massif jurassien

A l'image des deux massifs précédents, le massif jurassien dépasse largement les limites de la région Auvergne-Rhône-Alpes, son point culminant étant pourtant situé dans la région. Il s'agit en l'occurrence du Crêt de la Neige (Ain) et de ses 1720 mètres d'altitude. Seul des trois massifs à ne pas être actuellement sujet au risque d'incendie comme l'illustre la *figure 44*. (cf *Annexes*), il comprend, sur sa partie rhônalpine, le massif forestier du Bugey-Jura. Constitué de feuillus et de résineux, il fait face à une explosion du hêtre (localement dénommé « foyard »), et à une remise en question de l'épicéa à basse altitude. Les peuplements majoritaires, constitués d'épicéa, de sapin et de hêtre, sont surtout gérés en futaie irrégulière mais ont connu une régularisation dans les gros bois.

3.2. Méthodologie de l'enquête

Cette étude menée dans le cadre du projet MACCLIF vise à établir un état des lieux de la perception et de la prise en compte du changement climatique par les forestiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes, et plus particulièrement ceux travaillant en zone de montagne. Tel qu'évoqué en introduction, on cherche à répondre aux questions suivantes : « Que pensent les gestionnaires forestiers du changement climatique en Auvergne-Rhône-Alpes ? Quelles sont les stratégies d'adaptation sylvicoles mises en œuvre ? Quels sont les freins à résoudre et les initiatives à développer ? ».

L'étude en question constitue un apport complémentaire aux questionnaires auprès des propriétaires et gestionnaires déjà évoqués en introduction, et ne cherche de fait aucunement à procurer des données quantitatives. Au contraire, l'étude s'intéresse à la perception, et aux raisons qui poussent – ou non – tel ou tel gestionnaire à mettre en place des mesures d'adaptation. Elle cherche aussi à rassembler le maximum de points de vue et d'initiatives techniques d'adaptation. Pour ce faire, une enquête qualitative s'appuyant sur des entretiens semi-directifs a été proposée. Cette méthode, fréquemment utilisée en recherche et en sciences humaines, présente en effet l'intérêt de pouvoir recueillir d'importantes quantités d'informations sur les sujets qui nous intéressent, tout en assurant la bonne comparabilité des données recueillies. Nous y reviendrons ultérieurement lorsque nous évoquerons les outils appuyant la démarche, tels que le guide d'entretien ou le support itératif de comptes rendus.

3.3. Echantillonnage

Afin de recueillir la plus grande diversité d'avis et d'expériences de terrain, il a été choisi de diversifier à la fois les structures et les positions géographiques des gestionnaires interrogés. Si certains ont été choisis de manière aléatoire, d'autres ont été recommandés par d'autres gestionnaires car présentant un intérêt spécifique pour l'enquête (point de vue manquant dans l'échantillon, enjeu local particulier, initiatives originales, etc.). A la différence des questionnaires quantitatifs menés dans le cadre du projet MACCLIF national, il s'agit donc d'un « tirage orienté », ce qui explique que les résultats ne soient pas statistiquement généralisables à l'ensemble de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

Bien que la forêt privée couvre la majorité de la superficie forestière régionale, ses spécificités (e.g. 12 % seulement des propriétaires possèdent plus de 4 ha, une proportion similaire de la surface bénéficie d'un document de gestion durable tel qu'un PSG ou un CBPS, certaines forêts non soumises à un plan simple de gestion ne font pas systématiquement l'objet d'une gestion par leur propriétaire) nous ont poussé à ne consacrer que la moitié des rencontres aux gestionnaires privés (Centre national de la propriété forestière, 2018).

Ainsi, 50 gestionnaires forestiers ont pu être rencontrés au cours de 40 entretiens. En effet, il a pu arriver que l'enquête soit accompagnée lors de l'entretien ; par exemple, un directeur d'agence de coopérative et son responsable gestion / sylviculture.

La diversité des profils et situations recherchée en accord avec les membres du projet MACCLIF a pu être respectée, comme le détaille le *tableau 2* ci-après ; les entretiens intègrent en effet des gestionnaires publics et privés (en importance similaire), intervenant dans les trois massifs montagneux de la région (par ordre d'importance en surface), et opérant à la fois dans l'aménagement forestier (i.e. rédaction de documents de gestion durable en forêt publique et privée) et dans la gestion forestière opérationnelle (organisation des coupes et travaux, commercialisation des bois, etc.). De même, les structures forestières impliquées sont variées, en forêt publique avec l'Office national des forêts (direction territoriale, agences territoriales, unités territoriales), et en forêt privée avec, par ordre d'importance, les cinq coopératives forestières intervenant dans la région, des experts forestiers, des gestionnaires forestiers professionnels, et quelques forestiers additionnels (membres du CRPF-DSF, gestionnaire forestier pour le compte d'une scierie).

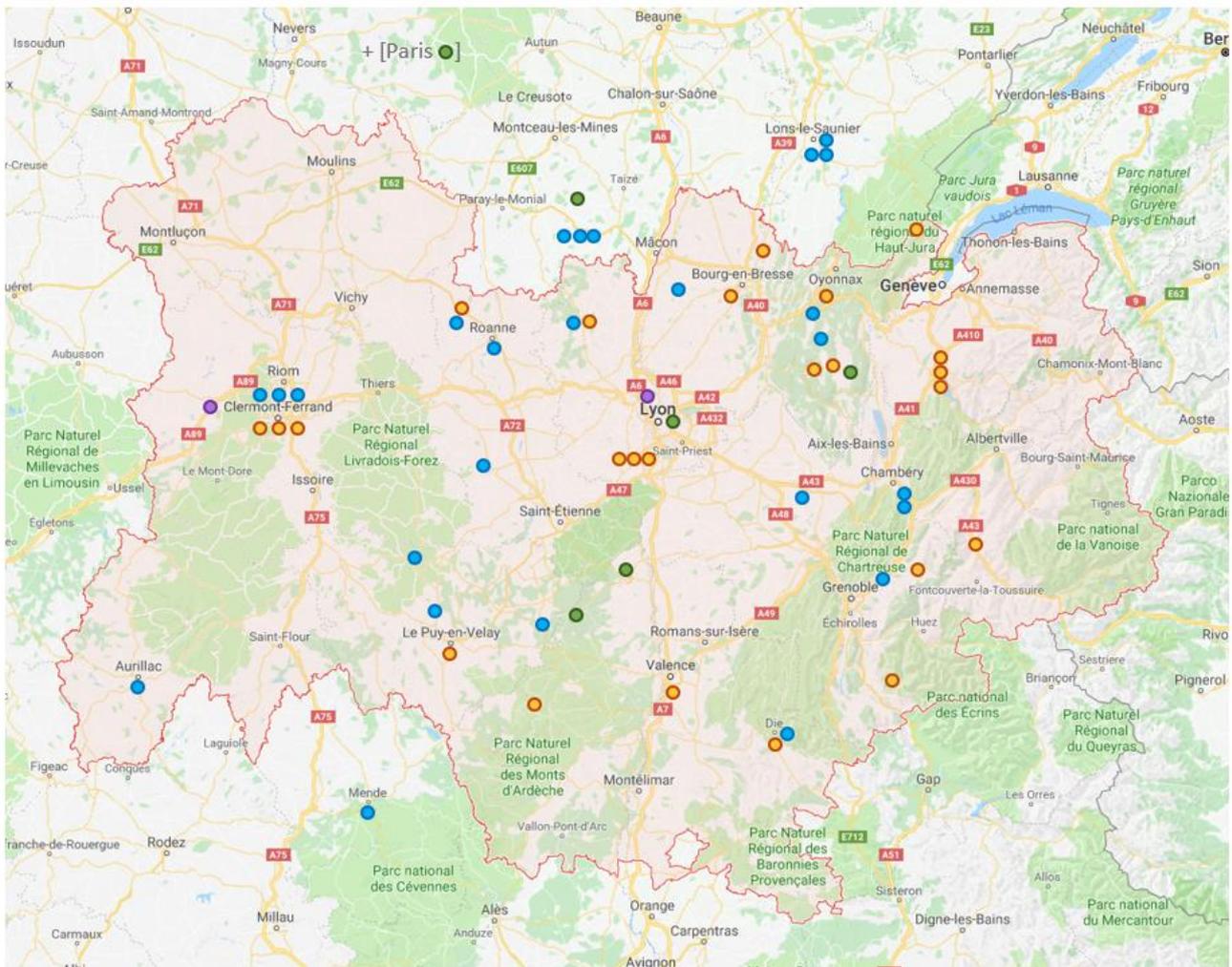
Types d'activités	Entretiens conduits	Personnes rencontrées
RUT°	6	7
TFT°	6	9
Aménagistes	6	6
Chargés de sylviculture	2	2
Forêt publique	20	24
Coopératives	10	13
Experts	5	7
GFP°	3	3
Autres gestionnaires	2	3
Forêt privée	20	26
Total	40	50

Ratios (entretiens)	
Type de propriété	
Forêt publique	50%
Forêt privée	50%
Massif d'activité principal	
Massif Central	19
Alpes	12
Jura	9
Membres de réseaux	
DSF	4
RENECOFOR°	1

° : cf index des sigles

Tableau 2. : Récapitulatif et caractéristiques de l'échantillon de gestionnaires forestiers interrogés (Bertrand, 2018)

En complément de ces indicateurs, la *figure 45*, présentée ci-après propose une représentation graphique de la localisation des bureaux des gestionnaires rencontrés dans la région. La nécessité de diversité géographique requise par la visée de l'étude, tant en forêt publique que privée, semble également bien respectée. Deux précisions sont cependant à apporter sur cette carte. La première concerne les gestionnaires dont le rayon d'action est large (cas de certains aménagistes, de coopératives, d'experts forestiers ou de GFP par exemple). Si la localisation du bureau du gestionnaire a été retenue par souci de clarté et de représentation, elle n'exclue pas une expérience sur un large secteur. Parallèlement, la présence de deux localisations de gestionnaires au même endroit ne signifie pas forcément que ceux-ci travaillent sur les mêmes zones géographiques. Enfin et conséquemment, si certains bureaux de gestionnaires apparaissent situés en dehors des limites officielles de la région, c'est que leur rayon d'action est situé sur plusieurs régions à la fois, dont la région Auvergne-Rhône-Alpes. A noter que les journées d'échanges (formations, séminaires, tournées) et les travaux menés au CRPF sont également repérés sur la carte.



Localisation des bureaux des personnes interrogées

- Gestionnaire public
- Gestionnaire privé

Rencontres ayant eu lieu hors enquête

- CRPF
- Journées d'échanges

Figure 45. Localisation géographique des gestionnaires forestiers rencontrés lors de l'enquête (Bertrand, 2018)

3.4. Préparation et déroulement des rencontres de terrain

Les entretiens ont eu lieu en face à face, au bureau ou sur le terrain, à la convenance du gestionnaire. Seuls 2 des 50 gestionnaires ont été enquêtés par téléphone, pour des raisons pratiques. La durée des échanges s'est avérée très variable, allant de 1 heure à une journée entière, avec une moyenne de 2 heures et demie par rencontre. Ces échanges, parfois accompagnés de tournées de terrain (e.g. visites de chantiers de plantations ou de travaux forestiers, martelages, exemples de gestion, observation de peuplements présentant telle ou telle composition ou structure, études de problèmes sanitaires, etc.), ont permis de développer un climat de confiance avec la personne interrogée.

Les entretiens ont été menés en accord avec les principes de l'entretien semi-directif, qui cherche à collecter des avis et des expériences sur différents thèmes préalablement définis, tout en laissant une liberté d'expression importante à la personne enquêtée. Le guide d'entretien, établi pour assurer la conduite de l'enquête, est disponible en *figure 46*. (cf *Annexes*). Celui-ci constitue la trame des entretiens et rassemble une série de questions ouvertes, regroupées en quatre thèmes portant sur le gestionnaire et son activité, sur la gestion pratiquée, sur la connaissance du changement climatique et sur sa prise en compte dans la gestion. Les questions liées aux freins à l'adaptation et aux besoins exprimés sont également abordées.

La conduite de l'enquête a été accompagnée d'une étude de la prise en compte du changement climatique dans les documents d'orientation et d'aménagement, et dont les conclusions vont être présentées ici.

3.5. Etude des documents d'aménagement

Le changement climatique est-il abordé dans les différents documents d'orientation et d'aménagement des forêts publiques et privées en Auvergne-Rhône-Alpes ?

Remarquons tout d'abord que les documents d'orientation en vigueur actuellement sont globalement assez anciens, comme le précise le *tableau 3*. ci-après. Le renouvellement des DRA-SRA par les services de l'Office national des forêts suite à la fusion des régions Auvergne et Rhône-Alpes est toutefois en cours, de même que celui des SRGS est prévu prochainement par le Centre régional de la propriété forestière.

Document	Auvergne	Rhône-Alpes
ORF	2011 (révision)	1999 (révision)
DRA - SRA	2009	2006
SRGS	2005	2005

Tableau 3. : Date d'établissement ou de dernière révision des documents régionaux d'orientation en forêt publique et privée (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)

En premier lieu, les schémas régionaux d'aménagement (orientations de gestion des forêts des collectivités) et les directives régionales d'aménagement (orientations de gestion des forêts de l'Etat) en vigueur en Auvergne-Rhône-Alpes évoquent tous le changement climatique. Cette thématique fait même l'objet d'une courte rubrique dès la préface (Rhône-Alpes) ou le début de l'analyse des facteurs écologiques (Auvergne). Dans les deux anciennes régions, les DRA-SRA prévoient des effets des changements climatiques et préconisent par suite l'adéquation des essences aux stations, le mélange d'essences, le recours à la régénération naturelle, et la dynamisation de la sylviculture (éclaircies régulières, réduction des critères d'exploitabilité dans certains cas, permettant de réduire la compétition pour l'eau et de limiter l'exposition aux risques).

Les schémas régionaux de gestion sylvicole (SRGS) rhônalpin et auvergnat s'accordent également à reconnaître que la résilience des peuplements après une forte perturbation s'avère plus importante en présence de structures étagées du fait de la répartition diffuse de jeunes sujets d'avenir (perches, semis).

Les nouveaux DRA-SRA de la région Auvergne-Rhône-Alpes, qui n'ont pas encore été publiés, intègrent davantage la question du changement climatique à travers la mise à jour des essences listées dans le tableau-maître. Ainsi, certaines essences jugées inadaptées dans certains secteurs vont être retirées (notamment dans les zones les plus touchées comme la Drôme, l'Ardèche et les zones de plaine, où le cèdre de l'Atlas et différentes espèces de pins vont - entre autres - être retirés pour certaines stations données) ; et d'autres vont, à l'inverse, être ajoutées (tous les secteurs étant concernés, avec par exemple l'ajout prévu du cèdre de l'Atlas, du douglas et du mélèze pour certaines stations des Alpes du Nord et des montagnes de l'Ain, etc.). Les nouveaux DRA-SRA intègrent par ailleurs une rubrique dédiée au changement climatique comportant le schéma récapitulatif des stratégies sylvicoles issus du programme de recherche « Forêts et changements climatiques » et déjà présenté en *figure 41*. Les mesures telles que la recherche de peuplements diversifiés, mélangés et étagés, gérés de manière dynamique avec une réduction de la longueur des cycles, s'y retrouvent clairement.

Enfin, toujours en forêt publique, les aménagements forestiers intègrent l'enjeu climatique de manière variable, son évocation s'avérant tributaire d'une part de la vulnérabilité de la forêt concernée, et des choix de l'aménagiste de l'autre. En effet, le format type des aménagements ne comprend pas, à l'heure actuelle, de zone dédiée à cette thématique.

Du point de vue de la forêt privée, les schémas régionaux de gestion sylvicole d'Auvergne (2005) et de Rhône-Alpes (2006) ne traitent pas de la question climatique. Le renouvellement imminent de ces SRGS la prendra cependant en compte dans ses orientations de gestion.

Les plans simples de gestion ont fait l'objet d'une étude aléatoire sur l'ensemble des départements de la région Auvergne-Rhône-Alpes. 40 documents approuvés ont ainsi été traités et analysés. Dans 20 % des cas, le changement climatique était cité, mais n'était pas toujours accompagné de mesures d'adaptation sylvicoles (e.g. cas de mise en garde simple ou de préconisation de surveillance ciblée). Ces résultats sont comparables avec l'étude des aménagements des forêts domaniales menée dans le cadre du projet MACCLIF national, qui avait montré que 18 % des aménagements examinés mentionnaient le changement climatique. Nonobstant, certains PSG évoquaient des mesures d'adaptation sans pour autant les rapporter au changement climatique (cas de mesures inhérentes à la gestion pratiquée, ou tournées vers un autre objectif). D'autre part, le modèle des PSG tel qu'il est proposé en Auvergne (tableaux à remplir et rubriques à compléter) ne permet guère de citer le changement climatique de manière directe. Celui-ci peut toutefois être évoqué de manière sous-jacente lors de la caractérisation des essences en place. Qui-plus-est, le CRPF le prend en compte dans sa relecture, en particulier en cas de stations limites.

Globalement, les mesures rencontrées sont, par ordre d'importance, l'adéquation essence / station, le mélange d'essences (et parfois le mélange feuillus / résineux), le maintien ou la recherche de la structure irrégulière ou jardinée, et le recours à la régénération naturelle. Ces stratégies sont justifiées par la volonté d'adapter la forêt aux conditions futures et de limiter les risques par une approche de diversification. L'échantillon aléatoire s'est avéré trop réduit pour mettre en évidence l'influence de tel ou tel facteur (secteur, type de rédacteur, peuplements en place, etc.). On pourrait néanmoins supposer que la prise en compte du changement climatique dans les documents de gestion durable tend à augmenter au fil du temps, aucun PSG de plus de 10 ans ne le mentionnant, alors que la majorité des PSG concernés par cette thématique ont été approuvés ces dernières années.

A noter que les autres documents d'aménagement évoqués en *figure 47*. (*cf Annexes*) (e.g. RTG°, CBPS°) et les documents techniques (e.g. guides de sylviculture, guides de stations, typologies de peuplements, guides de sylviculture de montagne) n'ont pas été étudiés, mais comme a pu le montrer l'enquête auprès des gestionnaires, la prise en compte des changements climatiques semble y être extrêmement limitée. On rappellera cependant l'initiative récente qui a permis de publier sur le sujet un additif au guide des stations des Alpes du Nord et des montagnes de l'Ain, déjà évoqué précédemment et dont un extrait est disponible en *figure 36*. (*cf Annexes*) (Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes, 2017).

3.6. Traitement et analyse des données recueillies

Les données recueillies lors des entretiens ont d'abord été transcrites dans un document standardisé de prise de notes, puis retravaillées et classées dans un modèle itératif de comptes rendus d'entretiens présenté sous un format de tableur. Ce modèle comprend, en plus des rubriques de la feuille de prise de notes, des indicateurs à choix multiples qui concernent, d'une part, des caractéristiques de l'enquêté (e.g. massif d'activité, structure, poste, âge, etc.) et, de l'autre, des degrés de positionnement par rapport au changement climatique (e.g. degré de familiarité, de priorité ou d'implication, etc.). Ces indicateurs ont permis une comparaison plus aisée des enquêtés pour étudier les profils et les éventuels facteurs explicatifs.

Ces comptes rendus ont par la suite été regroupés automatiquement dans un tableau récapitulatif général. Celui-ci reprend les différentes colonnes des comptes rendus présentées en *figure 48*. (*cf Annexes*), et chaque ligne contient les résultats pour un entretien donné. L'utilisation des outils de filtrage du tableur appliqués aux indicateurs standardisés permet ainsi une meilleure maniabilité des données utile à l'analyse.

En effet, deux types d'analyse ont été conduites ; en premier lieu une analyse thématique (dite "verticale" car elle s'appuie sur les différentes rubriques représentées par les colonnes du tableau), qui s'attache à apporter des éléments de réponse aux questions déjà évoquées précédemment, tels que la perception du changement, les actions mises en œuvre, les freins à l'adaptation, etc. Ensuite, une analyse typologique (dite "horizontale" ou "longitudinale", car elle utilise les principaux facteurs explicatifs contenus dans chaque ligne) a pu permettre de mettre en évidence des profils de gestionnaires expliquant leurs actions et positions.

Ces analyses, portant à la fois sur les discours collectés et sur les indicateurs appliqués, ont permis de proposer diverses typologies d'adaptation.

Les différents éléments de sortie – freins, profils, mesures d'adaptation, etc. – sont donc issus des données recueillies lors des entretiens. Cela étant dit, ils peuvent simultanément faire écho aux principes d'adaptation soulignés par la littérature, les gestionnaires étant amenés de par leur métier à prendre connaissance des informations scientifiques et techniques récentes et parfois à les expérimenter.

4. Etude de la perception du changement climatique par les gestionnaires forestiers en zone de montagne

4.1. Résultats généraux

Avant toute chose, on tiendra à rappeler, par acquit de conscience, que cette enquête qualitative, non aléatoire et d'importance limitée, visait à mettre en évidence une large diversité de profils, et non à donner des résultats statistiquement représentatifs de la région. Ce dernier objectif sera atteint grâce à un autre volet du projet MACCLIF, mettant en œuvre des questionnaires téléphoniques et informatiques à visée quantitative auprès des propriétaires et des gestionnaires forestiers des différentes régions de France.

Dans un premier temps, les indicateurs standardisés de caractérisation des quarante entretiens nous brosent un tableau général de la perception des changements climatiques. Ainsi, les degrés de familiarité (sensibilisation du gestionnaire), de connaissance (savoir du gestionnaire), d'inquiétude (préoccupation du gestionnaire), de priorité (hiérarchie des enjeux) et enfin d'implication (mise en œuvre opérationnelle) comme ceux présentés en *figure 49*. (cf *Annexes*) nous donnent plusieurs informations sur l'échantillon.

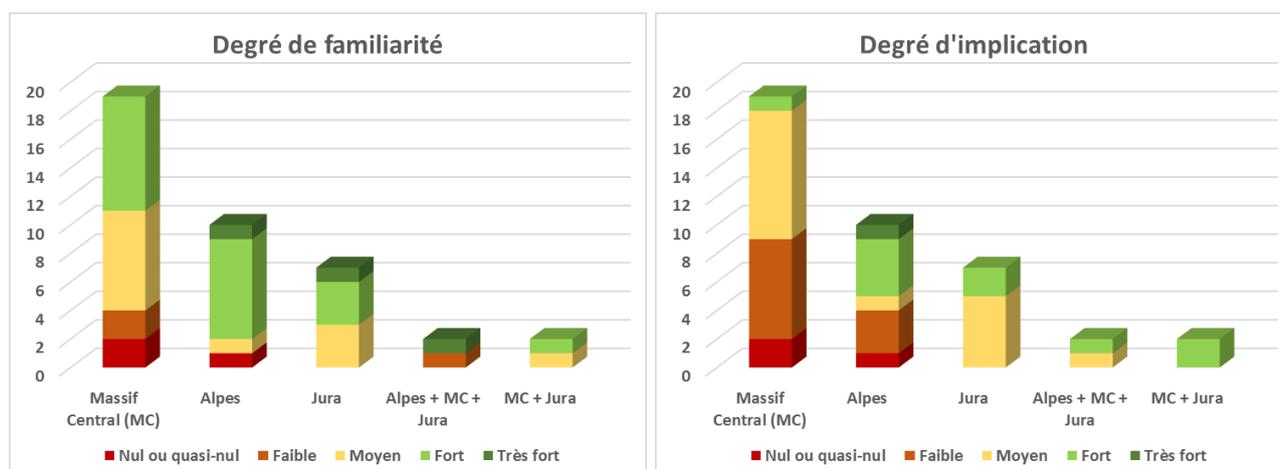
On note tout d'abord une diversité assez significative de positions face à l'enjeu climatique. En termes de tendances, l'extrait proposé ci-dessous en *figure 50*. montre que les forestiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes semblent globalement sensibilisés au changement climatique, avec une propension légèrement plus marquée en forêt publique. La prise en compte effective apparaît quant à elle moins importante ; l'enjeu climatique serait moyennement prioritaire. La forêt publique paraît la plus impliquée au premier abord, même si la distinction des différentes structures privées – toutes proportions gardées pour des raisons déjà évoquées – montre de fortes disparités.



NB : Les résultats globaux et par statut sont représentés par des pourcentages (*total : 100 %*). Les résultats par structure, au vu des effectifs réduits dans certaines catégories, sont représentés par nombre d'entretiens (*total : 40 entretiens*).

Figure 50. : Représentations graphiques des degrés de familiarité (colonne 1) et d'implication (colonne 2) des gestionnaires interrogés, en fonction de leur statut (ligne 1) et de leur structure (ligne 2) (Bertrand, 2018)

En outre, l'analyse par massif d'activité tend à montrer que les gestionnaires des massifs alpin et jurassien sont davantage familiers de l'enjeu climatique et impliqués dans la mise en œuvre de pratiques d'adaptation. Remarquons qu'il s'agit là des massifs de la région qui sont marqués par une tradition forestière ancienne et qui présentent une majorité de peuplements installés depuis des siècles, à la différence des boisements relativement jeunes pour certains que l'on peut rencontrer dans le Massif central. Là encore, l'échantillon n'étant pas représentatif, il ne s'agit que d'une tendance observée sur les données recueillies, comme l'illustre la *figure 51*. ci-après.



NB : Les résultats par massif, au vu des effectifs réduits dans certaines catégories, sont représentés par nombre d'entretiens (*total : 40 entretiens*).

Figure 51. : Représentations graphiques des degrés de familiarité et d'implication des gestionnaires interrogés, en fonction de leur(s) massif(s) d'activité (Bertrand, 2018)

Les tendances générales exprimées jusqu'ici se confirment lorsque l'on considère les gestionnaires présentant un degré d'implication fort ou très fort ; parmi ces onze forestiers, on dénombre sept représentants de l'ONF, deux experts forestiers, un GFP et un conseiller CRPF-DSF, dont dix travaillent au moins en partie dans les Alpes ou le Jura. On ne retrouve qu'une personne travaillant exclusivement dans le Massif central, et deux y travaillant partiellement. De même, aucune coopérative forestière n'est représentée.

4.2. Effets observés et attendus du changement climatique sur les forêts

La sensibilisation des gestionnaires aux changements climatiques est extrêmement variable selon la position géographique, la structure forestière, le parcours du gestionnaire, etc., sans que de véritables facteurs explicatifs se dégagent clairement.

La perception du changement se décline donc selon un large gradient. Les gestionnaires les moins sensibilisés (6 entretiens), présents en forêt publique comme en forêt privée, sont ceux qui ne croient pas au changement climatique, ou qui considèrent les messages transmis par les médias avec circonspection. Dans tous les cas, ils ne perçoivent pas d'effet du changement climatique dans les forêts qu'ils gèrent. Ils soulignent que le climat a toujours été variable et que la forêt sait s'adapter à ces fluctuations naturelles, que les changements éventuels se feraient de manière diffuse et très progressive, et que les villes ou les terres agricoles seraient touchés bien avant les forêts.

A l'opposé du gradient, les gestionnaires fortement sensibilisés (22 entretiens) sont touchés par le dérèglement climatique de par des formations, des lectures et/ou des échanges avec des collègues. Ils observent également des effets sur les forêts, variables selon les secteurs, comme nous le soulignerons après. La majorité d'entre eux se reconnaissent familiers du changement mais insistent sur son côté paradoxal, partagées entre la certitude du changement et le côté abstrait, incertain et complexe de son ampleur et des effets associés.

Entre ces deux catégories de gestionnaires, ceux qui apparaissent moyennement familiers du changement climatique (12 entretiens) sont conscients des effets mais s'affichent prudents face à la question. Parmi eux, certains considèrent qu'ils ne sont pas situés dans un secteur particulièrement menacé, comparé aux zones de plaine par exemple.

En termes d'effets, les gestionnaires forestiers alpins attribuent plusieurs effets au changement climatique. L'augmentation des attaques de scolytes, d'abord, accompagnée de problèmes sanitaires sur l'épicéa. Quant au sapin, il rencontre des problèmes de gui et des dépérissements. Pour ces deux essences prépondérantes, on semble observer une plus forte importance des problèmes à basse altitude (en-dessous de 1000 mètres environ). Le haut de l'étage montagnard et le subalpin apparaissent ainsi moins touchés, les essences en place étant au cœur et en haut de leur aire de répartition, et bénéficiant d'une hausse de croissance. En outre, les forestiers soulignent une tendance à la hausse des coups de vent à la source de chablis, pouvant favoriser les attaques de bostryches. Le fort développement du feuillu, et notamment du hêtre, ainsi qu'une remontée progressive des étages de végétation, sont également relevés régulièrement.

D'autre part, il ressort que certains effets peuvent être liés à d'autres causes que le changement climatique (cas des coupes rases augmentant les risques de chablis et d'attaques de scolytes sur les parcelles voisines, de la réduction de l'affouage qui favorise l'expansion du hêtre, etc.). On notera également un secteur particulièrement touché, celui du Diois, avec des perturbations arrivant des Hautes-Alpes, et des essences (même autochtones) qui souffrent de la sécheresse et se retrouvent confrontées à leurs limites d'aire de répartition. On relève ainsi des sapins affaiblis, à la croissance ralentie, gûtés ; des épicéas qui souffrent, même en montagne ; des pins sylvestres et des pins noirs gûtés, et attaqués par *Sphaeropsis sapinea*, parasite de faiblesse déjà évoqué en partie 2.1.3.4.1. Ici aussi, les peuplements les plus bas semblent les plus touchés.

Le massif jurassien présente certaines similitudes avec les Alpes. Les gestionnaires recensent divers problèmes sur l'épicéa notamment en dessous de 1000 mètres : dépérissements, attaques de scolytes, et parfois de dendroctones. Les déficits hydriques estivaux de ces dernières années ont été heureusement compensés par des printemps froids et humides, qui ont limité les infestations d'*Ips typographus*. Certains observent également des sapins affaiblis, gûtés, parfois en train de sécher ou dépérissants. De manière générale, les forestiers observent des modifications de la composition (explosion du hêtre), ainsi que davantage de coups de vent et de problèmes sanitaires. A l'image du massif alpin, les gestionnaires soulignent que certains effets peuvent être dus en partie à d'autres causes, comme des stations inadaptées, des erreurs de gestion antérieure, des arbres menés trop vieux, une modification des pratiques d'affouage, etc., comme l'illustre la *figure 52*. (cf *Annexes*).

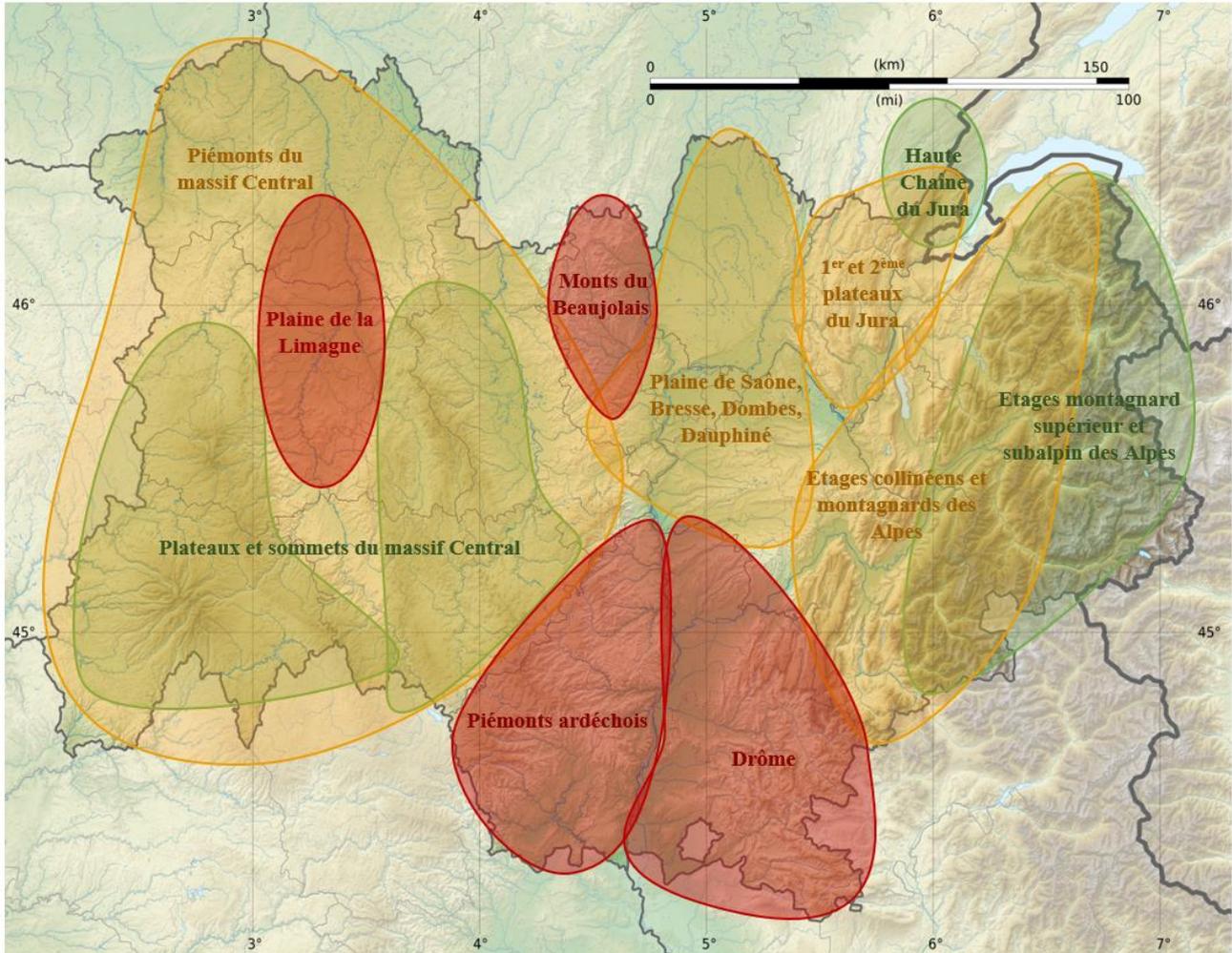
Dans ces deux massifs, alpin et jurassien, les forestiers s'accordent à dire que le déplacement des essences est plus facile en montagne du fait de la pente. Un effet de l'altitude apparaît clairement : à haute altitude, les changements climatiques semblent actuellement améliorer la croissance des arbres sans causer d'importantes perturbations. A basse altitude (un seuil altitudinal est souvent proposé autour de 1000 mètres en moyenne), les problèmes semblent se cristalliser, notamment pour les résineux en zones limites. Enfin, dans les deux massifs, les gestionnaires s'attendent à davantage d'effets dans le futur (directs tels les dépérissements dus à la sécheresse, tout comme indirects tels les attaques de scolytes ou d'autres ravageurs), et ce à des altitudes de plus en plus élevées. Cette amplification s'applique à la fois sur l'intensité des conséquences actuelles, et concerne également l'apparition de nouveaux effets (e.g. nouveaux parasites).

Le Massif central, de par sa taille et le nombre de départements concernés en Auvergne-Rhône-Alpes, présente une large variété d'effets attribués au moins en partie au changement climatique par les gestionnaires. On retrouve tout d'abord de nombreux exemples de stations limites, associés à des parcelles de sapin ou d'épicéa situées à moins de 1000 mètres d'altitude. De plus, les forestiers identifient des changements dans la composition des peuplements, ainsi que des dégâts liés aux coups de vent, à la grêle et aux neiges lourdes. Les plantations sont rendues plus complexes par des stations forestières évolutives et un climat imprévisible. Dans l'ensemble du massif, toutes les essences sont sujettes à des problèmes sanitaires causés ou aggravés par le changement climatique selon les gestionnaires. Pour le sapin, il s'agit de dépérissements, de gui, de chancre, de pissode* du sapin ; pour l'épicéa, d'attaques de typographe, de dendroctone, de chalcographe*, d'hylobe et de fomès*. Le douglas est confronté à des rougissements physiologiques et à des nécroses cambiales qui n'existaient pas il y a vingt ans. Outre cela, les pins subissent les dégâts dus à *Sphaeropsis sapinea*, à la chenille processionnaire, à la tordeuse des pousses du pin* ou à la maladie des bandes rouges.

Là encore, il semblerait que les arbres âgés et/ou situés à altitudes modérées (< 1000 mètres) soient les plus impactés, mais il est souvent difficile de séparer l'impact du dérèglement climatique par rapport à d'autres facteurs tels que la station, la gestion antérieure, l'état des parcelles voisines (voir *figure 52*. – cf *Annexes*). De surcroît, des zones apparaissent plus sensibles que d'autres, telles que les monts du Beaujolais (sapins en voie de disparition), le bassin et les contreforts de la Limagne dans le Puy-de-Dôme (dépérissements observés sur toutes les essences, résineuses et feuillues) ou le Haut-Vivarais en Ardèche (problèmes sanitaires sur toutes les essences – épicéas, sapins, pins, cèdres, châtaigniers – et difficultés de régénération de l'épicéa). A l'inverse, d'autres secteurs ne rencontrent pas d'effet du changement climatique d'après les gestionnaires (e.g. cas des plateaux montagnards du Puy-de-Dôme ou de Haute-Loire).

Pour conclure, les forestiers d'Auvergne-Rhône-Alpes présentent une large diversité de perception et de connaissance des changements climatiques. De nombreux facteurs liés aux secteurs (altitude, exposition, sol, peuplements en place, historique de gestion, objectifs, etc.) et aux profils de gestionnaires (formation, parcours, structure, etc.) semblent impliqués, sans qu'il soit possible d'isoler beaucoup de facteurs explicatifs. Une altitude critique pourrait être estimée aux alentours de 1000 mètres, même si elle varie fortement selon les caractéristiques locales.

Par ailleurs, si certains gestionnaires se veulent prudents face au changement climatique, d'autres en sont convaincus mais ne voient pas, pour le moment, d'effets dans leur secteur. Si d'aucuns prévoient une apparition des effets localement dans 20, 30 ans, d'autres préfèrent ne pas trop s'avancer sur la question de l'avenir. On dénombre ainsi six entretiens sur quarante qui n'attribuent aucun effet au changement climatique. Une partie des gestionnaires, à l'inverse, est déjà confrontée aux changements à des degrés divers, allant de la hausse de croissance en altitude à des situations d'impasse lorsque l'avenir de l'ensemble du panel d'essences en place semble compromis. Un essai schématisé et très simplifié de cartographie des zones limites et vulnérables, basé sur les observations et les prévisions des gestionnaires rencontrés au cours de l'enquête est proposée en *figure 53. ci-après*. Toutefois, il est à souligner que tous les gestionnaires conscients du changement climatique s'attendent à une augmentation significative des effets dans les années futures ; ces zones pourraient donc évoluer fortement.



Fond de carte : Wikimedia Commons 2015

Secteur identifié par les gestionnaires comme contenant des zones forestières :

- Déjà touchées par le changement climatique
- Présentant des indices de vulnérabilité
- Potentiellement peu affectées au XXI^{ème} siècle

NB : Par souci de visibilité, le nombre de zones représentées est assez réduit. Cette approche schématique étant globale, ce sont davantage les grandes tendances que les cas particuliers qui s'expriment. Ainsi, une zone affichée d'une couleur peut contenir également des secteurs d'une autre couleur, non représentés ici dans un objectif de clarté.

Figure 53. : Carte schématique et simplifiée de vulnérabilité au changement climatique, établie d'après les expériences des gestionnaires de la région (Bertrand, 2018)

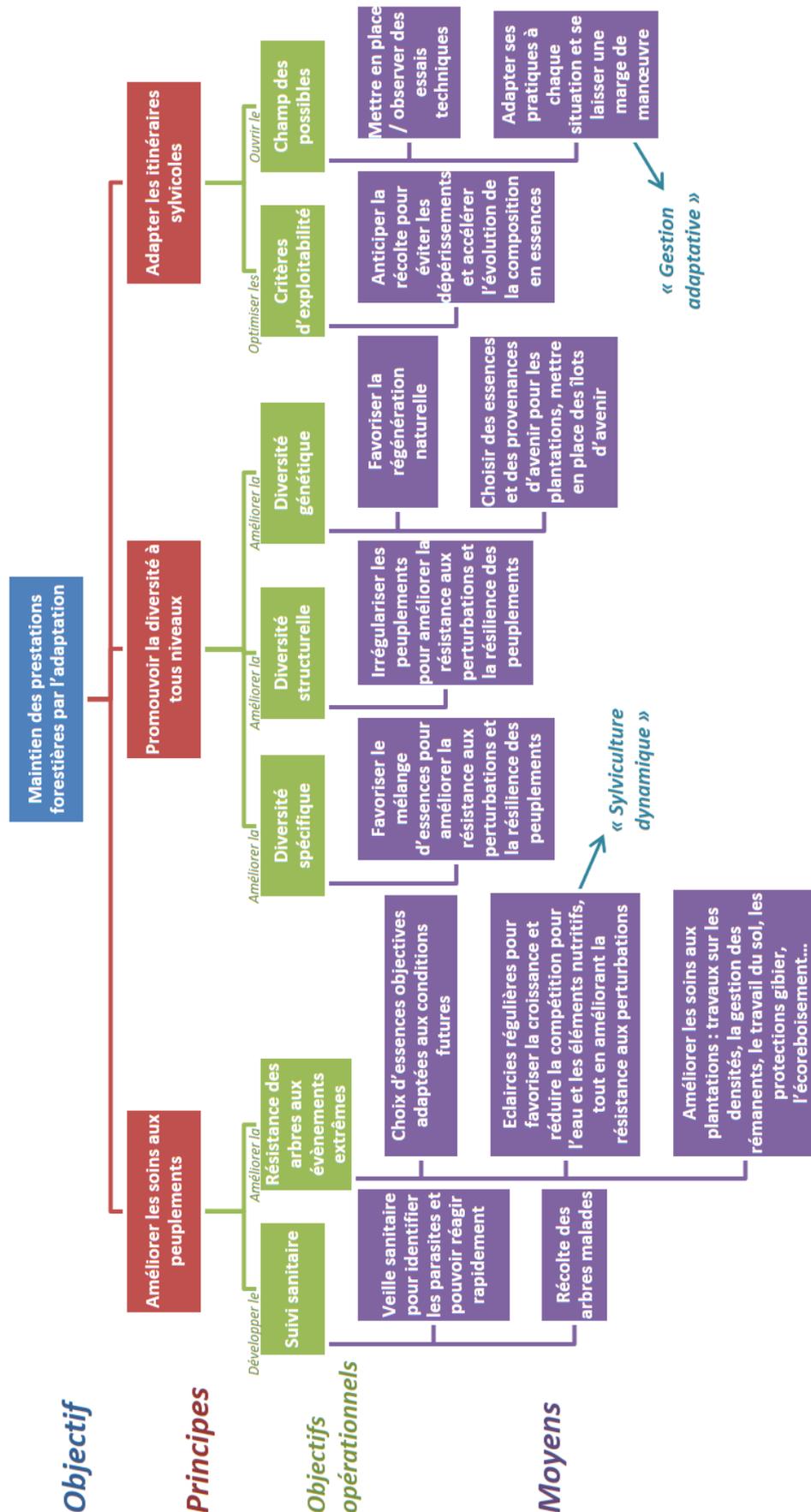
4.3. Typologie des mesures d'adaptation sylvicoles

Quelles sont les stratégies d'adaptation adoptées par les gestionnaires conscients du changement climatique ? Nous développerons ici les méthodes sylvicoles d'adaptation proposées, puis nous reviendrons sur les aspects d'accompagnement et de formation des forestiers en partie 4.5.

Les forestiers auvergnats et rhônalpins sont confrontés, à travers la diversité des massifs, des climats, des stations et des peuplements, à des problématiques et des enjeux très différents. De même, tous ne se sentent pas concernés de la même manière par l'enjeu climatique. Afin de rendre compte des mesures d'adaptation défendues par les gestionnaires de manière claire et ordonnée, deux sortes de typologies ont été élaborées. La première regroupe les différents moyens d'adaptation recensés par thématique (les moyens desservent des objectifs opérationnels, qui répondent à des principes, lesquels visent à maintenir les prestations forestières sous un climat changeant). Cette typologie, présentée en *figure 54*. ci-après, reprend les leviers portés par la littérature et présentés en partie 1. Les forestiers semblent ainsi adopter des mesures cohérentes, même si, comme nous le verrons dans la partie suivante, pas une seule des mesures ne fait l'unanimité parmi les gestionnaires rencontrés, ce qui corrobore l'idée que les situations face au changement climatique sont complexes et variées.

Les mesures rencontrées, dont certaines sont illustrées par des exemples d'application en *figure 55*. (cf *Annexes*), touchent à l'ensemble des éléments de conduite des peuplements (renouvellement, travaux, coupes...), et visent à améliorer la résistance et la résilience des peuplements, à réduire l'exposition aux risques, et à privilégier une large marge de manœuvre. Comme nous le verrons, ces mesures sont à adapter avec précaution à chaque cas particulier, certaines pouvant s'avérer contre-productives dans certaines situations que le forestier devra identifier (e.g. irrégularisation d'une douglaie en station riche et fraîche rendue compliquée par la végétation concurrente, ouverture tardive d'un peuplement à contrebalancer avec l'état du sous-étage, l'exposition au vent, le facteur d'élancement, etc.).

D'autre part, le classement des gestionnaires en différents profils-types, schématisé plus loin en *figure 57*., propose une autre typologie, plus simplifiée, des mesures, suivant un gradient d'intensité de l'adaptation. Cette organisation sera présentée plus largement en partie 4.6. lors de la description des différents profils.



Principes généraux à adapter à chaque cas particulier de diagnostic par le gestionnaire, en intégrant différents paramètres : station, peuplement, état sanitaire, historique de gestion, enjeux locaux, moyens, etc.

Figure 54. Typologie des mesures d'adaptation sylvicoles rencontrées (Bertrand, 2018)

4.4. Freins de mise en œuvre

Malgré les effets ressentis par les gestionnaires forestiers et les techniques d'adaptation appliquées, plusieurs freins s'opposent à la mise en œuvre de mesures d'adaptation, tant en forêt publique que privée. Il s'agit tout d'abord, comme le présente la *figure 56*, à suivre, des freins transversaux à la gestion forestière en général, tels que les difficultés de commercialisation de certains produits, la pression du gibier, le morcellement et les difficultés d'opérer en zone de montagne, etc. Comme précisé dès l'avant-propos de ce rapport, nous n'approfondirons pas ces enjeux ici, afin de nous focaliser davantage sur la question climatique.

Parmi les freins propres à l'adaptation aux dérèglements climatiques, on peut identifier des freins d'ordre économique, technique, psychologique et structurel. Dans le premier cas, les gestionnaires peuvent identifier des effets liés aux changements climatiques, mais les impératifs de rentabilité économique à court terme les forcent à maintenir leurs pratiques habituelles. Le recours à la plantation, par exemple, s'avère très onéreux (plusieurs milliers d'euros de l'hectare, et doublé avec des protections gibier), et ne bénéficie pas de subventions dans tous les cas. Qui-plus-est, dans certaines situations, les difficultés de renouvellement des peuplements constituent la problématique majeure, laquelle s'impose aux autres enjeux. Puis, les freins techniques sont nombreux et ressortent de manière récurrente ; ils portent à la fois sur le déficit manifeste en informations claires et univoques, en connaissances mais aussi en accompagnement, ce qui empêche l'action et freine les initiatives. En effet, les gestionnaires soulignent globalement – quelle que soit leur structure ou leur secteur d'activité – qu'ils ne disposent d'aucun outil opérationnel leur permettant d'intégrer le changement climatique dans leur gestion (« nous n'avons aucun outil, personne ne veut se mouiller » - entretien n° 22). De même, les documents techniques (e.g. guides de stations, guides de sylviculture, documents propres aux différents organismes forestiers, etc.) n'intègrent pas cette thématique et ne sont donc d'aucun renfort. Quant à eux, les documents de gestion durable (aménagement, PSG...) n'évoquent pas toujours la question, d'autant qu'il n'y a pas de rubrique dédiée. Les gestionnaires insistent également sur le fait que chacun expérimente de son côté, sans bénéficier de retours d'expériences extérieurs (« aucun échange technique, aucune information sur le sujet » - entretien n°5 ; « chacun alerte et/ou teste dans son coin. Les questions ne font l'objet d'aucune animation sylvicole » - entretien n°23). En termes d'appui, il semble n'y avoir quasiment aucune aide apportée sur la question, que ce soit au sein de la structure ou entre les structures.

Nous rejoignons ici les freins structurels de la filière, qui désignent notamment l'absence ou le manque de communication entre organismes et entre les services de recherche, d'innovation ou de développement et les services de gestion opérationnelle. Le RMT AFORCE s'avère ainsi inconnu pour la majorité des forestiers interrogés. D'autre part, les gestionnaires s'accordent également à dire qu'il n'y a pas de stratégie globale concertée sur la question. Enfin, des zonages réglementaires (e.g. parcs naturels, réserves naturelles, convention alpine) viennent contrecarrer certaines possibilités d'action, comme l'introduction de nouvelles essences. De surcroît, des obstacles d'ordre intellectuel viennent se greffer ; il peut s'agir d'une retenue liée à l'absence de sensibilisation dans le secteur (« personne n'y croit ou n'y voit d'intérêt ici » - entretien n°22), à l'incertitude sur l'efficacité des mesures d'adaptation (manque de recul), ou encore à une entière confiance dans la capacité d'adaptation naturelle des forêts (« Il n'y a pas le feu, la nature sait s'adapter » - entretien n°33).

Pour conclure, les freins à l'adaptation sont multiples et dépassent les structures et les massifs. Il paraît utile de rappeler dans le même temps que certains freins peuvent être légitimes (e.g. Faut-il modifier ses pratiques dès maintenant en présence d'une forêt apparemment résiliente, et située en zone peu vulnérable au changement climatique ? Faut-il s'adapter dès maintenant sur des zones intermédiaires, ou une rotation habituelle est-elle encore possible ? Autant de questions qui dépendent également des objectifs de gestion et du degré de risque toléré par le propriétaire). Insistons aussi sur le fait qu'il s'agit là d'un résumé des freins, qui n'exclue pas des démarches réussies de la part de certains gestionnaires (e.g. essais de plantation d'essences allochtones dans les Alpes, journées d'échanges thématiques multi-structures, tables rondes portant sur la question lors d'événements forestiers...).

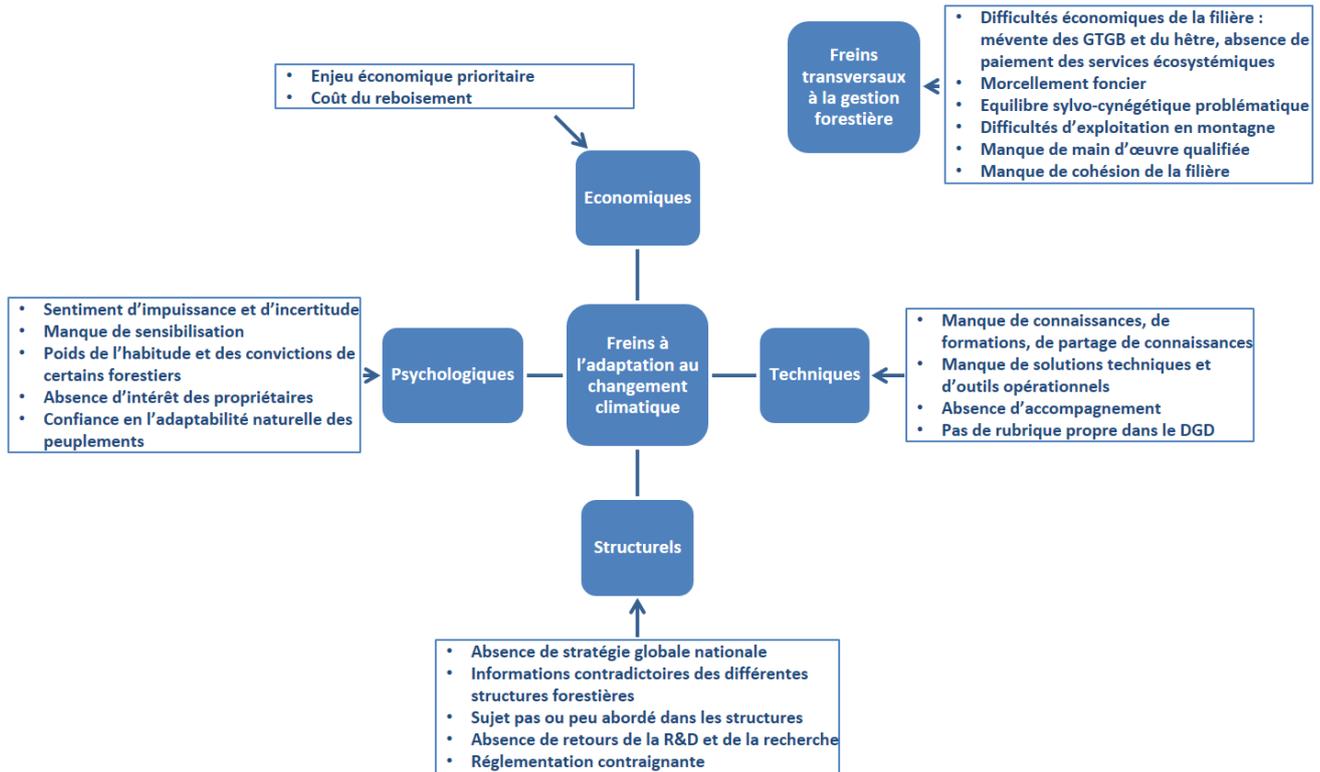


Figure 56. Schéma des différents freins à l'adaptation au changement climatique décrits par les gestionnaires forestiers d'Auvergne-Rhône-Alpes (Bertrand, 2018)

4.5. Outils à développer

Forts de ces éléments, plusieurs leviers semblent à activer pour améliorer la prise en compte des changements climatiques dans la gestion forestière, comme l'illustre la *figure 57*. (cf Annexes). Le premier repose sur l'intelligence collective. Que cela prenne la forme de formations (ONF, ANATEF°, EFF°, CRPF, IDF, CETEF°...), de tournées de terrain avec des techniciens locaux et des experts sur la question, de forums d'échanges sur l'innovation, de colloques inter-régionaux, de partage d'expériences via une plateforme informatisée..., les propositions ne manquent pas pour favoriser le partage d'expérience et l'enrichissement mutuel sur les conduites sylvicoles à adopter sous un climat changeant.

De plus, les forestiers apparaissent demandeurs de divers outils. En premier lieu, il s'agirait de mettre à jour les documents existants, tels que les guides de sylviculture, les guides de stations, les itinéraires techniques de travaux sylvicoles, les fiches techniques, etc. Les documents régionaux d'orientation (DRA-SRA, SRGS) sont en cours de mise à jour ou le seront bientôt, et devraient intégrer davantage les enjeux climatiques. Ensuite, les gestionnaires sont favorables à toutes les sources de financement des mesures d'adaptation : Sylv'ACCTES*, subventions aux plantations (dotations publiques, fonds locaux), implication des communes et des propriétaires privés...

D'autre part, une attente forte a été exprimée au sujet de l'amélioration génétique, tant sur le volet opérationnel que sur la recherche. Ainsi, un guide des provenances, une clef de détermination des essences et des provenances adaptées, une meilleure disponibilité en plants et en graines certifiés chez les pépiniéristes, davantage de recherches sur la sélection génétique et d'essais de plantations (par exemple en forêt domaniale), etc. sont autant d'éléments que de nombreux forestiers jugeraient utiles.

En termes de nouveaux outils, les gestionnaires défendent deux principes fondamentaux : le diagnostic et le suivi. Pour le diagnostic, les propositions recensées concernent une clef de détermination de la vulnérabilité d'une parcelle, un outil numérique géolocalisé permettant de superposer les couches SIG^o utiles au diagnostic, ou encore un outil embarqué et simple sous forme d'une application. Une mise en évidence des erreurs à éviter (comme planter de l'épicéa à 500 mètres d'altitude, ou favoriser des sapins pectinés poussant sous un couvert climacique de pins sylvestres), a aussi été proposée. Certains insistent également sur le fait qu'un guide technique sur le changement climatique (éventuellement décliné par essence et par massif) constitue une condition *sine qua non* pour que la question soit réellement prise en compte dans les documents de gestion durable. Les gestionnaires attendent également le déploiement des outils en cours de développement ou développés par le CNPF-IDF et l'ONF (BioClimSol, ARCHI, BILJOU, IKS). Enfin, l'objectif d'un meilleur suivi pourrait être atteint grâce au développement de nouveaux outils comme le LIDAR^{o*}, la photogrammétrie*, les données satellites, les drones, les placettes permanentes, les suivis photographiques géoréférencés, etc. Des suivis sanitaires via une application géolocalisée permettraient dans le même temps d'associer tous les gestionnaires de terrain et le DSF pour suivre l'avancée des parasites tels que le *Sphaeropsis* des pins.

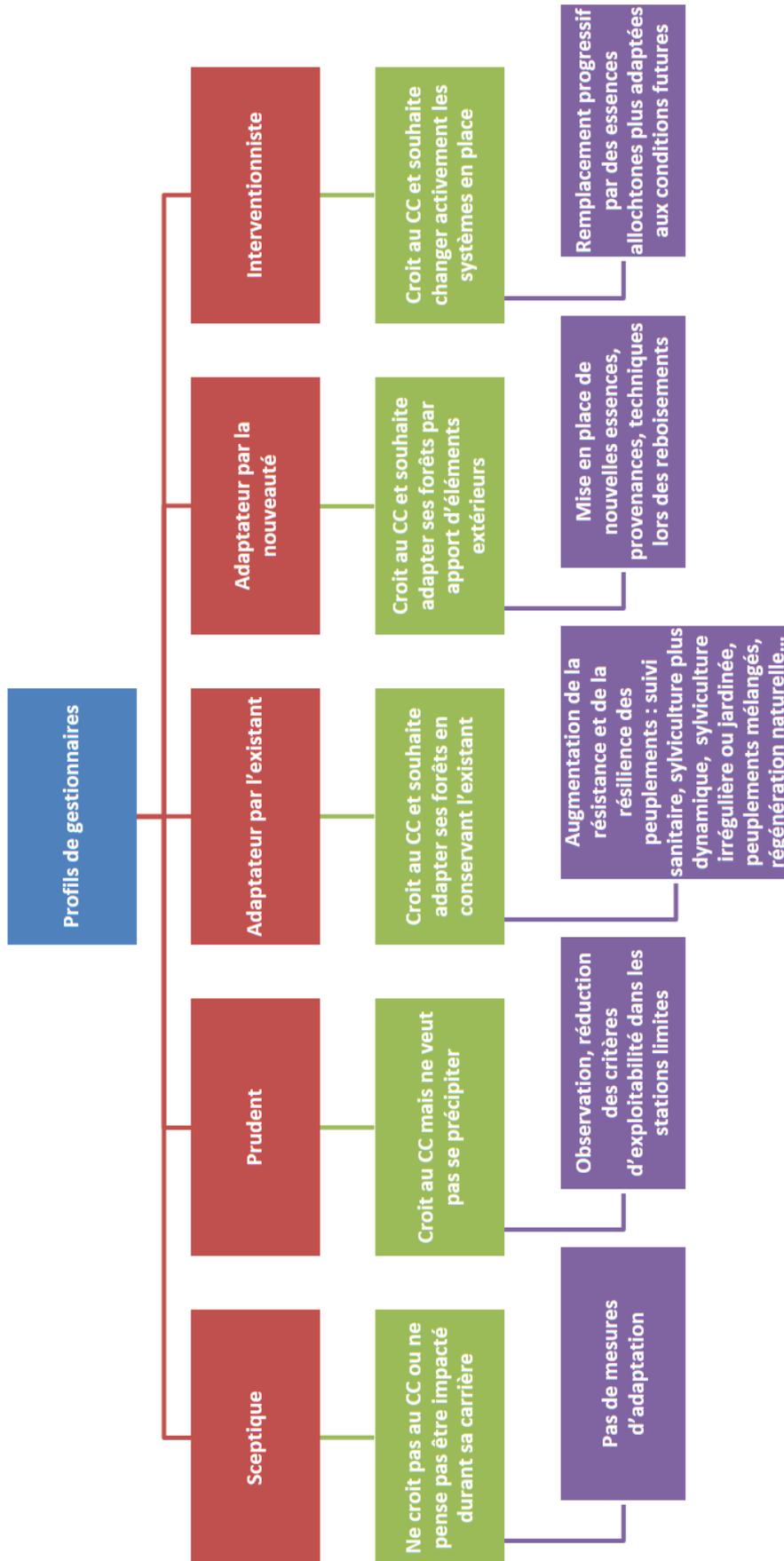
4.6. Profils de gestionnaires forestiers selon la perception du changement climatique

Tout d'abord, comme cela a été mis en lumière auparavant, les gestionnaires présentent une multiplicité d'expériences et de points de vue, et aucun principe d'adaptation ne fait l'unanimité, comme le détaille le *tableau 4. (cf Annexes)*. L'échantillon des gestionnaires rencontrés permet cependant de proposer cinq profils en fonction du degré d'adaptation, qui sont décrits en *figure 58. ci-après*.

Parmi eux, on retrouve des gestionnaires sceptiques qui ne se sentent pas concernés par le changement climatique, soit parce qu'ils considèrent les informations publiées sur le sujet erronées, soit parce qu'ils ne perçoivent aucun effet dans leur secteur et ne s'attendent pas à en rencontrer dans le futur. A l'opposé, le forestier interventionniste est directement confronté au changement et souhaite adopter une démarche volontaire et active d'adaptation des écosystèmes forestiers, notamment en introduisant des essences allochtones adaptées aux climats de demain.

Entre ces deux profils, on peut isoler trois types de forestiers ; tout d'abord ceux qui se veulent prudents et préfèrent « temporiser » leur action dans l'attente d'informations et d'outils, en adaptant les critères d'exploitabilité dans les situations limites. Ensuite, les gestionnaires adaptateurs « par l'existant », les plus nombreux dans l'échantillon, et particulièrement en forêt publique, sont ceux qui cherchent à développer les capacités d'adaptation naturelle de l'écosystème. Certaines mesures associées, telles que la diversification génétique, spécifique ou structurelle, sont parfois inhérentes à la gestion pratiquée (cas de certains experts). La dynamisation de la sylviculture apparaît également comme un levier favorable à l'adaptation naturelle (accélération de l'évolution de la composition en essences et du patrimoine génétique). Enfin, les gestionnaires adaptateurs « par la nouveauté », notamment en forêt privée (coopératives), cherchent parfois à faciliter l'adaptation en apportant de la génétique extérieure (e.g. essences et provenances plus adaptées) et en contribuant à leur développement (amélioration continue des itinéraires de plantation, soins aux peuplements).

Ces profils se démarquent indépendamment des facteurs explicatifs étudiés ; on peut donc rencontrer des gestionnaires aux positions très variées dans les mêmes secteurs ou les mêmes structures. Dans le cadre de l'échantillon, bien que non représentatif, les gestionnaires se répartissent selon une parabole centrée sur le troisième niveau d'adaptation (gestionnaire adaptateur par l'existant), comme le montre la *figure 59. (cf Annexes)*.



Principes généraux à adapter à chaque cas particulier de diagnostic par le gestionnaire, en intégrant différents paramètres : station, peuplement, état sanitaire, historique de gestion, enjeux locaux, moyens, etc.



Figure 58. : Profils de forestiers selon leur position face au changement climatique (Bertrand, 2018)

4.7. Diagnostic global et propositions d'amélioration

A travers cette enquête auprès des forestiers d'Auvergne-Rhône-Alpes, nous avons pu entrevoir la complexité et la diversité des perceptions du changement climatique par les forestiers. Comme le détaille le schéma présenté en *figure 60*, ci-après, le processus d'adaptation dépend de nombreux facteurs (e.g. contexte, attentes du propriétaire, parcours et convictions du gestionnaire, effets observés attribués au changement climatique, freins variés...) et peut prendre diverses formes (cf principes sylvicoles et profils d'adaptateur).

En outre, nous avons pu mettre en évidence à travers cette étude que le maintien des prestations forestières est fonction de trois facteurs intégrateurs :

- en premier lieu, le scénario climatique, qui conditionne l'ampleur et la nature des effets, directs et indirects, liés au changement climatique ;
- ensuite, le degré de vulnérabilité de la forêt ou de la parcelle, qui est issu d'une combinaison de facteurs tels que l'altitude, l'exposition, la latitude, les caractéristiques du sol, le peuplement en place et attenant, l'historique de gestion, etc. ;
- et enfin, le degré d'adaptation de la sylviculture qui agit directement sur les capacités de résistance et de résilience des écosystèmes.

Ces trois facteurs sont intégrés à la manière d'un écotogramme en *figure 61*, à suivre.

Dans tous les cas, la stratégie d'adaptation doit être réfléchie au regard du contexte local et de la vulnérabilité des peuplements. Les parcelles A et B sont représentées à titre d'exemple dans la *figure 61*. Ainsi, la parcelle A est localisée dans un secteur très vulnérable aux changements climatiques, mais une sylviculture avec un degré d'adaptation assez élevé y est pratiquée, ce qui permet de maintenir la probabilité de réduction des prestations forestières dans les prochaines décennies à un niveau faible. C'est du moins le cas dans l'optique d'un scénario climatique optimiste ; en effet, plus le scénario est défavorable, plus la probabilité de perte d'une partie des prestations forestières augmente.

Quant à la parcelle B, celle-ci est située en zone moyennement vulnérable, mais la sylviculture intègre assez peu l'enjeu climatique. La probabilité de réduction des prestations forestières reste faible sous un scénario optimiste, mais tend à augmenter sous des scénarios plus défavorables. Au vu des prévisions du GIEC, la question du pessimisme des scénarios climatiques pourrait être reliée au temps, le climat allant vers une instabilité croissante. Ainsi, la parcelle B ne semble pas bénéficier d'un degré d'adaptation sylvicole suffisant pour maintenir ses prestations forestières à son niveau actuel sous des scénarios plus pessimistes ou sous le climat des décennies futures.

Les zones qui apparaissent en vert, situées en haut à gauche de chaque graphique, désignent les secteurs apparemment les moins sensibles, car peu vulnérables et/ou bien adaptés (e.g. parcelles V₁ et V₂). Il pourrait vraisemblablement s'agir des régions également représentées en vert sur la carte de vulnérabilité de la région (cf *figure 53*), mais rien ne nous permet de l'affirmer.

Quant aux zones de couleur rouge, visibles en bas à droite des graphiques (très vulnérables et/ou très peu adaptées, e.g. parcelles R₁ et R₂), il s'agirait des espaces les plus menacés, avec une forte probabilité de perte d'une partie des prestations liées à la forêt.

L'exemple du Diois, dans l'est de la Drôme, également représenté en rouge sur la carte disponible en *figure 53.*, pourrait peut-être en constituer un bon exemple. Les gestionnaires rencontrés sur place, qui font face à des dépérissements et à des attaques sanitaires sur l'ensemble des essences en place, posent la question du maintien ou de l'abandon de la fonction économique de la forêt. Si l'on considère que les efforts d'adaptation à fournir dépassent un certain seuil d'acceptabilité, il serait envisageable d'abandonner cette fonction productive (laissée à d'autres secteurs plus efficaces), et de conserver les fonctions protectives, paysagères et récréatives. A l'inverse, si l'on tient à conserver cette fonction économique actuellement menacée, d'importantes mesures d'adaptation vont être nécessaires pour éviter une situation d'impasse, moyennant des investissements certains. Il y a donc des choix à opérer, l'indécision menant très probablement à la première éventualité évoquée.

En conclusion, malgré des initiatives locales pertinentes, l'incertitude qui pèse sur l'évolution future du climat et le manque de stratégies coordonnées ne facilitent pas l'adaptation. Les gestionnaires regrettent unanimement le manque d'informations, d'outils et d'échanges techniques sur cette thématique ; ils se retrouvent souvent esseulés face à des situations complexes par nature et parfois problématiques.

Les choix sylvicoles intégrant la notion de climat changeant ne sont pas anodins et sont souvent nouveaux pour les forestiers. Un accompagnement, et des processus de partage d'expériences et de réflexions communes apparaissent indispensables pour aiguiller les choix de gestion dans chaque forêt. Une meilleure interaction entre la recherche et développement et la gestion opérationnelle est aussi à mettre en place.

Des supports et outils existent ou sont à développer ; citons par exemple l'observatoire forestier des montagnes de l'Ain*, l'additif au guide des stations forestières des Alpes du Nord et des montagnes de l'Ain, les travaux sur les essences menés par la Société forestière de Franche-Comté ou l'Office des forêts du canton de Berne en Suisse, le fichier écologique des essences développé sur le portail SIG WalOnMap en Belgique, mais aussi les travaux sur BioClimSol et IKS (Lechine et Abt, 2012; Office des forêts du canton de Berne, 2013b; Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes, 2017; Centre national de la propriété forestière, 2018)... Autant d'initiatives à développer et à valoriser. La prise en compte du changement climatique est un enjeu global, qui nécessite une implication de tous les acteurs à chaque niveau de la gestion forestière.

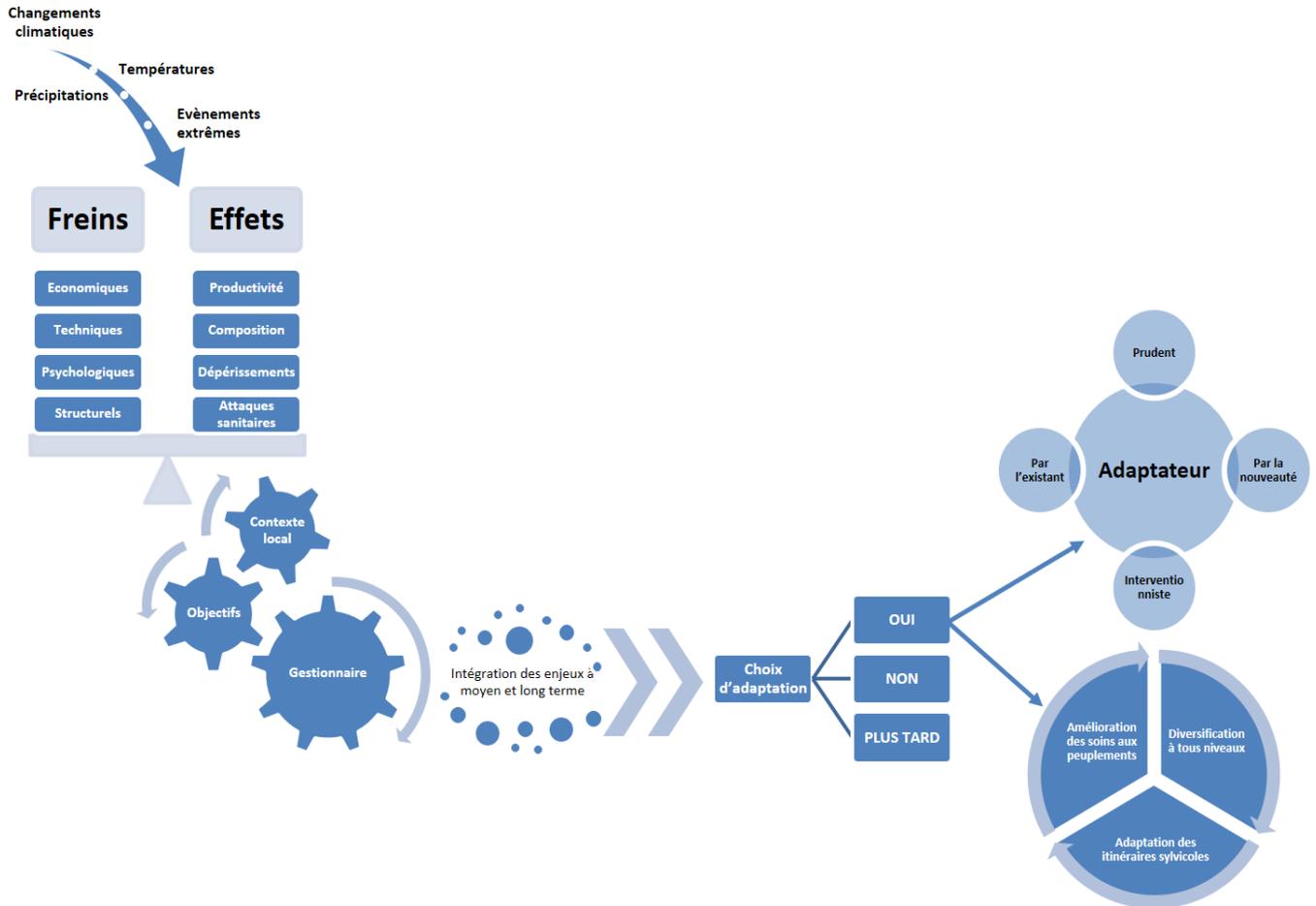


Figure 60. : Schéma récapitulatif du processus d'adaptation de la sylviculture aux changements climatiques par les gestionnaires forestiers (Bertrand, 2018)

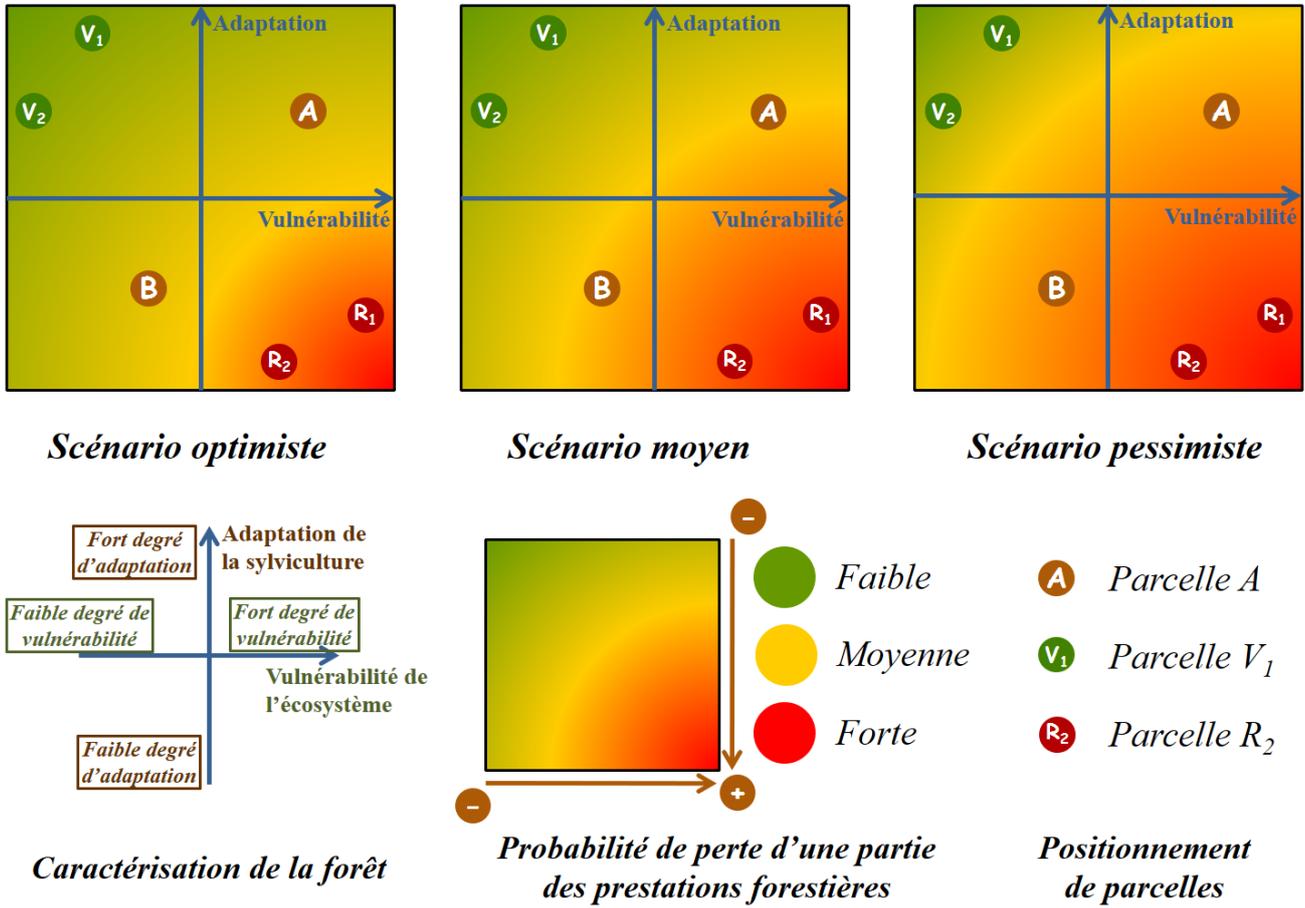


Figure 61. : Schémas illustrant la probabilité de perte d'une partie des prestations forestières délivrées par une forêt selon le scénario climatique, la vulnérabilité de l'écosystème et le niveau d'adaptation de la sylviculture au changement climatique (Bertrand, 2018)

Conclusion : Un défi majeur pour la gestion forestière

Ainsi, la perception du changement climatique par les forestiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes a démontré tout l'intérêt d'une étude dédiée à la question. En effet, la « question climatique » est un enjeu de taille pour la gestion forestière, qui, par nature, doit se projeter dans l'avenir, que l'on prévoit de plus en plus incertain. Qui-plus-est, la position adoptée par les gestionnaires face aux dérèglements climatiques est extrêmement variable ; de même, les différentes stratégies d'adaptation adoptées sont loin de faire l'unanimité.

L'étude a néanmoins permis de conforter plusieurs principes d'adaptation, adaptables aux différentes situations rencontrées par les gestionnaires de montagne :

- les soins aux peuplements (e.g. veille sanitaire, choix d'essences objectives et d'accompagnement adaptées à la station, sylviculture dynamique pour réduire la compétition et l'exposition au risque tout en accélérant l'évolution adaptative, amélioration continue des itinéraires de plantation),
- le développement de la diversité par des moyens variés, qu'elle soit spécifique, structurelle et/ou génétique,
- et l'évolution de la gestion vers plus de flexibilité (e.g. révision des rotations et des diamètres cibles, mise en place d'essais techniques, gestion adaptative évitant les itinéraires figés pouvant conduire à des situations d'impasse).

Toutes ces mesures, à réfléchir à la lumière du contexte local et dans le cadre d'une approche systémique, visent à améliorer trois caractéristiques primordiales des écosystèmes forestiers : la résistance, la résilience et la capacité adaptative. Ce sont ces trois propriétés qui permettront aux peuplements et aux forêts de continuer à délivrer leurs prestations forestières dans des conditions climatiques futures incertaines.

Les forestiers d'Auvergne-Rhône-Alpes adaptent-ils leur gestion au changement climatique ? Oui, mais de manière très variable selon les structures, les secteurs et les peuplements. Ainsi, si la majorité des gestionnaires rencontrés sont apparus au moins en partie familiers des changements climatiques, leur prise en compte effective dans la gestion ne semble pas toujours facile à appliquer.

L'existence d'enjeux et d'attentes prioritaires constitue notamment un frein à l'adaptation, démarche à long terme et progressive. Des freins de toutes natures – économiques, techniques, psychologiques, structurels et réglementaires – ont également été identifiés. On remarque que l'absence de certitudes et d'outils techniques constitue un obstacle indéniable aux stratégies adaptatives. De surcroît, le manque de cohésion sur cette thématique (entre les organismes de recherche, de gestion et de regroupement, mais également au sein même des structures forestières) ne favorise pas les démarches d'adaptation, les gestionnaires ayant souvent l'impression d'être esseulés face aux problématiques qu'ils rencontrent.

Malgré cela, plusieurs initiatives ont montré l'implication de certains forestiers, demandeurs, à défaut de réponses uniques, d'accompagnement, d'échanges et d'appui techniques, comme nous l'avons évoqué précédemment. Les innovations en cours en lien avec la télédétection, les SIG, les applications de diagnostic, etc. présentent également des opportunités intéressantes pour fournir des outils pertinents et opérationnels aux gestionnaires. Enfin, les impulsions et essais locaux menés par telle ou telle structure doivent être généralisés à travers une impulsion générale de tous les acteurs et décideurs forestiers : l'enjeu climatique est porteur à la fois de risques et d'opportunités, faisons de lui sans attendre un catalyseur de la gestion forestière durable et adaptative.

En second lieu, nous ne pouvons achever ce bilan d'étude sans évoquer certaines limites du projet, qui peuvent être regroupées en trois volets distincts. Tout d'abord, de par la brièveté de l'étude, certaines zones de la région n'ont pas pu être prospectées avec le niveau de détail qu'elles auraient mérité. En effet, l'exigence – pertinente au demeurant – de couverture de l'ensemble des départements de la direction territoriale Auvergne-Rhône-Alpes a nécessité des choix dont était tributaire la bonne représentativité des principaux contextes régionaux. Certains secteurs auraient par conséquent gagné à être étudiés encore davantage, notamment les Baronnies, fortes de leurs influences méridionales, ou encore les limites supérieures de la forêt dans les Alpes du Nord.

Outre cela, et malgré toute la rigueur appliquée à la construction et à la conduite de l'étude, certaines données qualitatives ont pu présenter une part de subjectivité, certes inhérente à leur nature, mais constituant une source potentielle d'imprécision dans l'analyse. Ce fut le cas par exemple du degré d'inquiétude des gestionnaires, qui n'a pas, de ce fait, été particulièrement mis en exergue dans ce rapport. Effectivement, il a pu être parfois délicat d'isoler les différents degrés d'inquiétude associés à la forêt elle-même, à la filière, à l'enjeu économique, aux propriétaires ou encore aux gestionnaires.

Finalement, les exigences de concision et de clarté de ce mémoire ont imposé des choix de recentrement de la discussion sur des thèmes essentiels. La base de données constituée grâce aux entretiens, dont toute la richesse de contenu n'a pu être exploitée ici, sera intégrée au projet MACCLIF national et pourra faire l'objet d'une valorisation ultérieure, éventuellement par comparaison avec une étude future.

Pour conclure, deux termes peuvent être rapportés aux changements climatiques et à leur prise en compte dans la gestion forestière observée en Auvergne-Rhône-Alpes. Le premier, l'incertitude, caractérise à la fois l'avenir des conditions de développement et de croissance des forêts, et la diversité des positions adoptées par les gestionnaires, touchant à la fois au scepticisme et à l'interventionnisme en passant par plusieurs postures intermédiaires. Complexité ensuite, tant du point de vue des mécanismes d'évolution des biotopes et des biocénoses sous un climat changeant, que des processus multifactoriels de conceptualisation et de mise en œuvre des stratégies d'adaptation sylvicoles.

Un discernement attentif est de mise dans chaque cas particulier afin d'éviter les travers de la généralisation abusive. Les zones limites, largement évoquées au cours de ce rapport, sont à identifier afin d'y déployer des mesures adaptatives prioritairement. Plus largement, les degrés de vulnérabilité des secteurs et d'adaptation de la sylviculture sont à évaluer précisément afin de déterminer l'importance du risque de réduction des prestations forestières, et pouvoir y confronter en réponse des stratégies adaptatives ajustées à la situation. Enfin, parmi les nombreux éléments à prendre en compte déjà présentés plus haut, on notera l'importance du degré de risque accepté qui conditionne également l'orientation sylvicole apportée aux peuplements.

Ainsi, l'affirmation de l'adaptation au changement climatique comme un enjeu majeur et intégrateur de la gestion forestière constitue une gageure de taille fondamentale pour la filière forêt-bois. En lieu et place de la définition d'itinéraires sylvicoles standardisés fondés sur des scénarios donnés, une adaptation continue et une diversification des pratiques forestières apparaissent comme des clefs pour relever le défi de l'avenir de nos forêts.

Sources bibliographiques

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE, AGENCE POUR L'ENVIRONNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT SOUTENABLE. Adaptation au changement climatique en Bourgogne & Forêt. [en ligne]. S.l. : ADEME Bourgogne, Alterre Bourgogne, 2012, 26 p. Disponible sur : http://www.bourgogne.ademe.fr/sites/default/files/files/M%C3%A9diath%C3%A8que/Publications/Changement%20climatique/Mini_dossier_Foret.pdf [Consulté le 19 avril 2018].

BADEAU Vincent, DUPOUEY Jean-Luc, CLUZEAU Catherine, DRAPIER Jacques, LE BAS Christine. Projet CARBOFOR : Séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France - Tâche D1 : Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises - Résumé du rapport final. S.l. : ECOFOR, INRA, 2004, 10 p.

BASTIEN Yves, GAUBERVILLE Christian. Vocabulaire forestier : Écologie, gestion et conservation des espaces boisés. . Nancy : AgroParisTech-ENGREF, 2011, 554 p. p. ISBN 978-2-904740-99-2.

BAUBET Olivier. Le Cahier technique n°48 - Santé des forêts en Rhône-Alpes - Département de la Santé des Forêts. Le Forestier Privé, 2016, n° 65, pp. 7.

BEBI P., SEIDL R., MOTTA R., FUHR M., FIRM D., KRUMM F., CONEDERA M., GINZLER C., WOHLGEMUTH T., KULAKOWSKI D. Changes of forest cover and disturbance regimes in the mountain forests of the Alps. *Forest Ecology and Management*, [en ligne]. 2017, Vol. 388, pp. 43-56. Disponible sur : [10.1016/j.foreco.2016.10.028](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.028) ISSN 03781127.

BECKER M., BERT G.D., PICARD J.-F., ULRICH E., BOUCHON J. Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du Nord-Est de la France depuis le milieu du XIX^e siècle. *Revue Forestière Française*, [en ligne]. 1994, Vol. XLVI, n° 4, pp. 335-341. Disponible sur : [10.4267/2042/26552](https://doi.org/10.4267/2042/26552) ISSN 1951-6827, 0035-2829.

BERGER Annabelle, PEYRON Jean-Luc. Les multiples valeurs de la forêt française. *Les données de l'environnement - La lettre thématique mensuelle de l'Institut français de l'environnement*, 2005, n° 105, pp. 4. ISSN 1250-8616.

BERTIN Sophie, PERRIER Céline (coordination), BALANDIER Philippe, BECQUEY Jacques, BONAL Damien, BRÉDA Nathalie, RIOU-NIVERT Philippe, SEVRIN Eric. Le bilan hydrique des peuplements forestiers. Etat des connaissances scientifiques et techniques. Implications pour la gestion. . S.l. : RMT AFORCE, 2016, 189 p. ISBN 978-2-916255-35-8.

BLEIKER Katherine. Dendroctone du pin ponderosa - Ressources naturelles Canada (RNCAN). [en ligne]. Disponible sur : <http://www.rncan.gc.ca/forets/feux-insectes-perturbations/principaux-insectes/13398> [Consulté le 3 avril 2018].

BOUTTE Bernard. Importants rougissements des pins noirs et sylvestres de l'Est et du Sud de la France dus au Sphaeropsis des pins. S.l. : Département de la santé des forêts, 2018, 4 p.

BRÉDA Nathalie, BRUNETTE Marielle. Réduire l'âge d'exploitabilité : une stratégie d'adaptation économiquement acceptable face aux risques induits par la sécheresse ? *Forêt-entreprise*, 2014, n° 217, pp. 46-49.

BRUCIAMACCHIE Max, DE TURCKHEIM Brice. La futaie irrégulière : théorie et pratique de la sylviculture irrégulière, continue et proche de la nature. . Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône) : Edisud, 2005, 286 p. ISBN 978-2-7449-0553-7.

CENTRE NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ FORESTIÈRE. CNPF - Centre National de la Propriété Forestière. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.cnpf.fr/> [Consulté le 5 avril 2018].

CENTRE NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ FORESTIÈRE, FORESTIERS PRIVÉS DE FRANCE. Les chiffres clés de la forêt privée - Edition 2015. S.l. : Centre National de la Propriété Forestière, Forestiers Privés de France, 2015, 32 p.

CENTRE RÉGIONAL DE LA PROPRIÉTÉ FORESTIÈRE RHÔNE-ALPES. Additif 2017 - Guide des stations - Alpes du Nord et Montagnes de l'Ain. [en ligne]. S.l. : 2017, 18 p. Disponible sur : https://auvergnerhonealpes.cnpf.fr/data/g17_additifs_alpes.pdf [Consulté le 2 mars 2018].

CHOPARD Bruno, RIOU-NIVERT Philippe, DIDIER François, DELEUZE Catherine. Gestion des résineux et demande industrielle : le regard de la R&D. *Revue Forestière Française*, 2016, Vol. LXVIII, n° 2, pp. 173-184.

CINOTTI B. Evolution des surfaces boisées en France : Proposition de reconstitution depuis le début du XIXe siècle. *Revue Forestière Française*, 1996, Vol. XLVIII, n° 6, pp. 547-562.

CIZABUIROZ Loïc. Etude de la régénération naturelle résineuse au sein de la futaie jardinée du Haut-Jura. Mémoire de fin d'études AgroParisTech-ENGREF. Nancy : AgroParisTech, 2014, 79 p.

COURBAUD Benoît, KUNSTLER Georges, MORIN Xavier, CORDONNIER Thomas. Quel futur pour les services écosystémiques de la forêt alpine dans un contexte de changement climatique ? *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, [en ligne]. 2010, n° 98-4. Disponible sur : 10.4000/rga.1308 [Consulté le 26 février 2018]. ISSN 0035-1121.

COURBET François (Coordinateur), LAGACHERIE Michèle, MARTY Pauline, LADIER Jean, RIPERT Christian, RIOU-NIVERT Philippe, HUARD Frédéric, AMANDIER Louis, PALLASSA Eric. Le cèdre en France face au changement climatique : Bilan et recommandations. . S.l. : INRA, IRSTEA, CRPF, ONF, RMT AFORCE, 2012, 32 p.

CSAKVARY Alain. Forte présence de la processionnaire du pin. *Parlons Forêt en Auvergne-Rhône-Alpes*, 2018, n° 4, pp. 10.

DAY J. Kenneth, PÉREZ David Manuel. Reducing uncertainty and risk through forest management planning in British Columbia. *Forest Ecology and Management*, [en ligne]. 2013, Vol. 300, pp. 117-124. Disponible sur : 10.1016/j.foreco.2012.11.035 ISSN 03781127.

DHÔTE J.-F., DUPOUEY J.-L., BERGÈS L. Modifications à long terme, déjà constatées, de la productivité des forêts françaises. *Revue Forestière Française*, 2000, Vol. LII, n° spécial 2000, pp. 37-48.

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ALIMENTATION, DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORÊT AUVERGNE-RHÔNE-ALPES. Programme régional de la forêt et du bois. Lyon : 2018, 72 p.

ELKIN Ché, GIUGGIOLA Arnaud, RIGLING Andreas, BUGMANN Harald. Short- and long-term efficacy of forest thinning to mitigate drought impacts in mountain forests in the European Alps. *Ecological Applications*, [en ligne]. 2015, Vol. 25, n° 4, pp. 1083-1098. Disponible sur : 10.1890/14-0690.1 ISSN 1939-5582.

ENVIRONMENTAL ENERGETICS. The devastating spread of the mountain pine beetle. [en ligne]. Disponible sur : <https://environmentalenergetics.com/2014/09/10/the-devastating-spread-of-the-mountain-pine-beetle/> [Consulté le 3 avril 2018].

FIBOIS AUVERGNE-RHÔNE-ALPES. Les chiffres clés de la forêt en Auvergne-Rhône-Alpes. [en ligne]. Disponible sur : <http://fibois-aura.org/foret/les-chiffres-cles-de-la-foret-en-auvergne-rhone-alpes/> [Consulté le 10 avril 2018].

GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT. Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. Genève : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2014, 180 p.

HUANG J.-G., BERGERON Y., DENNELER B., BERNINGER F., TARDIF J. Response of forest trees to increased atmospheric CO₂. *Critical Reviews in Plant Sciences*, [en ligne]. 2007, Vol. 26, n° 5/6, pp. 265-283. Disponible sur : 10.1080/07352680701626978

INSTITUT DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE ET FORESTIÈRE. Le memento - Inventaire forestier - Edition 2017. Paris : Institut de l'information géographique et forestière, 2017, 17 p.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE AGRONOMIQUE. Processionnaire du pin : une chenille sous haute surveillance. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.inra.fr/Grand-public/Sante-des-plantes/Tous-les-dossiers/Processionnaire-du-pin-une-chenille-sous-haute-surveillance/L-inexorable-avancee-de-la-chenille-processionnaire> [Consulté le 3 avril 2018].

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE AGRONOMIQUE. Ephytia - Liste des maladies et des bioagresseurs. [en ligne]. Disponible sur : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/18504/Forets-Liste-des-problemes-sanitaires-des-forets> [Consulté le 19 avril 2018].

INSTITUT TECHNOLOGIQUE FORÊT CELLULOSE BOIS-CONSTRUCTION AMEUBLEMENT. Mémento 2017. S.I. : Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement FCBA, 2017, 48 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Intergovernmental panel on climate change (IPCC) - Organization - History. [en ligne]. Disponible sur : http://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml [Consulté le 9 avril 2018].

JOLY Daniel. Étude de la vulnérabilité de la forêt du Parc du Haut-Jura vis-à-vis du changement climatique. S.I. : Parc naturel régional du Haut-Jura, 2015, 38 p.

KNOKE Thomas, AMMER Christian, STIMM Bernd, MOSANDL Reinhard. Admixing broadleaved to coniferous tree species: A review on yield, ecological stability and economics. *European Journal of Forest Research*, 2008, Vol. 127, n° 2, pp. 89–101.

LANIER Louis, BADRE Michel, DELABRAZE Pierre, DUBOURDIEU Jean, FLAMMARION Jean-Paul. Précis de sylviculture. . 2ème éd.ed. Nancy : Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (ENGREF), 1994, 477 p. p. ISBN 978-2-85710-038-6.

LATTE Nicolas, LEBOURGEOIS François, KINT Vincent, DROUET Thomas, CLAESSENS Hugues. Le Hêtre face au changement climatique : le cas de la Belgique. *Revue Forestière Française*, 2017, Vol. LXIX, n° 3, pp. 205-218.

LECHINE Patrick, ABT Dominique. Les Forêts de Franche-Comté face au Changement Climatique. Besançon : CRPF Franche-Comté, ONF Franche-Comté, Société Forestière de Franche-Comté, 2012, 36 p.

LEGAY Myriam, BADEAU Vincent, BODIN Jeanne, BONTEMPS Jean-Daniel, BRÉDA Nathalie, CHANDIOUX Olivier, CHUINE Isabelle, CLUZEAU Catherine, DÉGUÉ Michel, DESPREZ-LOUSTAU Marie-Laure, DHÔTE Jean-François, DUPOUEY Jean-Luc, DRAPIER Jacques, GERDEAUX Daniel, GUIBAL Frédéric, CORDONNIER Thomas, LEMAIRE Gilles, MARÇAIS Benoît, MENONI Emmanuel, MORIN Xavier, NAGELEISEN Louis-Michel, NOVOA Claude, ROQUES Alain, SEGUIN Bernard, SOUSSANA Jean-François, VENNETIER Michel, VILA Bruno, LIANG Er-Yuan, RIPERT Christian, HERVÉ Jean-Christophe, RITTIÉ Daniel, VALLET Patrick, GRANIER André, LEFÈVRE François, KREMER Antoine, MORTIER Frédéric, MENGIN-LECREULX Patrice. Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques. *RenDez-Vous techniques de l'Office National des Forêts - Hors-série INRA - ONF*, 2007, n° 3, pp. 108. ISSN 1763-6442.

LEGAY Myriam, CUILLIÉ Benoît, DHÔTE Jean-François, LAIZÉ Gérard, LEBAN Jean-Michel, PENNEROUX Max, PETIT-CONIL Michel, PEYRON Jean-Luc, TAYEB Jean, VALLET Patrick, VINÉ Pascal. Colloque interne ONF des 19-20 juin 2012 à Paris - Changement climatique et évolution des usages du bois, quelles incidences sur nos orientations sylvicoles ? *RenDez-Vous techniques de l'Office National des Forêts*, 2012, n° 38, pp. 117. ISSN 1763-6442.

LEMAIRE Jean. BioClimSol - acquis, apports, limites. *Forêt-entreprise*, 2014, n° 218, pp. 7-11.

LINDNER Marcus, MAROSCHEK Michael, NETHERER Sigrid, KREMER Antoine, BARBATI Anna, GARCIA-GONZALO Jordi, SEIDL Rupert, DELZON Sylvain, CORONA Piermaria, KOLSTRÖM Marja, LEXER Manfred J., MARCHETTI Marco. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, [en ligne]. 2010, Vol. 259, n° 4, pp. 698-709. Disponible sur : [10.1016/j.foreco.2009.09.023](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023) ISSN 03781127.

MARINO Garrett P, KAISER Dale P, GU Lianhong, RICCIUTO Daniel M. Reconstruction of false spring occurrences over the southeastern United States, 1901–2007: An increasing risk of spring freeze damage? *Environmental Research Letters*, [en ligne]. 2011, Vol. 6, n° 2, pp. 024015. Disponible sur : [10.1088/1748-9326/6/2/024015](https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/2/024015) ISSN 1748-9326.

OBSERVATOIRE RÉGIONAL DES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE. Etat des connaissances - Activités économiques, sylviculture et changement climatique en Auvergne-Rhône-Alpes. S.I. : ORECC, 2017, 16 p.

OBSERVATOIRE SAVOYARD DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DE L'AGENCE ALPINE DES TERRITOIRES. Le réchauffement dans les Alpes. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.mdp73.fr/index.php/10-les-observatoires/observatoire-savo-yard-du-changement-climatique/19-rechauffement-dans-les-alpes> [Consulté le 15 mai 2018].

OFFICE DES FORÊTS DU CANTON DE BERNE. Forêt et changement climatique. [en ligne]. Berne : 2013a, 12 p. Disponible sur : https://www.vol.be.ch/vol/fr/index/wald/wald/bewirtschaften/waldbau_klimawandel.assetref/dam/documents/VOL/KAWA/fr/Wald_bewirtschaften/waldbau-klimawandel_merkblatt-allgemein_fr.pdf [Consulté le 26 février 2018].

OFFICE DES FORÊTS DU CANTON DE BERNE. Forêt et changement climatique - Recommandations sylvicoles concernant les essences forestières. Berne : 2013b, 16 p.

OFFICE NATIONAL DES FORÊTS. Office national des forêts. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.onf.fr/> [Consulté le 6 avril 2018].

PEÑUELAS Josep, OGAYA Romà, BOADA Martí, S. JUMP Alistair. Migration, invasion and decline: Changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). *Ecography*, [en ligne]. 2007, Vol. 30, n° 6, pp. 829-837. Disponible sur : [10.1111/j.2007.0906-7590.05247.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05247.x) ISSN 09067590.

PIAZZA-MOREL Delphine, ARLOT Marie-Pierre, PHILIPPE Félix, VERON François. Impacts du changement climatique et adaptation en territoire de montagne - Rapport final du projet GICC-ONERC AdaMont. S.l. : IRSTEA, CNRS, Météo France, Parc naturel régional du Vercors, 2018, 158 p.

PIEDALLU Christian, PEREZ Vincent, GÉGOUT Jean-Claude, LÉBOURGEOIS François, BERTRAND Romain. Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Épicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. *Revue Forestière Française*, 2009, Vol. LXI, n° 6, pp. 567-594.

PIERANGELO Anne, BOUILLON Pierre, CHAUVIN Josette, GIRARD Sabine, GUIBERT Monique, DESPREZ-LOUSTAU Marie-Laure, PORQUET Isabelle, RICODEAU Nicolas, RIOU-NIVERT Philippe, ROMAN-AMAT Bernard. Ressources génétiques forestières : conseils d'utilisation des matériels forestiers de reproduction. [en ligne]. S.l. : DRAAF, IRSTEA, 2017, 13 p. Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/telecharger/85815?token=36fd9fc63aec151bb5e168b863ba2410> [Consulté le 5 mars 2018].

PLUESS Andrea R., AUGUSTIN Sabine, BRANG Peter. Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. . Hapted. Berne, Birmensdorf : Office fédéral de l'environnement (OFEV), Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), 2016, 455 p. ISBN 978-3-258-07996-7.

PRÉFET DE LA RÉGION AUVERGNE-RHÔNE-ALPES. Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt - Arrêté fixant les matériels forestiers de reproduction éligibles aux aides de l'État sous forme de subventions ou d'aides fiscales dans les projets de boisements et reboisements. S.l. : 2018, 12 p.

RIOU-NIVERT Philippe. Où en est la sylviculture des résineux face à l'évolution des débouchés ? *Forêt-entreprise*, 2015, n° 224, pp. 44-48.

RIOU-NIVERT Philippe, MOUSSU Christelle. Réchauffement climatique - Le changement climatique et la forêt : une réalité. *Forêts de France*, 2007, n° 509, pp. 17-22.

ROMAN-AMAT Bernard. Préparer les forêts françaises au changement climatique. S.l. : 2007, 125 p.

ROUX A., DHÔTE J.-F., ACHAT D., BASTICK C., COLIN A., BAILLY A., BASTIEN J.-C., BERTHELOT A., BRÉDA N., CAURLA S., CARNUS J.-M., GARDINER B., JACTEL H., LEBAN J.-M., LOBIANCO A., LOUSTEAU D., MEREDIEU C., MARÇAIS B., MARTEL S., MOISY C., PAQUES L., PICART-DESHORS D., RIGOLOT E., SAINT-ANDRÉ L., SCHMITT B. Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? Une étude des freins et leviers forestiers à l'horizon 2050. Rapport d'étude pour le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. Paris : INRA et IGN, 2017, 331 p.

SÉMUR. Carte des massifs montagneux de France. [en ligne]. Disponible sur : https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/67/Mountain_ranges_of_France_map-fr.svg [Consulté le 5 juin 2018].

SERVICE PUBLIC DE WALLONIE. WalOnMap -Géoportail de la Wallonie - Fichier écologique des essences. [en ligne]. Disponible sur : <http://geoportail.wallonie.be/catalogue/d3cf04bd-ffe0-4132-8594-b1a4a0e34f7d.html> [Consulté le 11 mai 2018].

STADELMANN Golo, BUGMANN Harald, MEIER Franz, WERMELINGER Beat, BIGLER Christof. Effects of salvage logging and sanitation felling on bark beetle (*Ips typographus* L.) infestations. *Forest Ecology and Management*, [en ligne]. 2013, Vol. 305, pp. 273-281. Disponible sur : 10.1016/j.foreco.2013.06.003 ISSN 0378-1127.

TEMPERLI Christian, BUGMANN Harald, ELKIN Ché. Adaptive management for competing forest goods and services under climate change. *Ecological Applications*, [en ligne]. 2012, Vol. 22, n° 8, pp. 2065-2077. Disponible sur : 10.1890/12-0210.1 ISSN 1939-5582.

TROCCAZ Hadrien. Etude des effets du changement climatique sur la pérennité de l'épicéa commun dans les forêts des Alpes du Nord et des montagnes de l'Ain face à *Ips typographus*. Mémoire de fin d'études de l'École nationale supérieure des sciences agronomiques de Bordeaux. Bordeaux : Bordeaux Sciences Agro, Agence Ain-Loire-Rhône de l'Office National des Forêts, 2014, 58 p.

TRUMBORE S., BRANDO P., HARTMANN Henrik. Forest health and global change. *Science*, 2015, Vol. 349, n° 6250, pp. 814-818.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. First steps to a safer future: Introducing The United Nations framework convention on climate change (UNFCCC). [en ligne]. Disponible sur : http://unfccc.int/essential_background/convention/items/6036.php [Consulté le 27 mars 2018].

Personnes rencontrées

- ❖ Personnes rencontrées dans le cadre de l'enquête auprès des gestionnaires :

Cinquante gestionnaires en forêt publique et privée (cf répartition en partie 3.3.), dont l'anonymat sera respecté.

- ❖ Personnes rencontrées en dehors du cadre de l'enquête auprès des gestionnaires :

Annabelle AMM (GIP ECOFOR), Brigitte PILARD-LANDEAU (ONF), Céline PERRIER (CNPF-IDF, RMT AFORCE), Sabine GIRARD (CNPF-IDF), Mériem FOURNIER (AgroParisTech-ENGREF), Isabelle FLOURET (Fransylva), François-Xavier NICOT (ONF), Bruno ROLLAND (CRPF), Peter BRANG (WSL – Suisse), Franck BERNINGER (University of Helsinki), Jean-Luc PEYRON (GIP ECOFOR), Olivier PICARD (CNPF-IDF, RMT AFORCE), Jean LEMAIRE (CNPF-IDF), Jacques BECQUEY (CNPF-IDF), Nicolas MONNERET (EFF), Thierry AMEGLIO (INRA), Jean-Michel ESCURAT (Ecole forestière de Meymac), Philippe PREVOST (Agreenium), etc.

Glossaire

Sont repris ici les termes techniques repérés par le symbole « * » lors de leur première apparition dans le corps du texte.

- **Activité mycorhizienne** : résultat de l'association symbiotique complexe entre des champignons du sol et les racines des arbres, qui leur permet d'augmenter les flux d'eau, de minéraux et de carbone organique.
- **Adaptation** : Processus d'ajustement au climat actuel ou futur, ainsi qu'à ses conséquences. L'action de l'homme peut contribuer à adapter les systèmes naturels au climat attendu (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014).
- **ARCHI** : Méthode mise en place par le Centre national de la propriété forestière qui vise à établir un diagnostic visuel de l'état sanitaire de l'arbre. La méthode s'appuie sur une clef de détermination des types ARCHI (allant du type sain – "arbre d'avenir", au dépérissement irréversible – "arbre sans avenir"), fondée sur cinq descripteurs architecturaux (observations des branches sommitales et des gourmands) (Centre national de la propriété forestière, 2018).
- **Atténuation** : Intervention humaine dont l'objectif est de réduire les sources (e.g. consommation de carburants fossiles, déforestation) ou de développer les puits de gaz à effet de serre (e.g. océans, forêts) (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014).
- **BASI** : Critère standard de l'économie forestière, imaginé par le forestier allemand Faustmann en 1849, le BASI désigne le Bénéfice Actualisé en Séquence Infinie. Il permet de comparer économiquement des itinéraires sylvicoles de durées différentes en les ramenant à une durée commune, l'infini. On émet l'hypothèse que le peuplement suit toujours le même itinéraire (même dépenses et recettes, au même moment, pour chaque cycle).

Avec R désignant les recettes, D les dépenses et r le taux d'actualisation, le BASI se calcule ainsi :

$$\text{BASI} = \sum_{i=0}^n \frac{R_i - D_i}{(1+r)^i} \times \frac{(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (\text{Bréda et Brunette, 2014})$$

- **BILJOU** : Modèle de bilan hydrique développé par l'INRA (UMR Ecologie et écophysiologie forestières), qui intègre des paramètres variés en termes de climat, de sol, d'écosystème forestier, de flux d'eau et de contraintes hydriques.
- **BioClimSol** : Outil numérique en cours de développement par le Centre national de la propriété forestière, et qui cherche à appuyer le gestionnaire dans ses diagnostics stationnels, climatiques, pédologiques, dendrométriques et sanitaires, et à lui proposer des recommandations sylvicoles (choix d'essences et orientations de gestion) (Centre national de la propriété forestière, 2018).
- **Chablis** : Arbre déraciné par un aléa naturel, souvent en raison du vent. Les chablis font partie des perturbations naturelles habituelles en montagne et tendent à augmenter, comme nous l'avons vu dans ce rapport. Les ouvertures dans le peuplement créées par les chablis sont parfois appelées des trouées de chablis (Bastien et Gauberville, 2011).
- **Chalcographe** (*Pityogenes chalcographus*) : Scolyte ravageur de l'épicéa, souvent associé au typographe, avec qui il contribue à la mort de l'arbre attaqué en détruisant ses conduits de sève. Comme *Ips typographus*, il attaque de préférence les arbres affaiblis, sauf en cas d'infestation généralisée favorisée par des chablis ou un stock de bois mort important. Les étapes de son développement sont similaires à celles du typographe, à la différence que le mâle s'accouple dans l'écorce avec 3 à 7 femelles, ce qui conduit à la création de plus de galeries de ponte maternelles sous-corticales.

Le chalcographe, dont le cycle est également tributaire des conditions climatiques (précipitations, températures), présente généralement deux générations par an en plaine et une en montagne (Institut national de recherche agronomique, 2018).

- **Chancre** : Champignon ou bactérie à la source de nécroses et de dégâts divers selon les essences. On peut citer par exemple *Cryphonectria parasitica* (le chancre du châtaignier), *Lachnellula wilkommii* (le chancre du mélèze), *Melampsorella caryophyllacearum* (dorge du sapin), etc (Institut national de recherche agronomique, 2018).

- **Changement climatique** : Le GIEC décrit le changement climatique comme la variation de l'état du climat, qu'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, notamment les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques ou des changements anthropiques persistants dans la composition de l'atmosphère ou dans l'utilisation des terres. On notera que la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dans son article premier, définit les changements climatiques comme des « changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables ». La CCNUCC établit ainsi une distinction entre les changements climatiques attribuables aux activités humaines qui altèrent la composition de l'atmosphère et la variabilité du climat imputable à des causes naturelles (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014).

Dans le présent rapport, sont utilisés à la fois les termes de « changement climatique » et de « dérèglement climatique », mais également de « changements et dérèglements climatiques » au pluriel, parfois employés dans la littérature scientifique. Tous font écho aux différentes composantes du changement global décrit en partie 2.1.2.

- **Chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*)** : Lépidoptère dont la forme adulte est un papillon nocturne, et la forme larvaire une chenille qui se développe dans les aiguilles des pins. Les chenilles, grégaires, sont rassemblées en nids et consomment les aiguilles des pins qui les hébergent, parfois jusqu'à une défoliation totale. Si les pins sont entièrement capables de supporter cette défoliation, les attaques répétées ou menées sur des arbres affaiblis peuvent conduire à une diminution de leur résistance aux ravageurs de faiblesse tels que le *Sphaeropsis*, les scolytes (e.g. le sténographe *Ips sexdentatus*, l'hylésine destructeur *Tomicus destruens*, etc.) ou le pissode du pin *Pissodes castaneus* (Institut national de recherche agronomique, 2018).

- **Dendroctone (*Dendroctonus micans*)** : Scolyte ravageur de l'épicéa, maintenu à un niveau endémique par un de ses ennemis naturels, *Rhizophagus grandis*, un autre coléoptère de la famille des Monotomidae.

- **Exploitabilité** : Ici, la notion d'exploitabilité rassemble les conditions de récolte des bois (pente, aspérité et portance du terrain, accessibilité pour les bucherons, débardeurs et grumiers). A noter que dans un contexte d'aménagement forestier, l'exploitabilité peut également désigner l'état d'un peuplement, qui une fois atteint permet de le récolter compte tenu des objectifs de gestion (e.g. diamètre d'exploitabilité, âge d'exploitabilité) (Bastien et Gauberville, 2011).

- **Fomès (*Heterobasidion sp.*)** : Ensemble de champignons qui colonisent les arbres à travers la germination des spores sur les souches fraîches. Les blessures d'exploitation constituent également une entrée pour ces champignons. Le fomès se propage par contact racinaire ; le mycélium se répand ainsi dans les racines, le bois de cœur, entraînant une pourriture, et selon les essences, dans l'aubier et les tissus sous-corticaux, provoquant la mort de l'arbre. Toutes les essences résineuses sont touchées par des champignons du fomès, notamment l'épicéa pour qui on parle alors de « cœur rouge » (Institut national de recherche agronomique, 2018).

- **Groupes chorologiques** : Ensembles d'espèces vivantes regroupées selon leur répartition géographique.

- **Gui (*Viscum album*)** : Végétal chlorophyllien, hémiparasite des arbres et des arbustes, qui puise l'eau et les minéraux dans la sève de son hôte grâce à des suçoirs endophytiques. Le gui du sapin (*Viscum album abietis*) est lié à d'importants problèmes dans certaines sapinières sèches de basse altitude : chutes de croissance, dessèchements, diminution de la fructification, sensibilité aux attaques parasitaires, dépérissements... (Institut national de recherche agronomique, 2018).
- **Hylobe (*Hylobius abietis*)** : Insecte de la famille des Cucurlionidés qui attaque les jeunes plants et semis résineux (morsures au collet, sur des rameaux bas ou sur la tige principale, pouvant conduire au dessèchement du jeune sujet). La ponte des œufs a souvent lieu dans les racines de souches fraîches (après coupe) ou d'arbres en cours de dépérissement. L'hylobe constitue un ravageur prépondérant des reboisements résineux (Institut national de recherche agronomique, 2018).
- **IKS** : Outil numérique en cours de développement par l'Office National des Forêts, et qui identifie pour chaque essence son aire de compatibilité climatique actuelle et future, c'est-à-dire la zone géographique qui présente des paramètres climatiques permettant à l'essence en question de se développer.
- **Incertitude** : Degré imparfait de connaissance entraîné par un déficit en informations (dû par exemple à des données imprécises, des phénomènes indéterminés, des prévisions aléatoires de l'action de l'homme, etc.) (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014).
- **LIDAR** : Technique de télédétection fonctionnant avec un radar terrestre ou aéroporté et qui permet d'acquérir des données en trois dimensions très précises sur le relief (modèle numérique de terrain) et les peuplements en place (modèle numérique de surface). Les traitements informatiques postérieurs permettent notamment d'obtenir des informations dendrométriques de qualité sur des surfaces très importantes, comme cela a été le cas dans le département de l'Ain récemment (voir « Observatoire forestier des montagnes de l'Ain » dans ce même glossaire).
- **Maladie des bandes rouges (*Dothistroma septosporum*, *Dothistroma pini*)** : Maladie due à des champignons qui attaquent les aiguilles de pins, se rendant visible par des tâches jaunes puis des annulations rouges apparaissant autour des aiguilles, et suivies d'un dessèchement de l'aiguille (Institut national de recherche agronomique, 2018).
- **Massif forestier** : Ensemble continu de forêts attenantes et formant une vaste étendue boisée, indépendamment des questions de propriété foncière (Bastien et Gauberville, 2011).
- **Massif montagneux** : Relief d'altitude formant un ensemble continu de quelques centaines ou milliers de kilomètres et regroupant plusieurs montagnes et sommets. A titre d'exemples, le massif alpin dans son ensemble a une longueur de 1200 km pour 280 km de large, contre 350 km de long et 65 km de large pour le massif jurassien.
- **Matrice SWOT** : Outil utilisé en stratégie pour isoler les possibilités d'action dans un domaine d'activité. Il intègre les forces et faiblesses, ainsi que les opportunités et les menaces associées à ce domaine pour définir sa stratégie de développement.
- **Nécrose cambiale** : Lésions du tronc dues à la mort du cambium observées sur le douglas, souvent à basse altitude. L'origine de ces nécroses cambiales en bandes n'est pas encore clairement établie, mais pourrait être imputée à des stress climatiques.
- **Observatoire forestier des montagnes de l'Ain** : Dispositif de mesure et de suivi (temporel, spatialisé et non spécifique) de la dynamique forestière dans le département de l'Ain depuis 2008. Il s'appuie sur 738 placettes permanentes couvrant 125 000 hectares. Des vols LIDAR ont également couvert le département en 2014, et les modèles de traitement des données dendrométriques recueillies ont été calibrés grâce aux placettes permanentes, qui ont été mesurées en 2008 puis en 2015. Un nouvel observatoire forestier, qui couvrira le département de la Savoie, va être mis en place prochainement.

- **Phénologie** : Ensemble des événements périodiques du développement des arbres liés au climat : débourrement, floraison, maturation des fruits, sénescence des feuilles (Legay et al., 2007).
- **Photogrammétrie** : Technique délivrant des données tridimensionnelles de haute précision à partir du traitement de photographies aériennes. L'intégration de différentes photographies d'un même point mais sous différentes perspectives permet en effet d'obtenir des données cartographiques en trois dimensions très précises.
- **Photorespiration** : ensemble des processus métaboliques des plantes vertes aboutissant au dégagement de gaz carbonique sous l'effet de la lumière, caractérisé par un bilan énergétique négatif.
- **Pissode du sapin (*Pissodes piceae*)** : Insecte appartenant au genre des Coléoptères et à la famille des Curculionidés, s'attaquant principalement aux sapins pectinés adultes en creusant des galeries sous-corticales pour y pondre leur œufs (Institut national de recherche agronomique, 2018).
- **Plants commercialisés « à la planche »** : Plants qui ne sont pas triés selon des critères dimensionnels (i.e. par catégorie de hauteur), gage de diversité génétique conforme à celle du lot de semence initial. Bien entendu, les plants qui ne respectent pas les réglementations officielles en vigueur en termes de dimensions sont exclus de cette mesure. La « charte de diversité génétique des semences et plants forestiers », mise en place par les membres de la filière, défend cette mesure afin de préserver les capacités d'adaptation des peuplements, tout comme elle fixe des seuils minimaux de semenciers pour la constitution des lots de semences (Pierangelo et al., 2017).
- **Produits forestiers non ligneux** : Parfois appelés « menus produits forestiers », « produits forestiers non bois », « produits forestiers secondaires », ou encore « non-timber forest products ; non-wood forest products (NTFP ; NWFP) » en anglais, les produits forestiers non ligneux (PFNL) désignent des biens d'origine biologique issus de la forêt autres que le bois. Il peut s'agir par exemple de la venaison (gibier), de végétaux décoratifs (ex : sapin de Noël, houx), de produits de la cueillette (plantes aromatiques, champignons, baies...), de l'apiculture ou de la subériculture, etc. (Berger et Peyron, 2005; Centre national de la propriété forestière et Forestiers privés de France, 2015).
- **Pyrale du buis (*Cydalima perspectalis*)** : Lépidoptère originaire d'Asie et dont les chenilles ravagent les feuilles, les bourgeons et l'écorce des buis. Cette espèce est envahissante et très prolifique, puisque les femelles peuvent pondre plus de 2000 œufs, avec deux à trois générations annuelles. Les buis défoliés peuvent être réattaqués lors de la nouvelle feuillaison ayant lieu à la saison de végétation suivante, ce qui peut conduire à des pertes de vitalité significatives et à des dépérissements massifs (Institut national de recherche agronomique, 2018).
- **Rougisement physiologique** : Rougisement printanier des résineux, majoritairement des douglas, qui s'explique par un décalage entre l'évapotranspiration du feuillage et l'absorption d'eau par les racines. Cet accident physiologique s'observe notamment lorsque des journées d'hiver sont chaudes et ensoleillées, que la demande évapotranspiratrice est élevée, mais que le sol est gelé ou trop froid pour permettre un apport suffisant en eu. Le feuillage sèche puis prend une teinte jaune et enfin rouge ; la survie des arbres touchés n'est plus assurée. Les jeunes douglasaies et les zones de moyenne montagne semblent être les plus touchées. Des ensoleillements brutaux, l'absence d'ambiance forestière et la présence de fomès sont des facteurs qui favorisent le rougisement physiologique (Institut national de recherche agronomique, 2018).
- **Saison de végétation** : période de l'année durant laquelle les conditions météorologiques sont favorables au développement et à la croissance des arbres (Lechine et Abt, 2012).

- **Scolyte** : Insecte xylophage appartenant à l'ordre des coléoptères. Plusieurs représentants sont cités dans ce rapport : *Dendroctonus ponderosae* (dendroctone du pin ponderosa), ravageur du pin (*Pinus ponderosa*, mais aussi *Pinus contorta*) en Amérique du Nord ; *Ips typographus* (bostryche typographe), ravageur de l'épicéa (*Picea abies*, mais aussi *Picea orientalis*) en Eurasie ; *Pityogenes chalcographus* (chalcographe) et *Dendroctonus micans* (dendroctone), ravageurs de l'épicéa en Europe ; ou encore *Xylosandrus germanus*, le scolyte noir du Japon, qui s'attaque à plusieurs feuillus et résineux communs en Europe (Institut national de recherche agronomique, 2018).
- **Services écosystémiques** : Services non marchands (i.e. non rémunérés à ce jour) fournis par la forêt, tels que l'accueil d'activités récréatives, la préservation de la biodiversité, la filtration de l'eau, le maintien des sols, la séquestration du carbone, etc. (Berger et Peyron, 2005; Centre national de la propriété forestière et Forestiers privés de France, 2015; Trumbore et al., 2015).
- **Sylv'ACCTES** : Association reconnue d'intérêt général proposant un outil de financement alimenté par les collectivités et les entreprises, lequel vise à améliorer la capacité des forêts à stocker du carbone. Plus largement, l'objectif est aussi de financer des actions favorables aux services écosystémiques de la forêt (biodiversité, paysage, économie locale, etc.).
- **Sylvoécocorégion** : Vaste zone géographique où les facteurs influençant les écosystèmes forestiers sont homogènes, et différents des régions voisines. L'IFN a ainsi déterminé 91 sylvoécocorégions (SER°) et 5 grandes régions écologiques (GRECO°) (Bastien et Gauberville, 2011).
- **Tordeuse des pousses du pin (*Rhyacionia buoliana*)** : Insecte de l'ordre des lépidoptères qui pond ses œufs sur les bourgeons et les pousses terminales des pins. Après éclosion des œufs, les chenilles consomment les aiguilles et les bourgeons ; l'arbre, privé de son bourgeon terminal, présente alors des courbures « en baïonnette » car un bourgeon latéral s'est développé en compensation (Institut national de recherche agronomique, 2018).
- **Volis** : Arbre brisé par des causes naturelles, souvent en raison du vent, mais parfois aussi à cause de la neige, de la foudre, de la sénescence naturelle ou de la chute d'un arbre voisin. Ce terme désigne également la partie de l'arbre tombé au sol, celle restant sur pied étant désignée sous le terme de chandelle (Bastien et Gauberville, 2011).
- **Volume bois fort tige** : Volume d'arbre habituellement utilisé par l'inventaire forestier national (IFN), qui englobe la tige principale depuis le sol jusqu'à la section atteignant 7 centimètres de diamètre. Les résultats fournis par l'IFN prennent généralement en compte les arbres dont le diamètre à 1,30 mètres est supérieur ou égal à 7,5 cm (Institut de l'information géographique et forestière, 2017).
- **Zone de montagne** : Classement attribué à certaines communes caractérisées par un handicap naturel (altitude entraînant un climat très rude, pente empêchant ou limitant fortement la mécanisation). Cette classification, précisée par l'article D113-14 du Code rural et de la pêche maritime, donne droit à des primes de la Politique Agricole Commune pour les agriculteurs concernés.

Table des annexes

Figure 1. Taux de boisement des différents départements de France métropolitaine, avec détail des dix départements les plus boisés, et localisation des massifs montagneux français (Sémhur, 2015; Institut de l'information géographique et forestière, 2017)	77
Figure 2. Part de la surface forestière privée pour la France métropolitaine et pour chaque région administrative (Institut de l'information géographique et forestière, 2017)	79
Figure 3. : Volume de bois sur pied à l'hectare par région administrative (m ³ de bois fort tige / ha) (Institut de l'information géographique et forestière, 2017)	80
Figure 5. : Exemple de photographies illustrant l'évolution du couvert forestier dans les Alpes depuis le XIX ^e siècle (Bebi et al., 2017)	81
Figure 7. : Temps de recouvrement de différentes fonctions après une perturbation (modifié d'après Trumbore et al., 2015)	82
Figure 8. : Massif forestier situé en Alberta à l'ouest du Canada, dévasté par le scolyte <i>Dendroctonus ponderosae</i> (en français « le dendroctone du pin ponderosa », en anglais « the mountain pine beetle ») (Environmental energetics, 2014)	82
Figure 9. : Émissions anthropiques mondiales de CO ₂ provenant de la foresterie et d'autres utilisations des terres, ainsi que de l'utilisation des combustibles fossiles, de la production de ciment et de la combustion en torchère (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014)	83
Figure 12. : Nombre de jours d'été présentant un danger d'incendie « extrême » en Suisse sur deux périodes de référence, 1981-2010 et 2070-2099 (Pluess et al., 2016)	84
Figure 13. : Evolution à très long terme du taux de CO ₂ atmosphérique, de la température de surface du globe, et du niveau moyen de la mer selon différents scénarios climatiques (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014)	85
Figure 14. : Comparaison des températures moyennes en surface du globe, des précipitations moyennes et des niveaux moyens de la mer entre les périodes 1986-2005 et 2081-2100, en tous points du globe et selon différents scénarios climatiques (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014)	86
Tableau 1. : Evolution de l'accroissement annuel en surface terrière d'arbres dominants observée dans diverses études en France (Dhôte et al., 2000)	87
Figure 15. : Croissances radiales d'essences forestières de l'Est de la France entre 1850 et 1990 (Becker et al., 1994)	88
Figure 17. : Evolutions possibles de la production des forêts françaises au XXI ^e siècle (modifié d'après Roman-Amat, 2007)	89
Figure 18. : Représentation schématique de la niche écologique (ou réalisée) d'une essence (Pluess et al., 2016).	89
Figure 19. : Représentation schématique du déplacement de l'aire de répartition potentielle d'une essence (Pluess et al., 2016)	90
Figure 21. : Distribution de la hêtraie et de la chênaie verte en Europe, et localisation des zones d'étude situées à différentes altitudes du massif du Montseny en Catalogne (Peñuelas et al., 2007)	90

Figure 22. : Photographies illustrant la remontée altitudinale de la hêtraie et la modification des aires de répartition des essences forestières dans le massif du Monstény lors du siècle dernier (Peñuelas et al., 2007)	91
Figure 23. (a., b. et c.) : Résultats de travaux de modélisation des aires de répartition actuelles et futures de différentes essences en France et en Suisse (Badeau et al., 2004; Piedallu et al., 2009; Pluess et al., 2016)	92
Fig 26. (a., b. et c.) : Expansion de la chenille processionnaire du pin en France depuis la période 1969-1979 (Institut national de recherche agronomique, 2013)	96
Figure 27. : Symptômes et dégâts du <i>Sphaeropsis</i> des pins <i>Diplodia pinea</i> (Boutte, 2018)	97
Figure 28. : Evolution attendue sur le Parc Naturel Régional du Haut-Jura de plusieurs paramètres climatiques et de la vulnérabilité de la forêt au changement climatique (Joly, 2015)	98
Figure 29. Relation entre le nombre moyen de générations d' <i>Ips typographus</i> et l'altitude dans les conditions climatiques actuelles et futures, et projections à l'échelle de la Suisse (Pluess et al., 2016)	102
Figure 30. : Décalage moyen de l'envol des scolytes hibernants en fonction de l'évolution attendue des facteurs climatiques (Pluess et al., 2016)	103
Figure 31. : Prédisposition des peuplements aux infestations de scolytes dans les conditions climatiques actuelles et pour trois périodes futures, selon trois scénarios climatiques (Pluess et al., 2016)	104
Figure 34. (a., b. et c.) : Quelques exemples de diversification en essences par voies naturelle et artificielle (Bertrand, 2018)	105
Figure 35. : Extrait des recommandations sylvicoles concernant les essences forestières dans un contexte de changement climatique, éditées par le service forestier du canton de Berne (Suisse) pour les propriétaires forestiers (Office des forêts du canton de Berne, 2013b)	107
Figure 36. : Extrait de l'additif au guide des stations forestières des Alpes du Nord et des montagnes de l'Ain (Centre régional de la propriété forestière Rhône-Alpes, 2017)	110
Figure 38. : Exemple d'évolution du risque et du rendement financier en fonction de la composition (modifié d'après Knoke et al., 2008)	112
Figure 39. : Exemples de régénération naturelle sur une longue durée en forêt jardinée de montagne, qui permet à beaucoup d'arbres de transmettre leur patrimoine génétique (Bastien et Gauberville, 2011; Pluess et al., 2016)	113
Figure 40. : Exemple de futaie jardinée mélangée en forêt privée, à 800 mètres d'altitude sur la commune de Cervières dans le Haut-Forez (Bertrand, 2018)	114
Figure 42. : Les 25 sylvoécotopes et les 22 massifs forestiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)	115
Figure 43. : Matrice SWOT de la filière forestière en région Auvergne-Rhône-Alpes (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)	116
Figure 44. : Communes actuellement exposées au risque incendie en Auvergne-Rhône-Alpes (Observatoire régional des effets du changement climatique, 2017)	117
Figure 46. : Guide d'entretien établi pour l'enquête auprès des gestionnaires forestiers (Bertrand, 2018)	118
Figure 47. : Hiérarchisation des documents d'orientation et d'aménagement des forêts à l'échelle régionale (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)	120

Figure 48. : Extrait du tableau récapitulatif des comptes rendus d'entretiens (colonnes et choix des listes déroulantes)	121
Figure 49. a., b., c., d. et e. : Représentations graphiques des degrés de familiarité, de connaissance, de priorité, d'implication et d'inquiétude des gestionnaires interrogés, en fonction de leur statut et de leur structure (Bertrand, 2018)	122
Figure 52. : Illustrations de quelques situations questionnant les gestionnaires, aux causes multiples et incertaines (station, conséquences de la sylviculture antérieure...). Quel impact attribuer au changement climatique ? (Bertrand, 2018)	124
Figure 55. Exemple de diverses mesures sylvicoles adoptées par les gestionnaires forestiers de la région et pouvant être reliées au moins en partie au changement climatique (Bertrand, 2018)	126
Figure 57. : Schéma des différents outils permettant d'améliorer la prise en compte du changement climatique selon les gestionnaires forestiers d'Auvergne-Rhône-Alpes (Bertrand, 2018)	128
Tableau 4. Des points de vue différents pour chaque principe d'adaptation (Bertrand, 2018)	129
Figure 59. : Classement des entretiens conduits dans les différents profils de gestionnaires identifiés en fonction de leur degré d'adaptation au changement climatique (Bertrand, 2018)	130

Annexes

Figure 1. Taux de boisement des différents départements de France métropolitaine, avec détail des dix départements les plus boisés, et localisation des massifs montagneux français (Sémhur, 2015; Institut de l'information géographique et forestière, 2017)

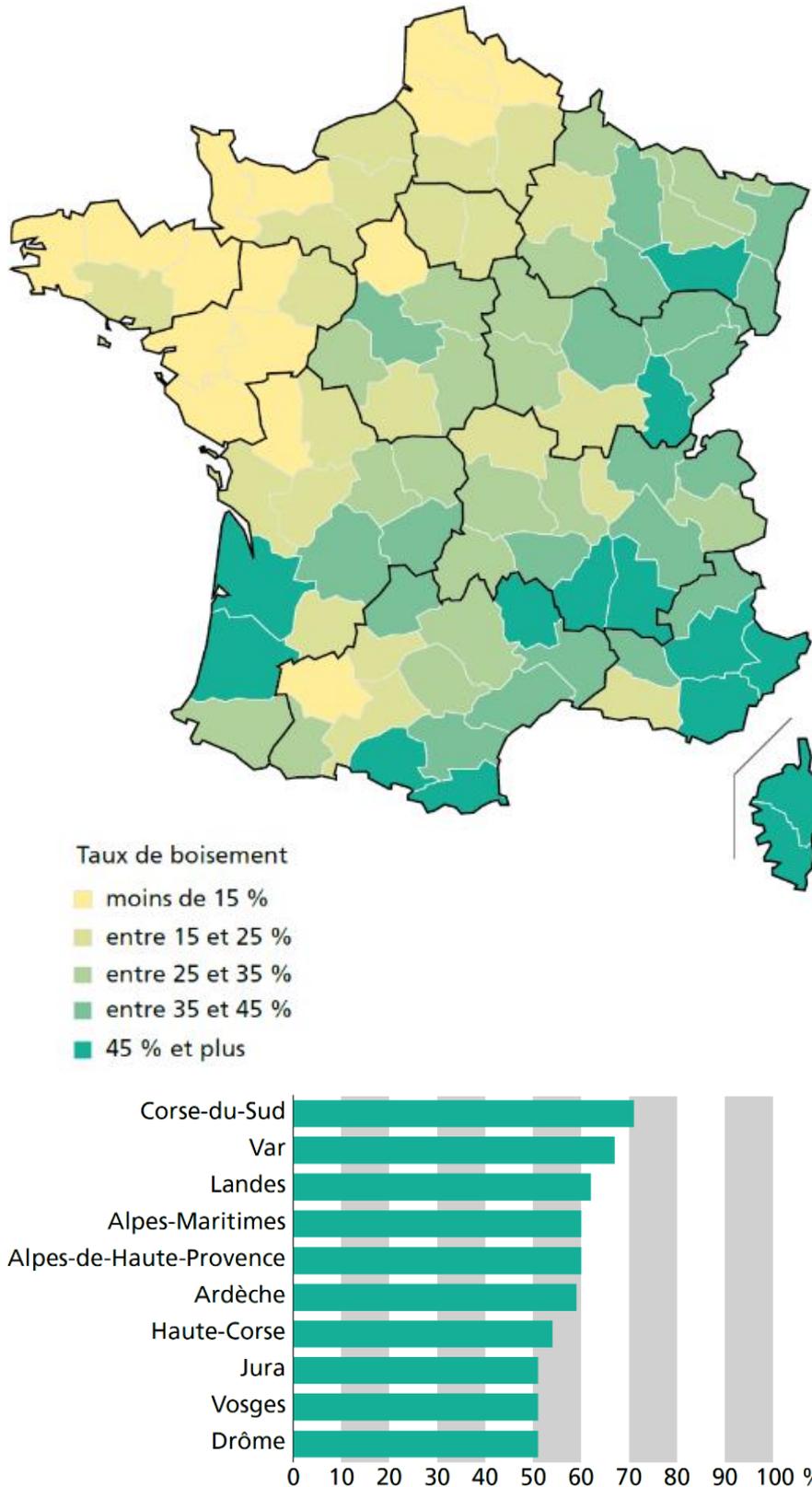
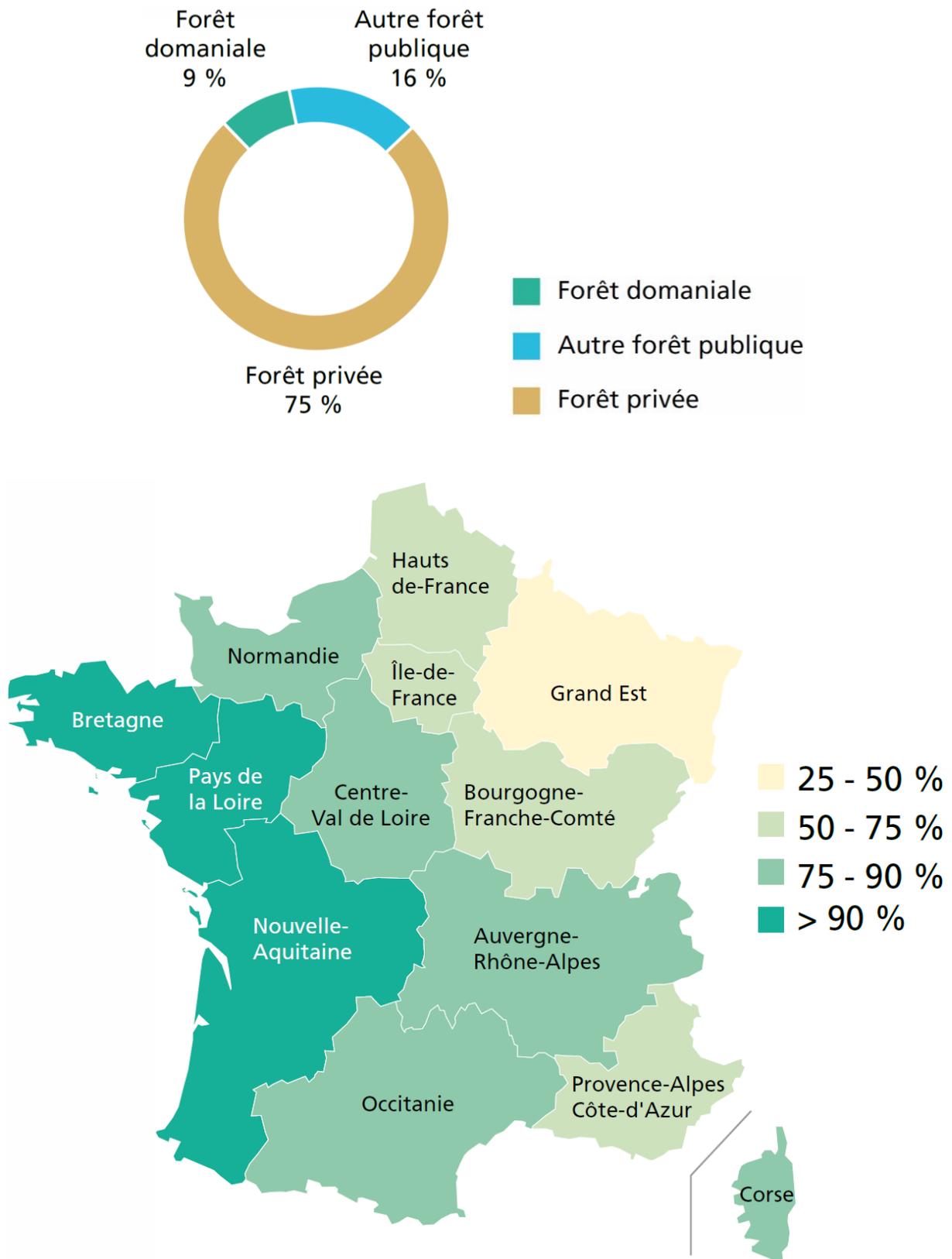




Figure 2. Part de la surface forestière privée pour la France métropolitaine et pour chaque région administrative (Institut de l'information géographique et forestière, 2017)



**Figure 3. : Volume de bois sur pied à l'hectare par région administrative (m^3 de bois fort tige / ha)
(Institut de l'information géographique et forestière, 2017)**

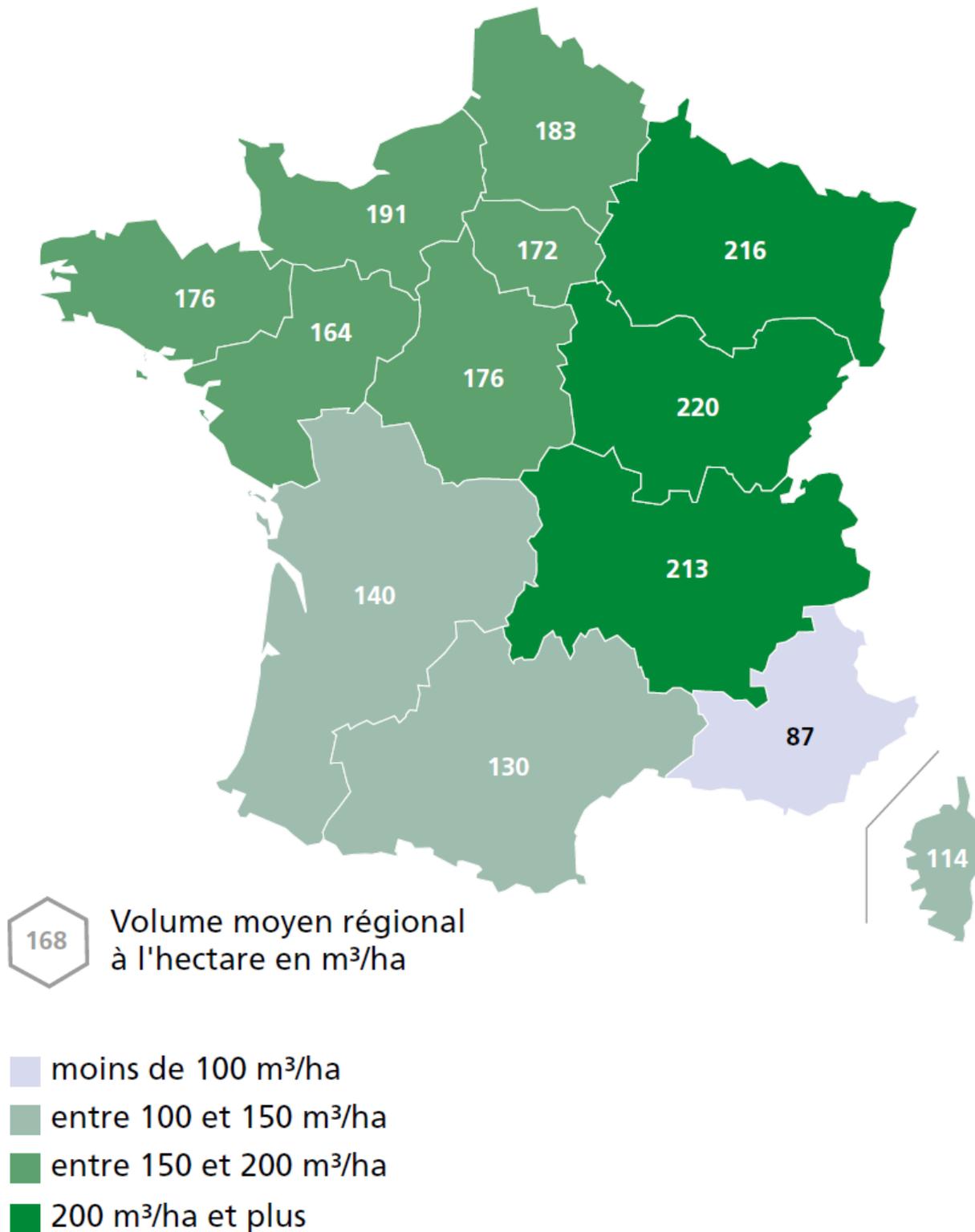
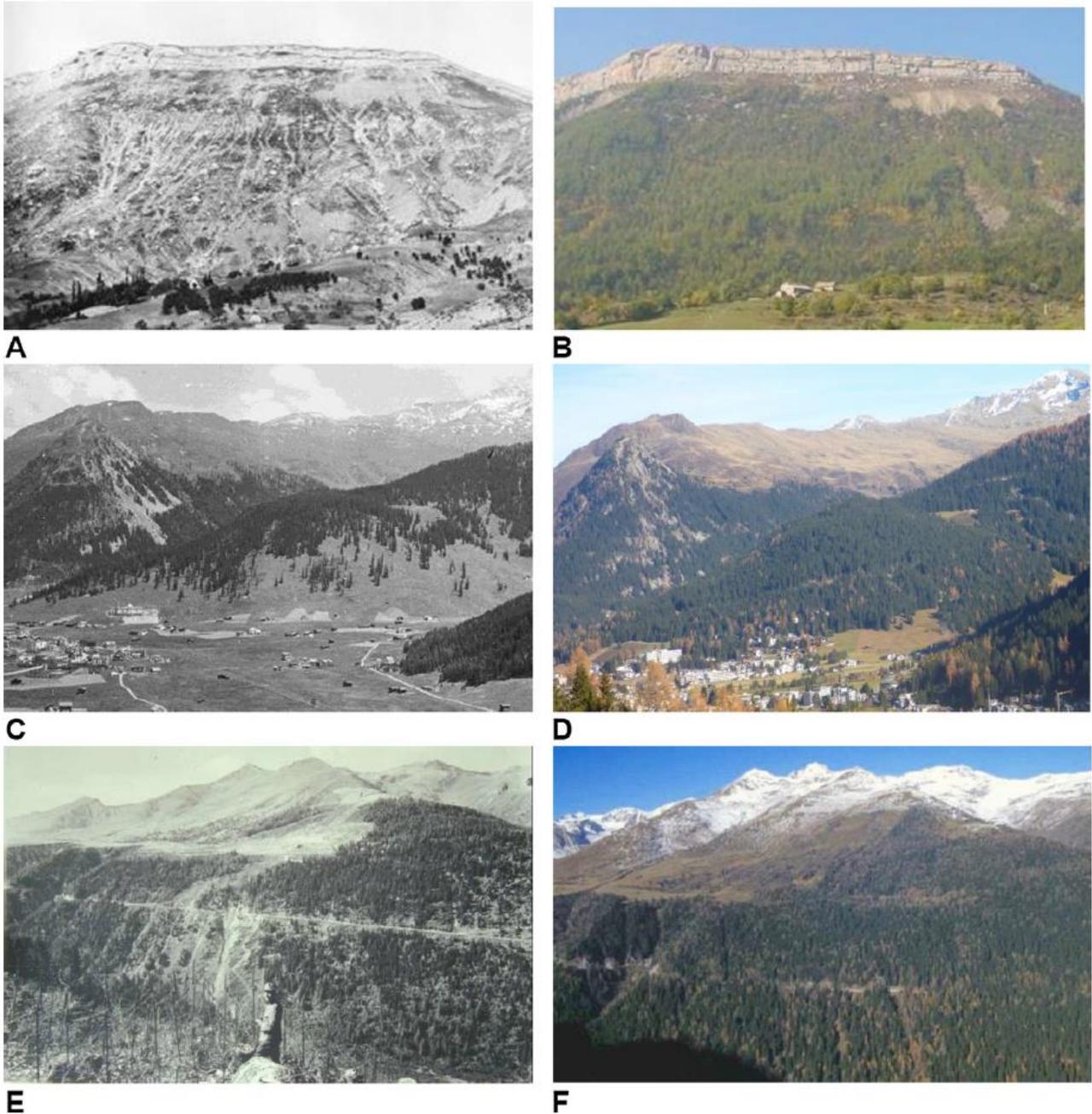


Figure 5. : Exemple de photographies illustrant l'évolution du couvert forestier dans les Alpes depuis le XIX^e siècle (Bebi et al., 2017)



A et B : Ceüse (Alpes du Sud françaises) à la fin du XIX^e siècle (A) et au début du XXI^e siècle après les travaux de restauration des terrains en montagne (RTM) (B)

C et D : Davos (Alpes Centrales suisses) en 1900 (C) et en 2010 (D)

E et F : Vermiglio (Alpes italiennes) en 1915 (E) et en 2000 (F)

Figure 7. : Temps de recouvrement de différentes fonctions après une perturbation (modifié d'après Trumbore et al., 2015)

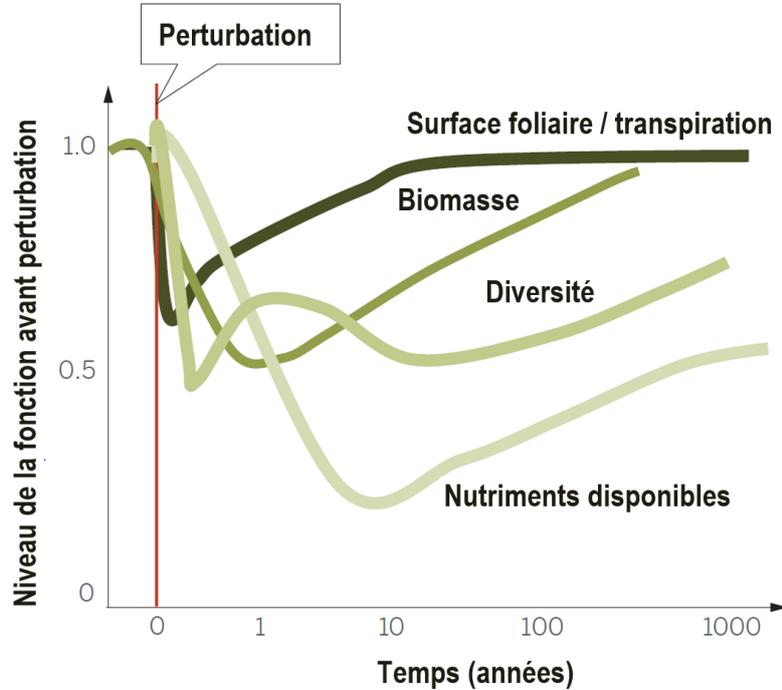
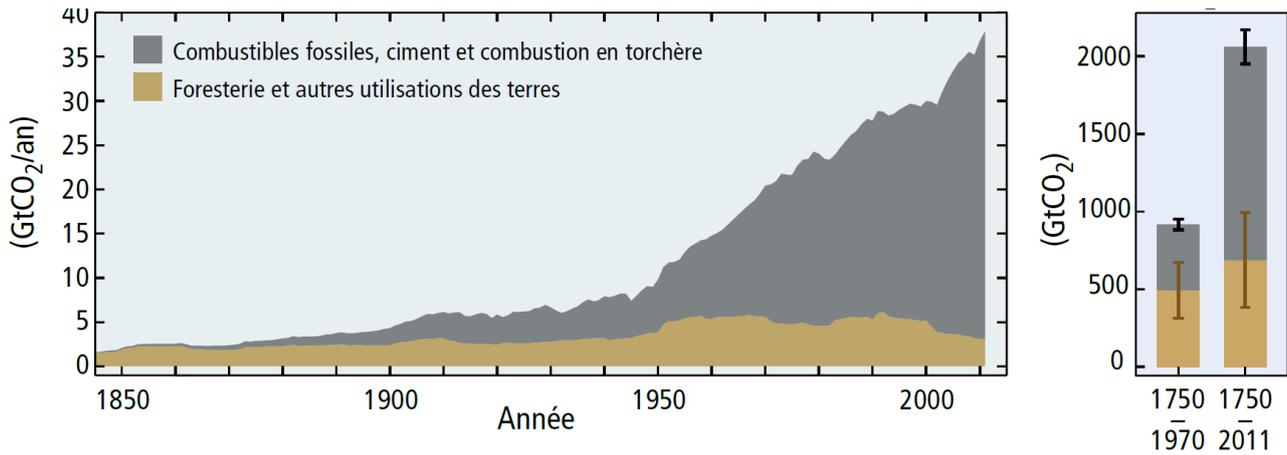


Figure 8. : Massif forestier situé en Alberta à l'ouest du Canada, dévasté par le scolyte *Dendroctonus ponderosae* (en français « le dendroctone du pin ponderosa », en anglais « the mountain pine beetle ») (Environmental energetics, 2014)



Figure 9. : Émissions anthropiques mondiales de CO₂ provenant de la foresterie et d'autres utilisations des terres, ainsi que de l'utilisation des combustibles fossiles, de la production de ciment et de la combustion en torchère (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014)



Les cumuls des émissions de CO₂ provenant des deux types de sources et les incertitudes qui s'y rapportent sont représentés par les boîtes à moustaches verticales sur la droite.

La combustion en torchère désigne le brûlage des rejets de gaz naturel issus de l'exploitation du pétrole et du gaz naturel.

Figure 12. : Nombre de jours d'été présentant un danger d'incendie « extrême » en Suisse sur deux périodes de référence, 1981-2010 et 2070-2099 (Pluess et al., 2016)

NB : Les résultats présentés sont obtenus pour trois indices de danger d'incendie (Angström, KBDI et FWI) et pour le modèle climatique CLMsec.

Les indices de danger d'incendie sont calculés selon plusieurs paramètres tels que la température, l'hygrométrie ou le vent. Les trois indices diffèrent par leur complexité et par l'importance donnée aux différents paramètres climatiques. Très succinctement, l'indice d'Angström s'attache surtout aux conditions journalières, l'indice KBDI prête particulièrement attention au dessèchement du combustible au fil du temps, et l'indice FWI donne davantage d'importance au vent pour calculer le degré d'humidité du combustible.

CLMsec constitue une variante sèche du scénario A1B, un ancien scénario du GIEC correspondant à l'actuel scénario RCP6.0 (scénario intermédiaire).

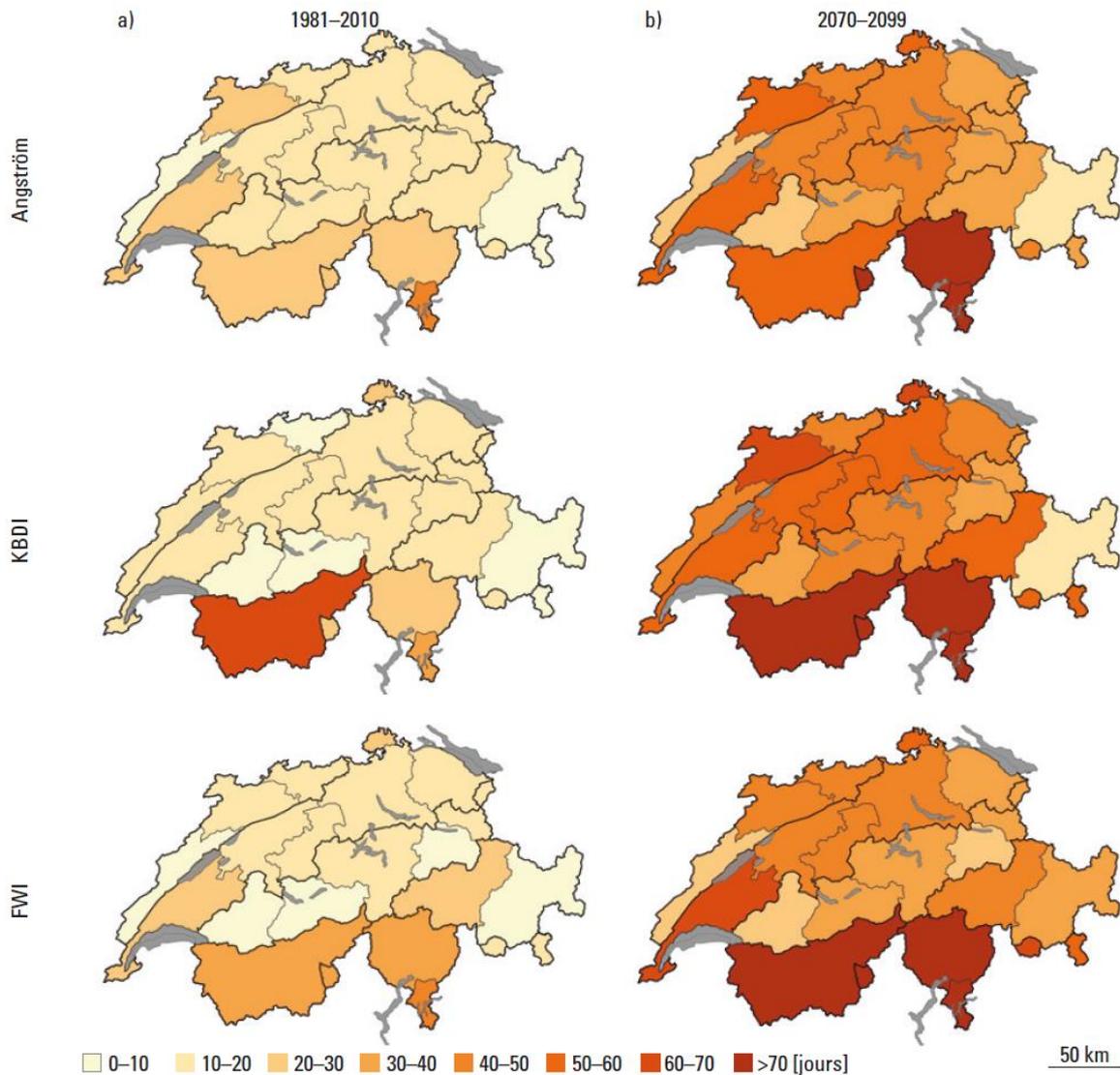


Figure 13. : Evolution à très long terme du taux de CO₂ atmosphérique, de la température de surface du globe, et du niveau moyen de la mer selon différents scénarios climatiques (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014)

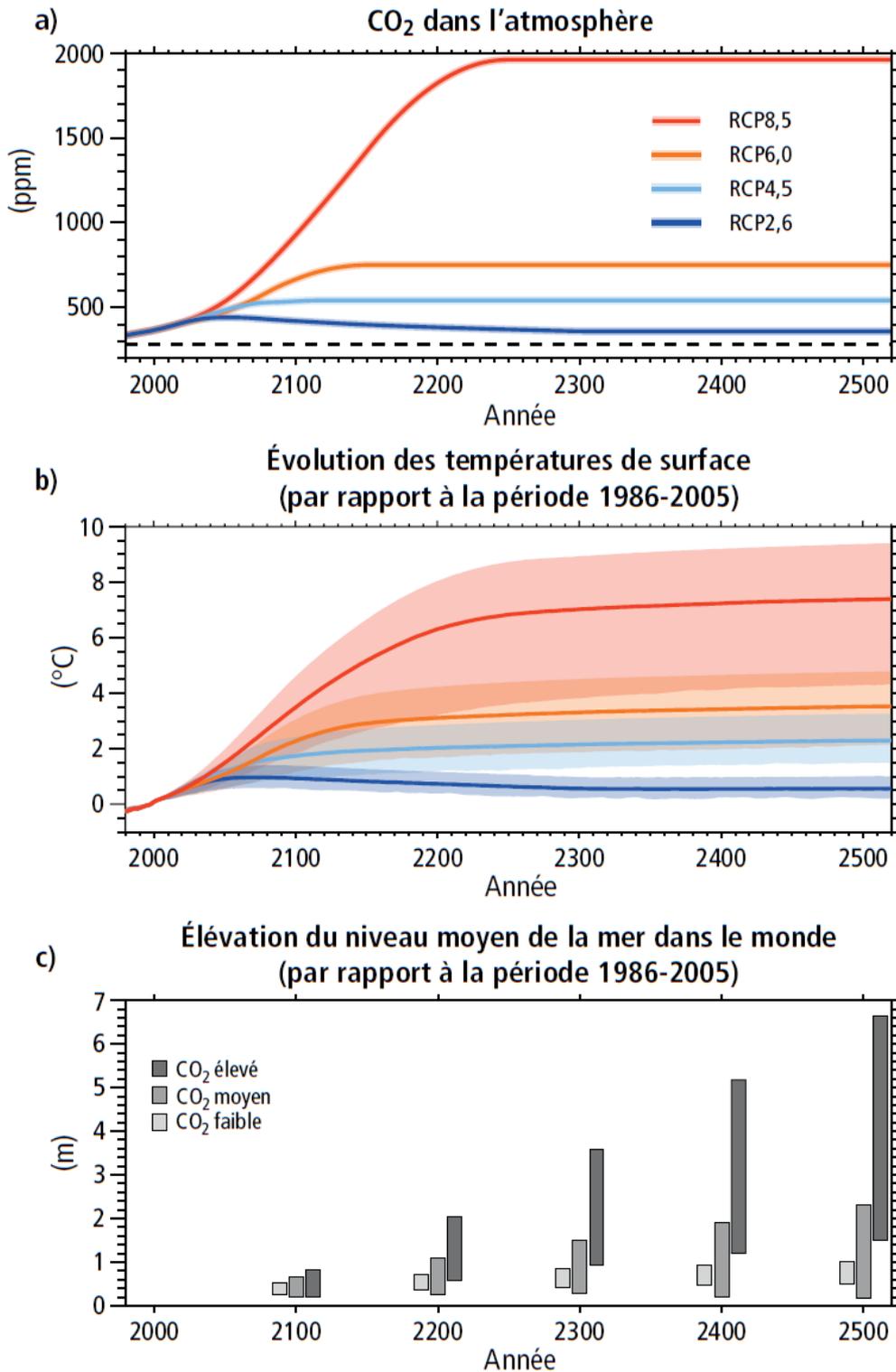
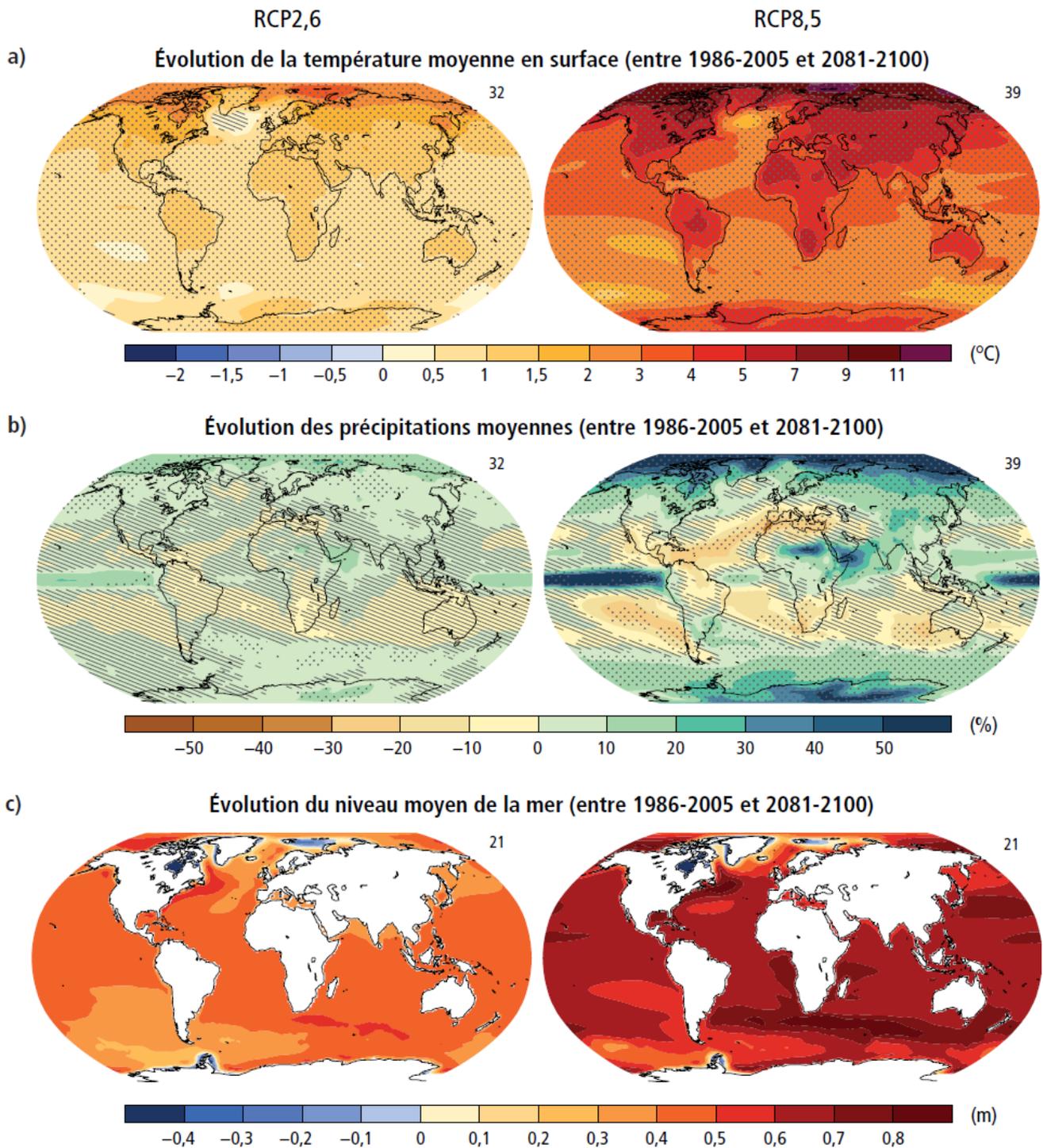


Figure 14. : Comparaison des températures moyennes en surface du globe, des précipitations moyennes et des niveaux moyens de la mer entre les périodes 1986-2005 et 2081-2100, en tous points du globe et selon différents scénarios climatiques (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014)



Les nombres apposés aux angles des figures correspondent au nombre de modèles utilisés dans les calculs de projections.

Tableau 1. : Evolution de l'accroissement annuel en surface terrière d'arbres dominants observée dans diverses études en France (Dhôte et al., 2000)

Région	Espèce	Période	Changement de croissance sur toute la période
Jura	Sapin	1850-1988	+ 350 % (+ 140 % en largeur)
Vosges	Sapin	1850-1986	+ 160 %
Vosges	Épicéa	1850-1988	+ 300 %
Vosges	Hêtre	1850-1990	+ 90 %
Lorraine (plateaux calcaires) .	Hêtre (futaie)	1910-1991	+ 115 % (+ 58 % en largeur)
Lorraine (plateaux calcaires) .	Hêtre (taillis-sous-futaie)	1910-1991	+ 56 % (+ 34 % en largeur)
Lorraine (plateau lorrain)	Hêtre	1860-1992	+ 120 %
Lorraine (plateau lorrain)	Chêne pédonculé	1850-1987	+ 55 %
Lorraine (plateau lorrain)	Chêne sessile	1850-1987	+ 90 %
Lorraine et Alsace	Chêne sessile	1924-1993	+ 87 % (+ 34 % en largeur)
Centre et Pays de Loire	Chêne sessile	1924-1993	+ 75 % (+ 34 % en largeur)
Pays de Loire	Pin laricio de Corse	1921-1991	+ 50 %
Pyrénées	Pin à crochets	1850-1992	+ 75 % (+ 35 % en largeur)

(D'après Becker et al., 1994, 1995 ; Badeau et al., 1996 ; Bergès, 1998 ; Lebourgeois, 1999)

Figure 15. : Croissances radiales d'essences forestières de l'Est de la France entre 1850 et 1990 (Becker et al., 1994)

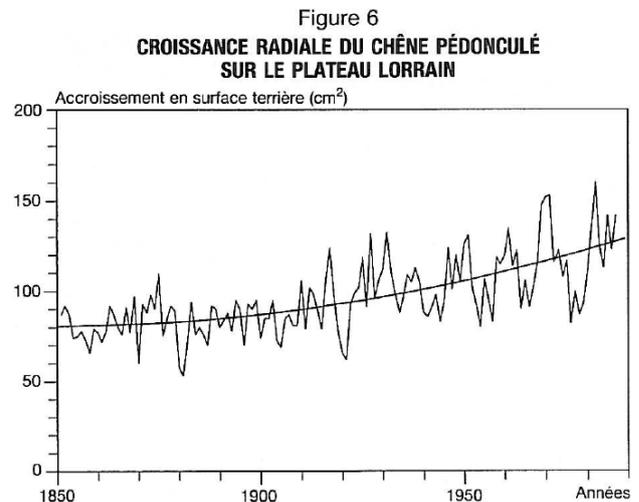
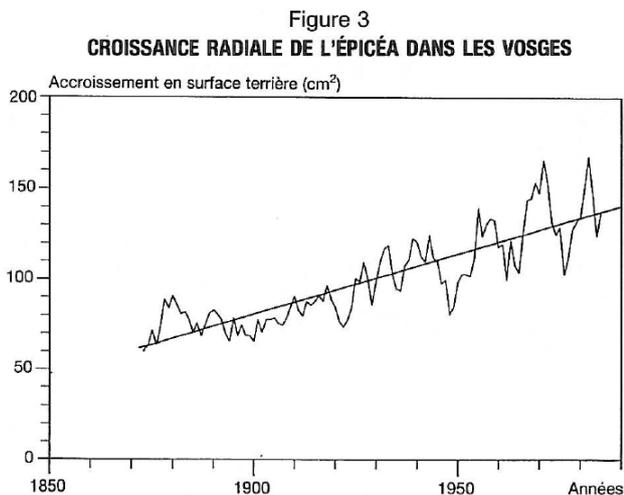
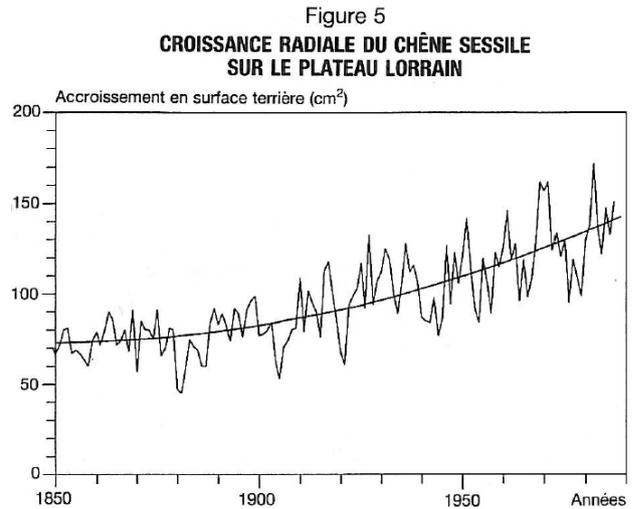
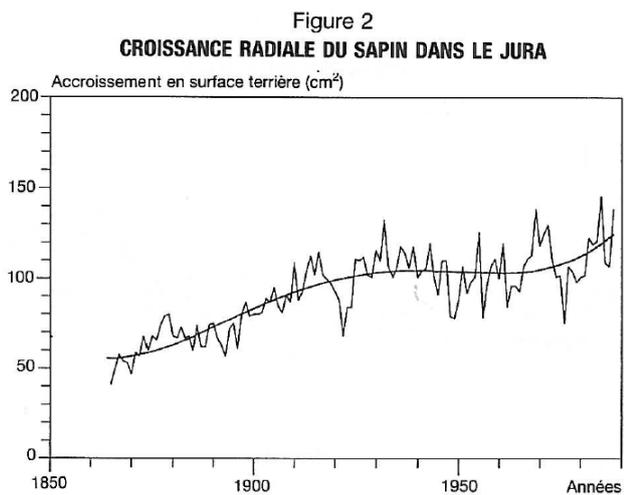
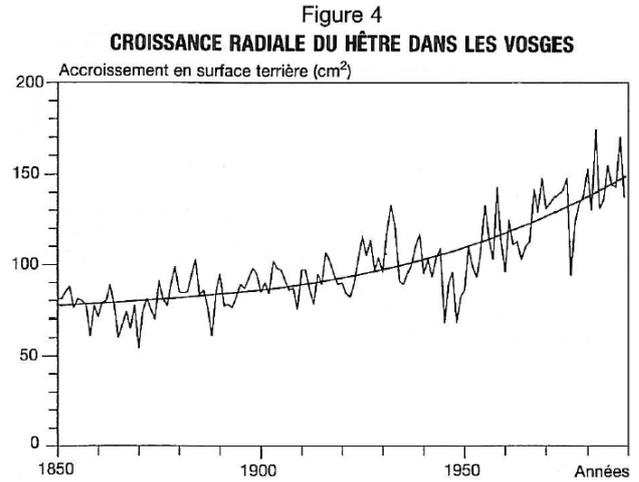
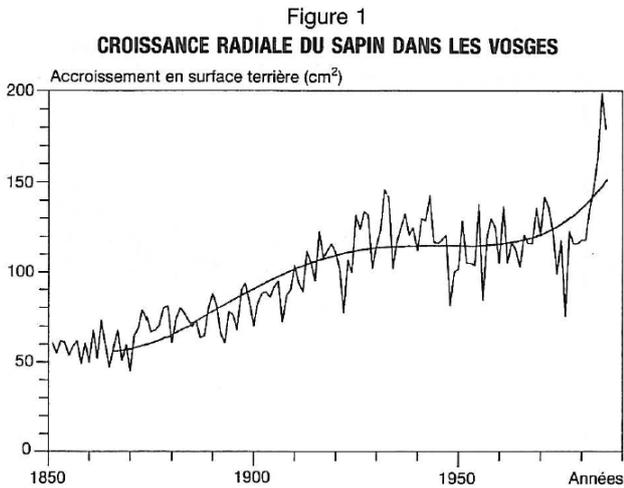
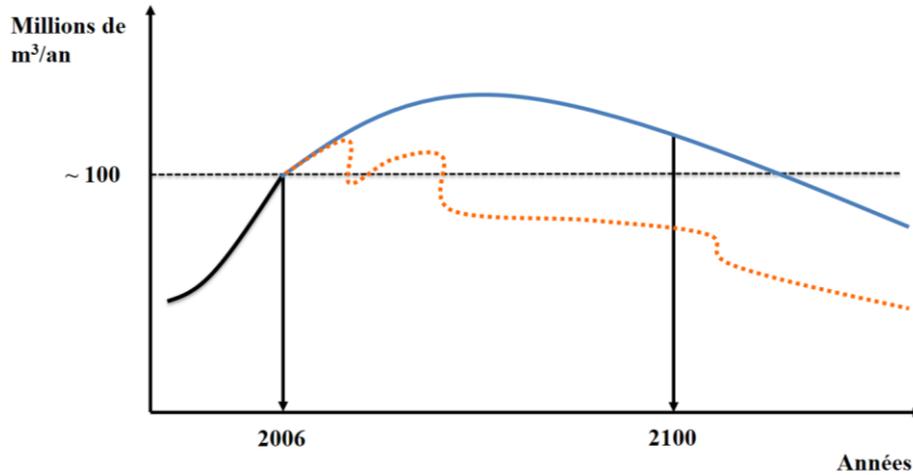
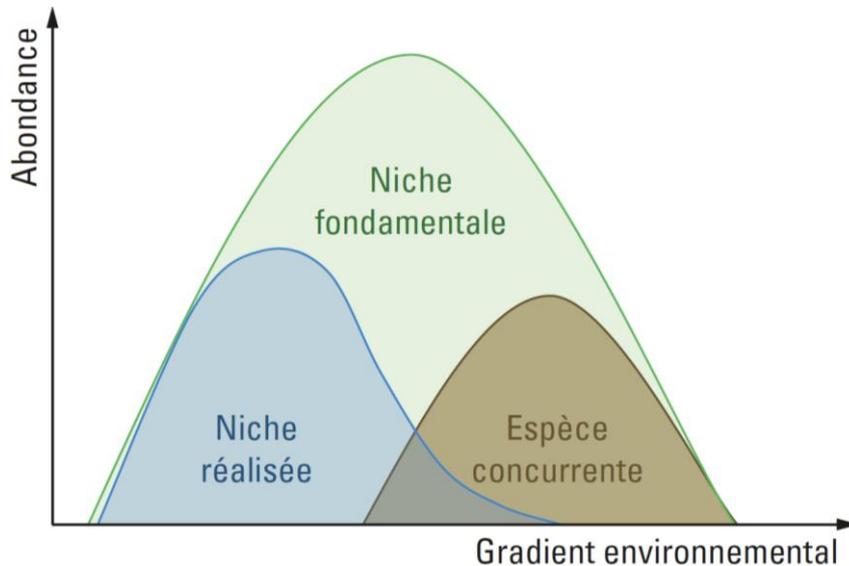


Figure 17. : Evolutions possibles de la production des forêts françaises au XXI^e siècle (modifié d'après Roman-Amat, 2007)



Deux scénarios théoriques d'évolution de la production des forêts françaises sont présentés : le trait plein bleu désigne représente l'hypothèse d'évolution progressive ; le trait pointillé orange caractérise l'hypothèse comportant des évènements exceptionnels soulignés par des chutes de production.

Figure 18. : Représentation schématique de la niche écologique (ou réalisée) d'une essence (Pluess et al., 2016).



La niche réalisée représente l'aire colonisée par une espèce en situation de concurrence avec d'autres espèces. Elle ne constitue généralement qu'une partie de la niche fondamentale, qui représente l'ensemble de l'espace environnemental que l'espèce coloniserait en l'absence d'espèces concurrentes.

Figure 19. : Représentation schématique du déplacement de l'aire de répartition potentielle d'une essence (Pluess et al., 2016)

- | | |
|--|--------------------------|
| ■ Aire adaptée aujourd'hui uniquement | — Aucune migration |
| ■ Aire adaptée aujourd'hui et à l'avenir | — Migration illimitée |
| ■ Aire adaptée à l'avenir uniquement | - - - Migration réaliste |

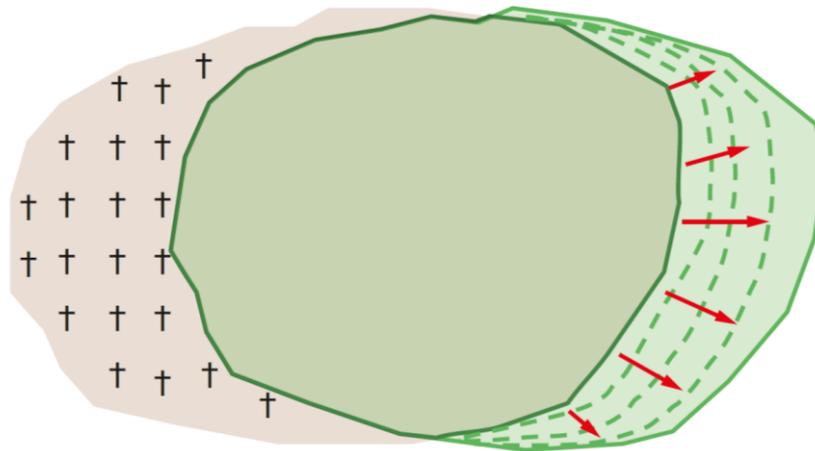
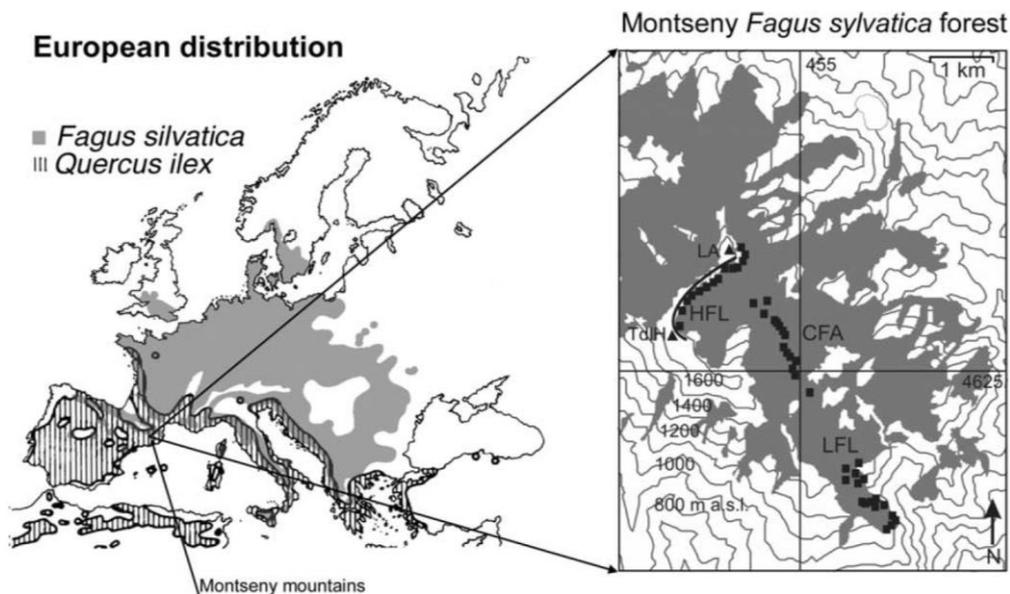
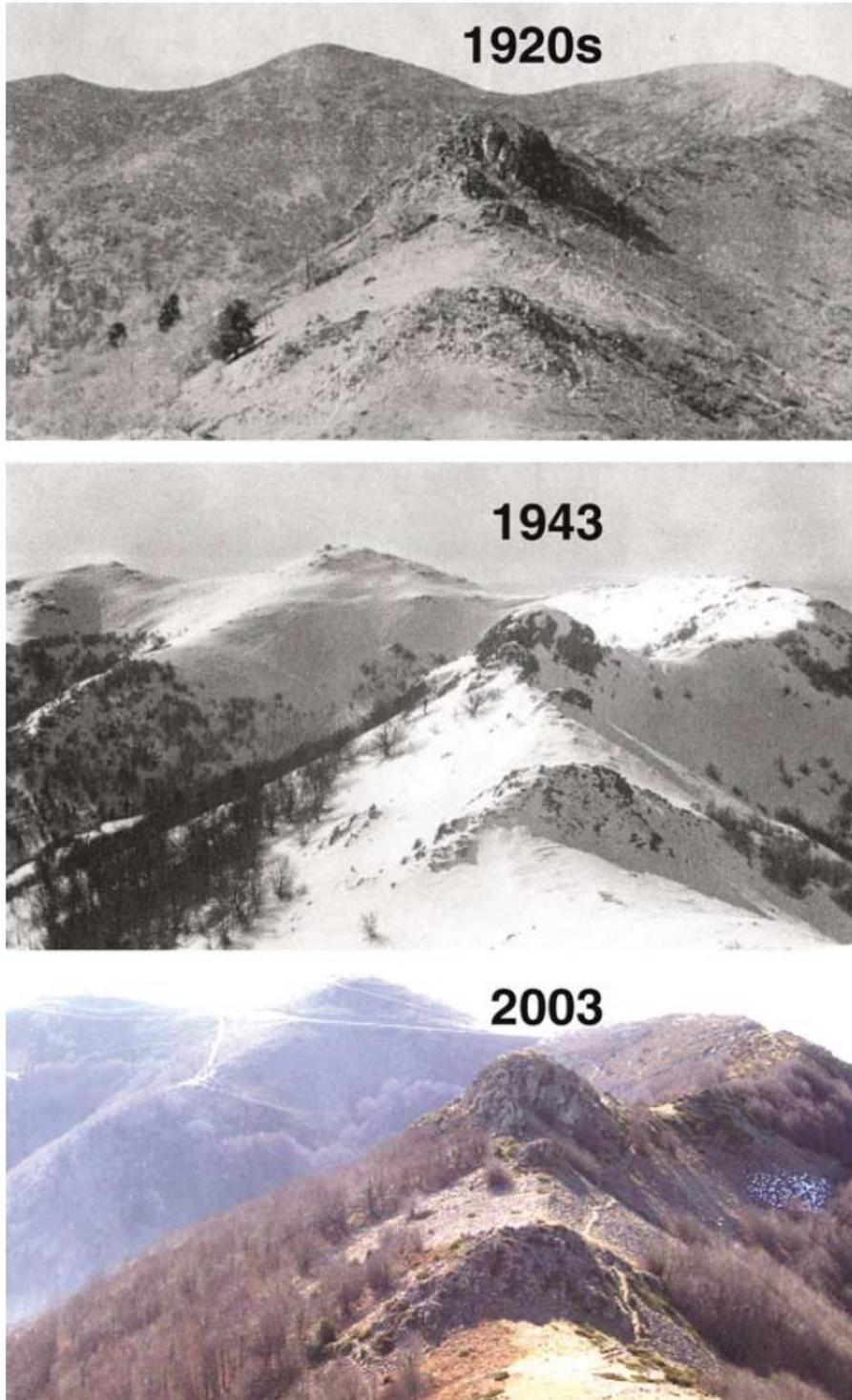


Figure 21. : Distribution de la hêtraie et de la chênaie verte en Europe, et localisation des zones d'étude situées à différentes altitudes du massif du Montseny en Catalogne (Peñuelas et al., 2007)



Le hêtre (*Fagus sylvatica*) correspond à un biome tempéré humide, alors que le chêne vert (*Quercus ilex*) caractérise un biome méditerranéen. Les trois sites d'études sont repérables sur la partie droite de la figure ; on y observe la limite haute du hêtre (high Fagus limit, HFL), la zone forestière centrale (central forest area CFA), et la limite basse du hêtre (low Fagus limit, LFL). Enfin, la ligne en gras indique la zone d'étude des arbres en « avant-postes ».

Figure 22. : Photographies illustrant la remontée altitudinale de la hêtraie et la modification des aires de répartition des essences forestières dans le massif du Monsteny lors du siècle dernier (Peñuelas et al., 2007)

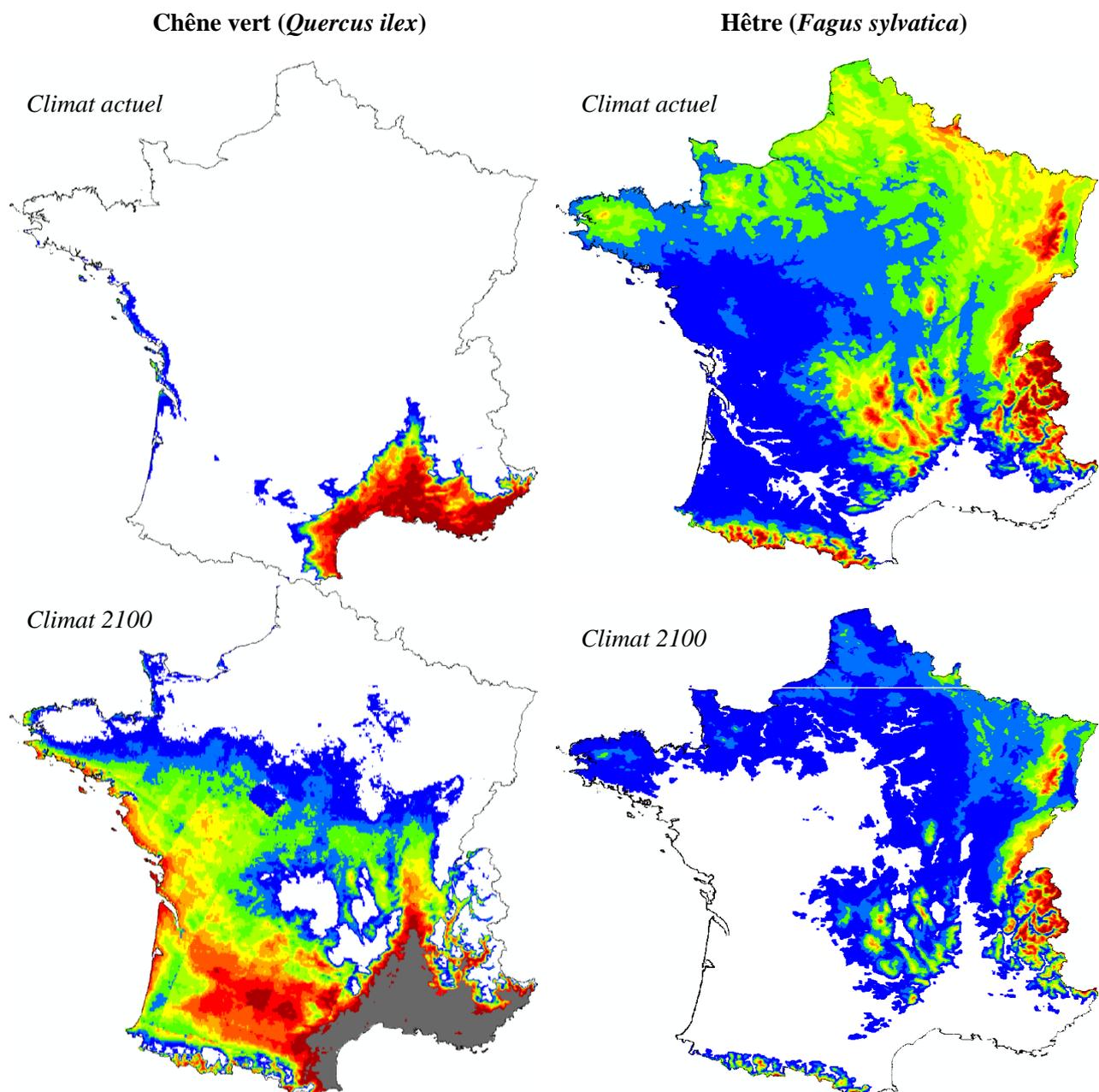


Les photographies représentent les crêtes du Turó de l'Home, un sommet du massif du Montseny culminant à 1712 mètres. Le changement le plus évident est l'augmentation de la taille et de la densité des arbres en limite haute. La remontée en altitude de la hêtraie est bien visible, les quelques conifères (*Abies alba* probablement) subsistant au début du siècle l'étant moins de par la qualité des images.

Figure 23. (a., b. et c.) : Résultats de travaux de modélisation des aires de répartition actuelles et futures de différentes essences en France et en Suisse (Badeau et al., 2004; Piedallu et al., 2009; Pluess et al., 2016)

- ❖ **Figure 23.a. : Modélisation des aires de répartition potentielles actuelles et futures (à l'horizon 2100) du chêne vert, du hêtre, du sapin et de l'épicéa en France métropolitaine (Badeau et al., 2004)**

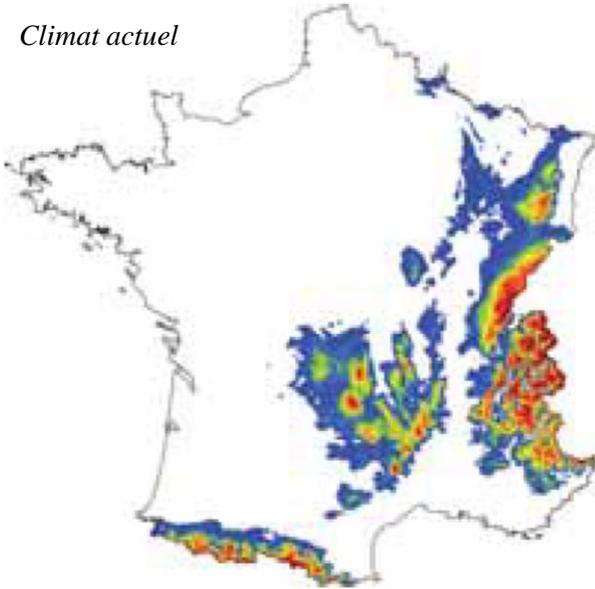
Les prévisions sont basées sur le scénario B2 du GIEC, ancien scénario correspondant à un réchauffement de 2,4 °C environ d'ici 2100 et se rapprochant de l'actuel RCP2,6.



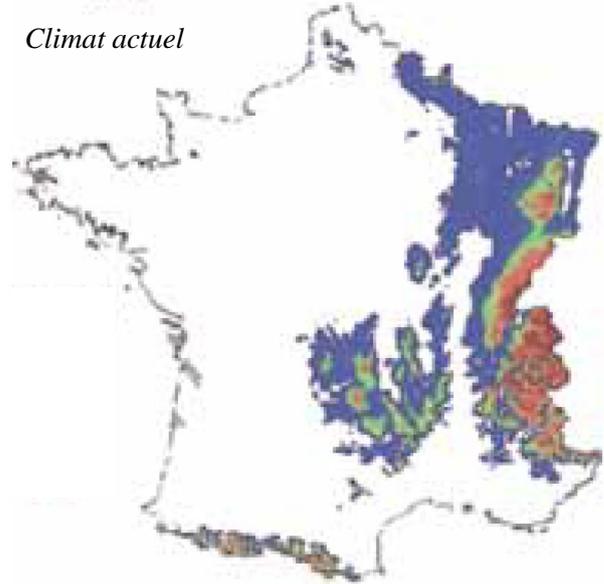
Sapin (*Abies alba*)

Epicéa (*Picea abies*)

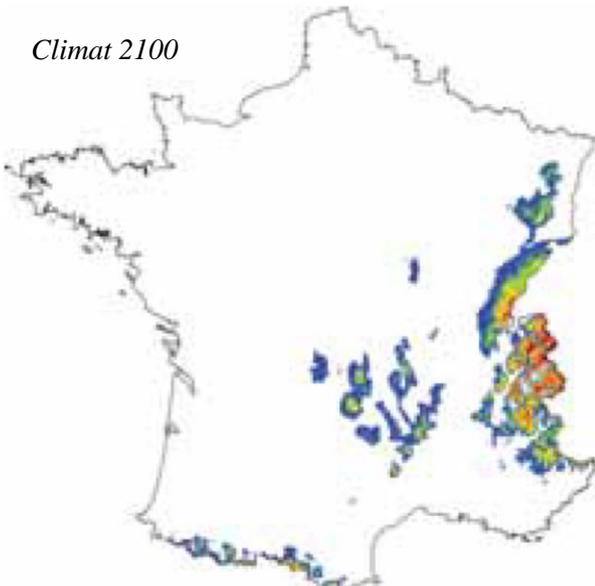
Climat actuel



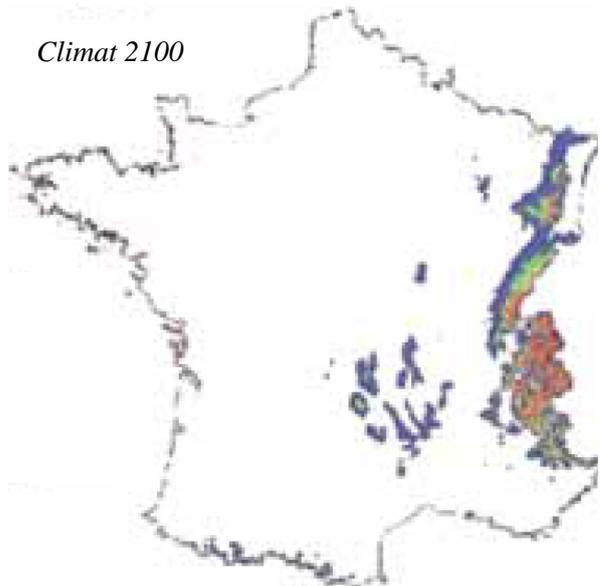
Climat actuel



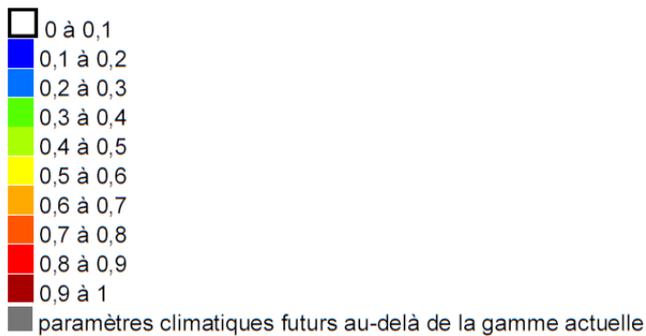
Climat 2100



Climat 2100

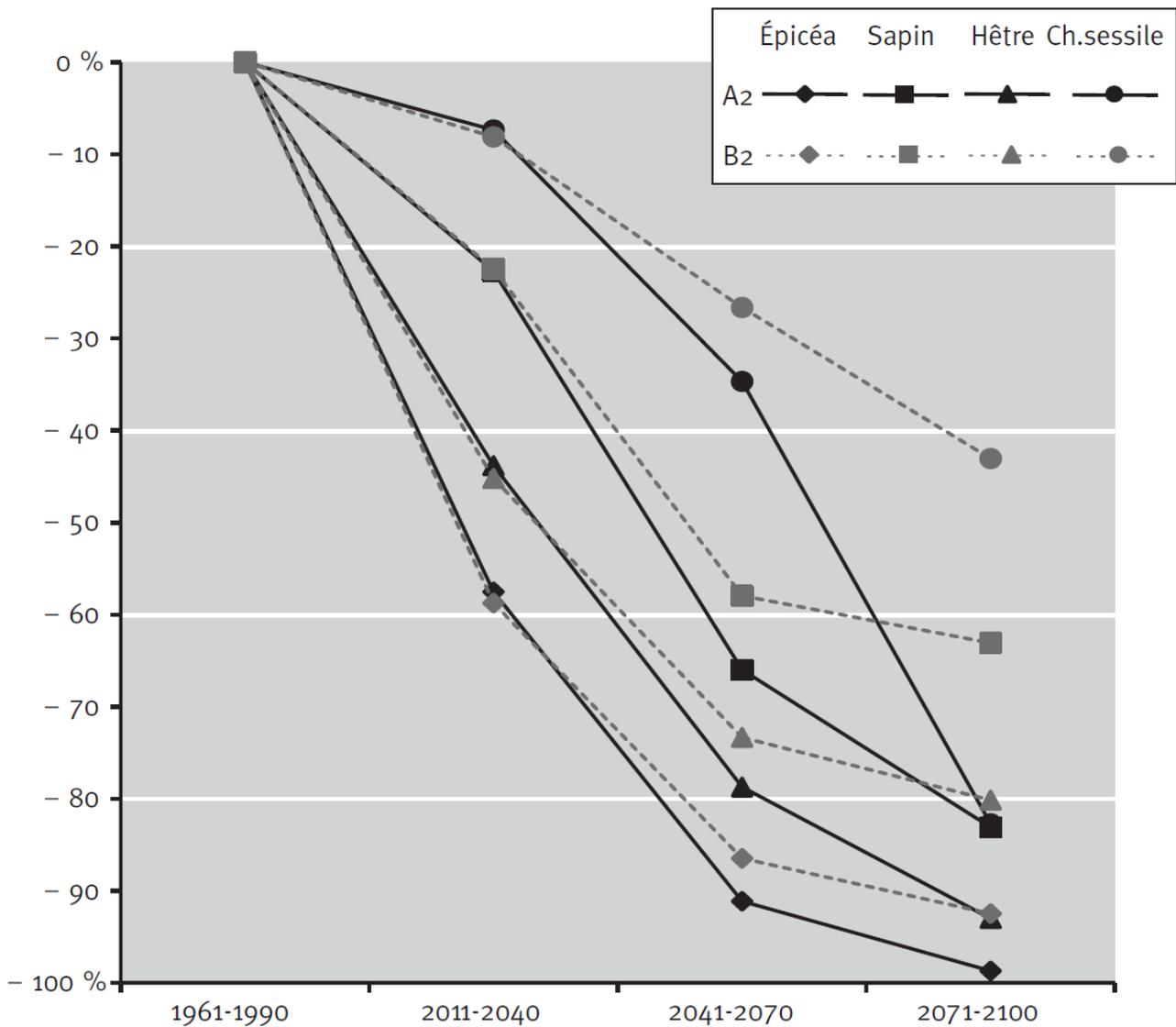


Légende des probabilités



❖ **Figure 23.b. : Evolution des surfaces potentiellement favorables à la distribution de l'épicéa, du sapin, du hêtre et du chêne sessile en France entre les périodes 1961-1990 et 2071-2100 (Piedallu et al., 2009)**

Les résultats obtenus sont présentés selon le scénario B2 du GIEC (ancien scénario correspondant à un réchauffement de 2,4 °C environ d'ici 2100, proche de l'actuel scénario RCP2,6), ainsi que pour le scénario A2 (ancien scénario correspondant à un réchauffement de 3,4 °C environ d'ici 2100, proche de l'actuel scénario RCP4,5).

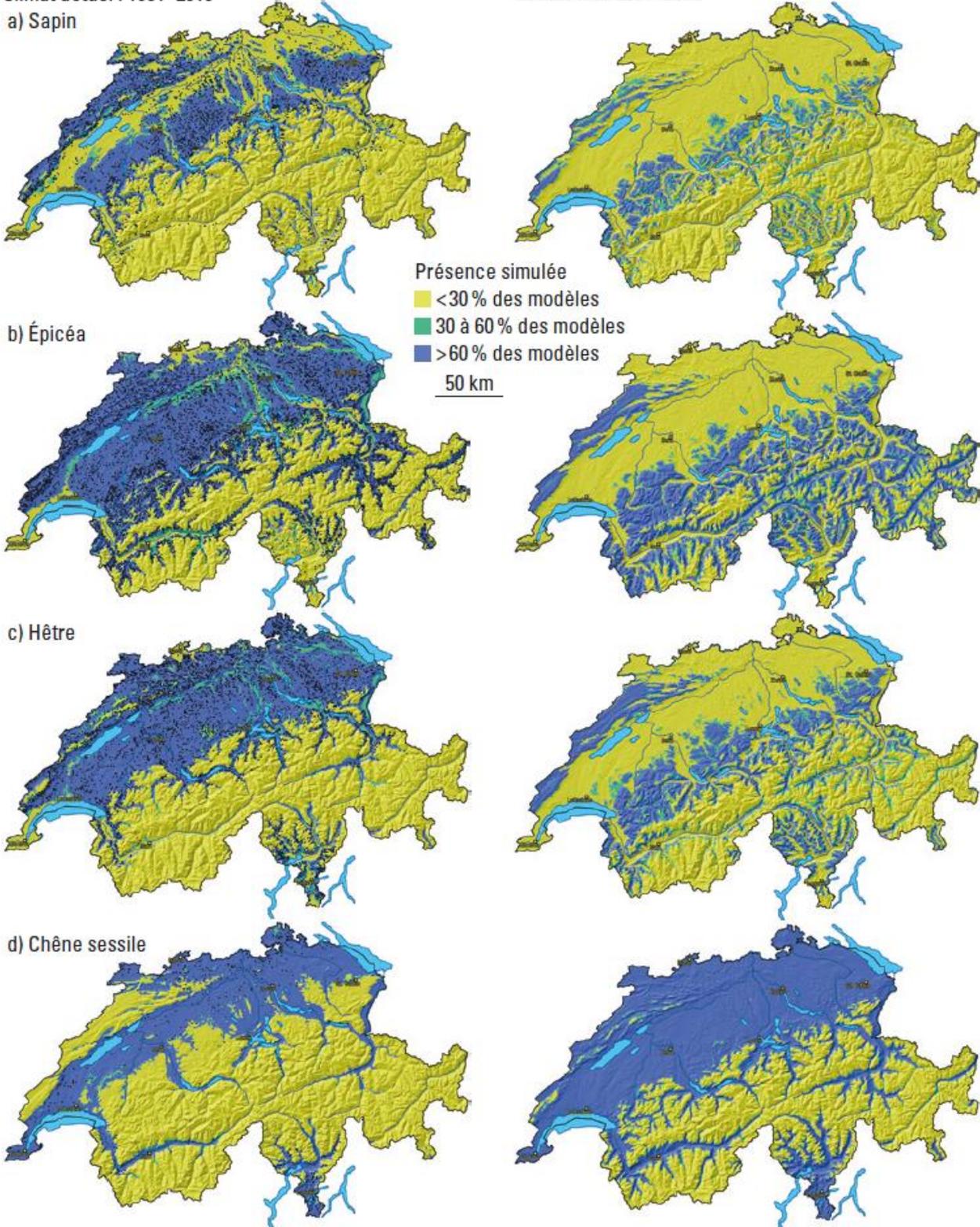


- ❖ **Figure 23.c. : Aires de répartition potentielles du sapin (*Abies alba*, a), de l'épicéa (*Picea abies*, b), du hêtre (*Fagus sylvatica*, c) et du chêne sessile (*Quercus petraea*, d) dans les conditions climatiques actuelles (à gauche) et futures (à droite) (Pluess et al., 2016)**

Les ensembles se fondent sur 6 modèles statistiques appliqués à 6 modèles climatiques pour déterminer le climat à l'avenir (soit 36 combinaisons différentes).

Climat actuel : 1981–2010

Climat vers 2051–2080

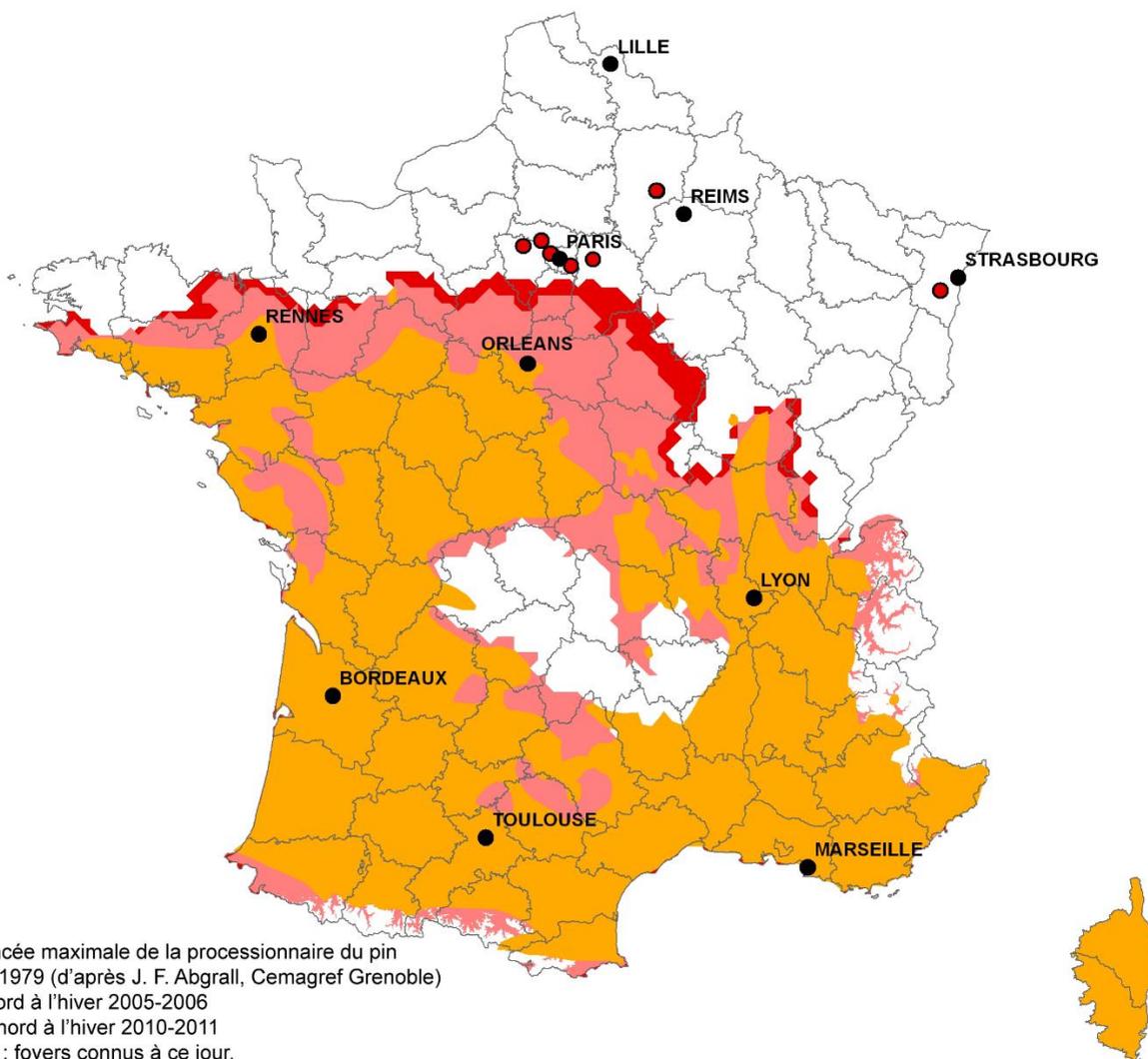


Codes couleur :

- **Jaune** : conditions adaptées dans 10 modèles au plus (moins de 30 % des modèles)
- **Vert** : conditions adaptées dans 11 à 21 modèles (30 à 60 % des modèles)
- **Bleu** : conditions adaptées dans au moins 22 modèles (plus de 60 % des modèles).

Fig 26. (a., b. et c.) : Expansion de la chenille processionnaire du pin en France depuis la période 1969-1979 (Institut national de recherche agronomique, 2013)

❖ **Fig 26.a : Expansion de la chenille processionnaire du pin à l'échelle nationale**



- ❖ Fig 26.b : Détail de l'expansion dans la région d'Orléans et de Paris
- ❖ Fig 26.c : Détail d'un cocon de chenilles processionnaires

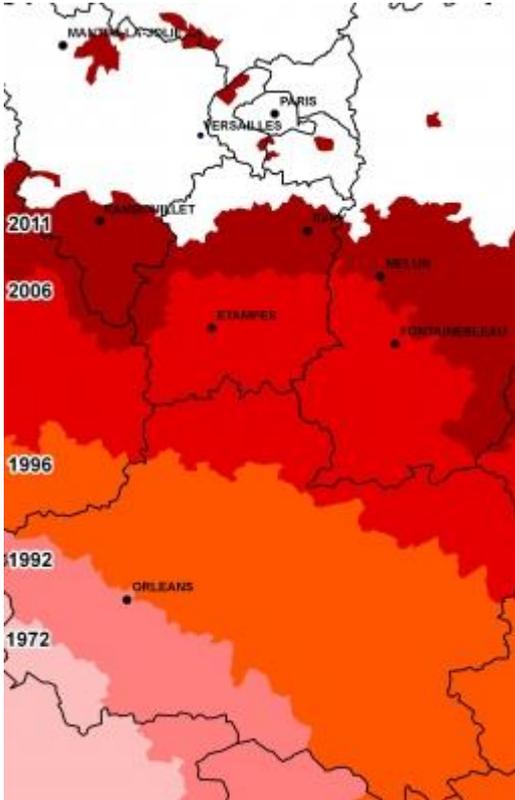


Figure 27. : Symptômes et dégâts du *Sphaeropsis* des pins *Diplodia pinea* (Boutte, 2018)

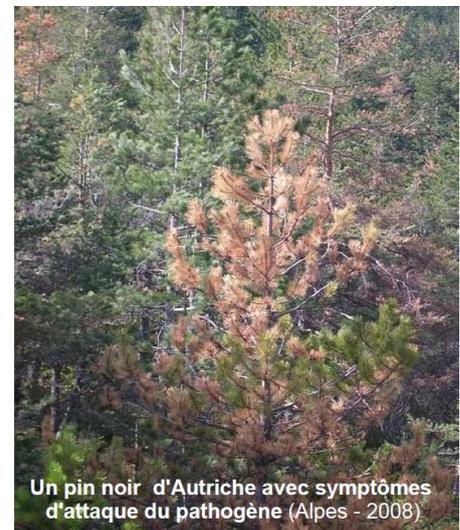
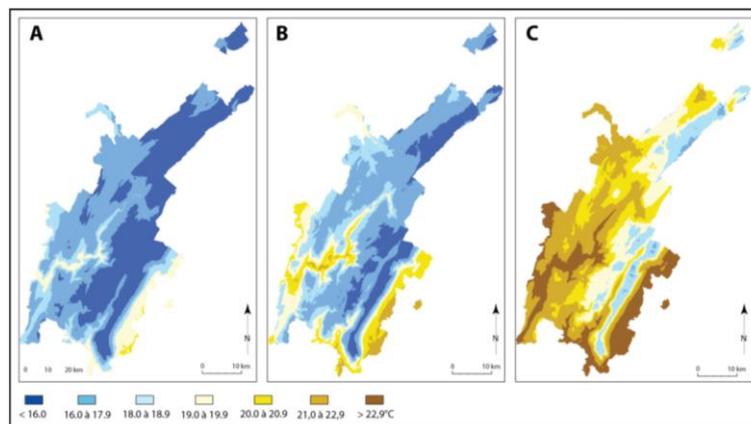




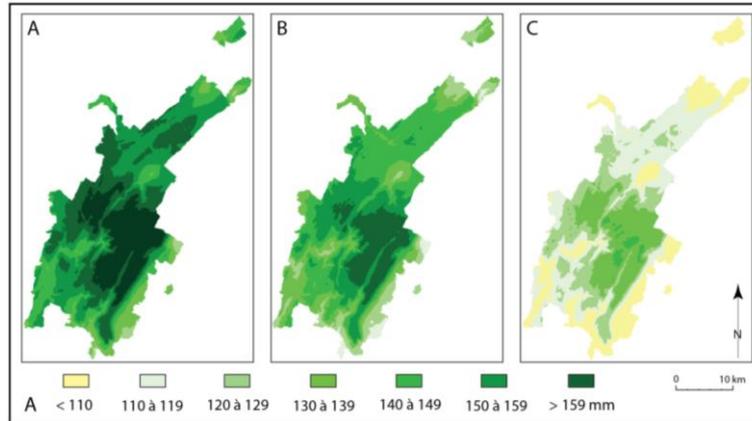
Figure 28. : Evolution attendue sur le Parc Naturel Régional du Haut-Jura de plusieurs paramètres climatiques et de la vulnérabilité de la forêt au changement climatique (Joly, 2015)

NB : Le scénario climatique retenu est le scénario A1B, un ancien scénario du GIEC correspondant à l'actuel scénario RCP6.0 (scénario intermédiaire). Les données proviennent des stations Météo-France et du modèle ARPEGE du centre national de recherche météorologique de Météo-France. Trois normales basées sur ce scénario sont utilisées dans les prévisions : 1981-2000 (normale A), 2021-2050 (normale B) et 2071-2100 (normale C).

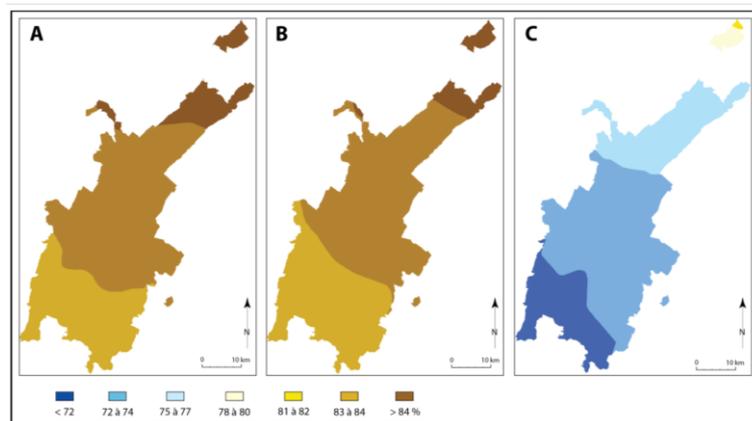
- ❖ **Evolution attendue sur le Parc Naturel Régional du Haut-Jura de plusieurs paramètres climatiques pour le mois de juillet (température moyenne, précipitations, humidité relative, rayonnement global, ETP, bilan hydrique)**



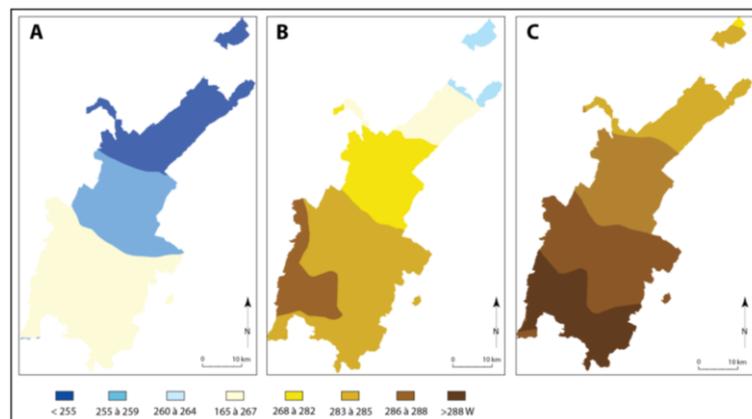
a) Température moyenne de juillet pour les trois normales



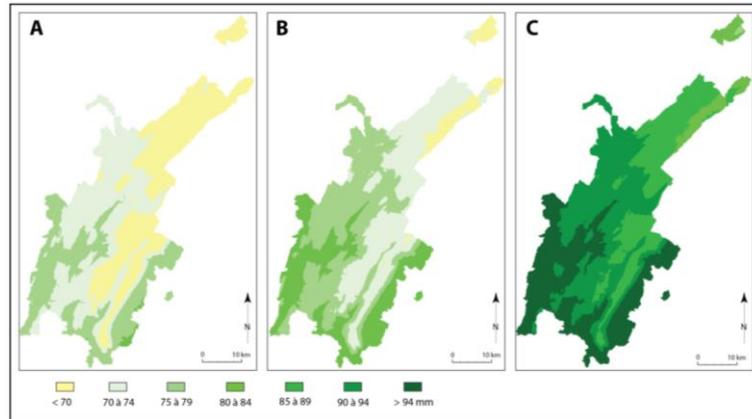
b) Abats de précipitations de juillet pour les trois normales



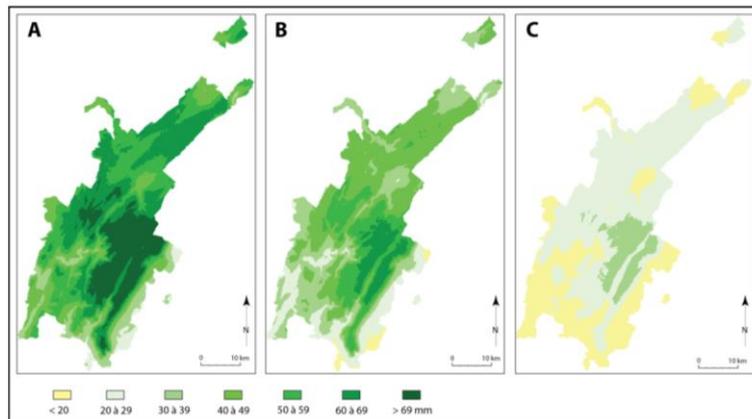
c) Humidité relative de juillet pour les trois normales



d) Rayonnement global de juillet pour les trois normales

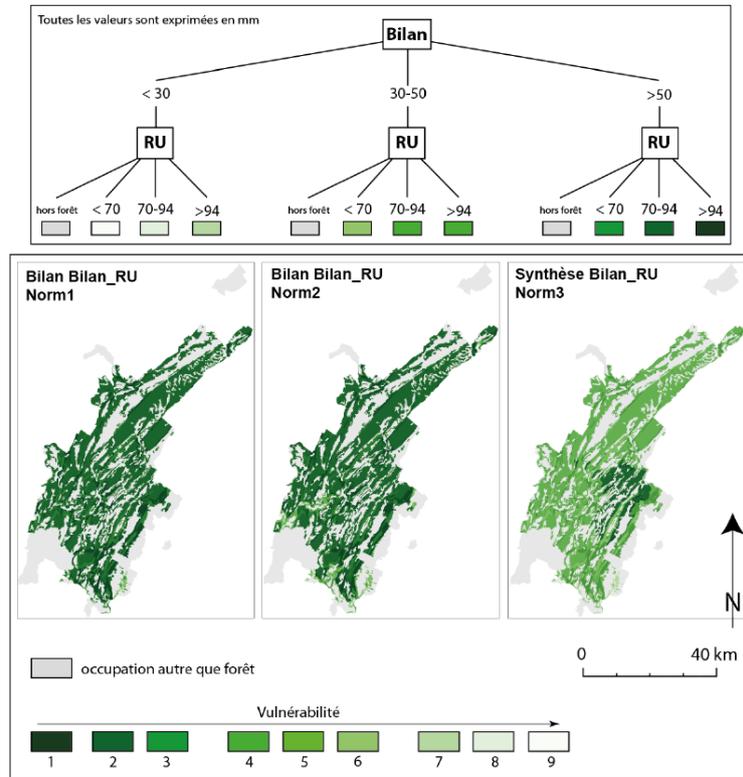


e) ETP (mm) de juillet pour les trois normales

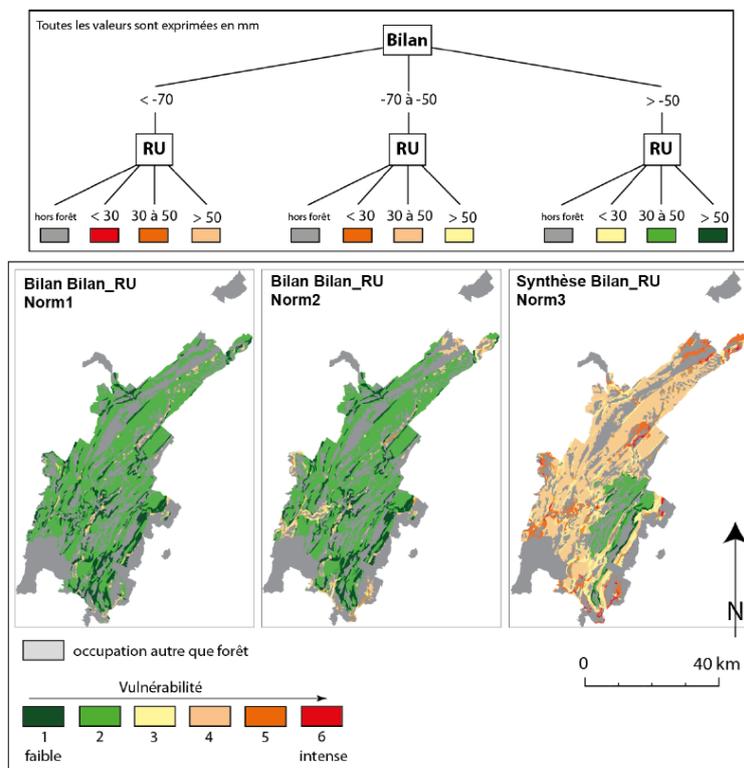


f) Bilan hydrique (mm) de juillet pour les trois normales

- ❖ Evolution attendue de la vulnérabilité de la forêt du Parc Naturel Régional du Haut-Jura au changement climatique



a) Vulnérabilité de la forêt du Parc Naturel Régional du Haut-Jura pour les trois normales



b) Vulnérabilité de la forêt du Parc Naturel Régional du Haut-Jura pour les cinq mois de juillet les plus déficitaires pour les trois normales

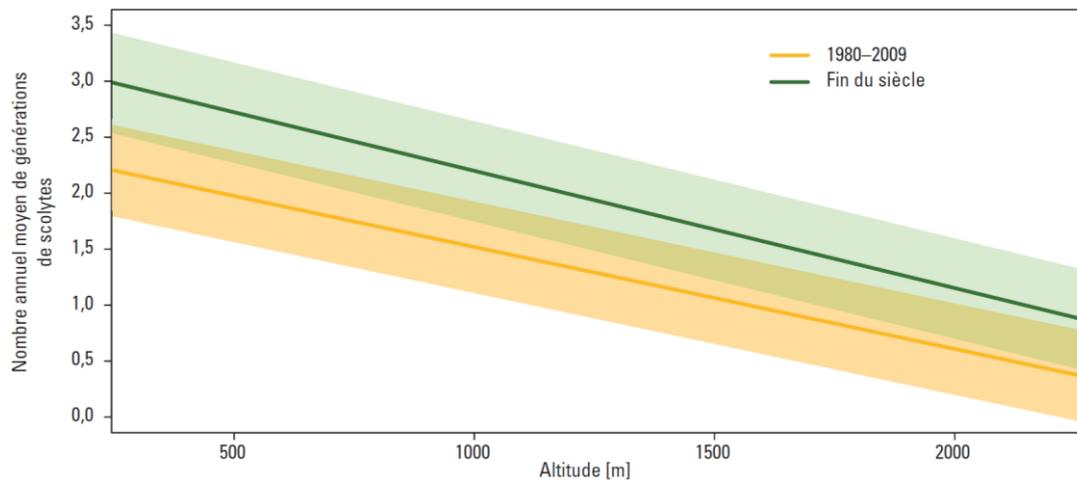
Figure 29. Relation entre le nombre moyen de générations d'*Ips typographus* et l'altitude dans les conditions climatiques actuelles et futures, et projections à l'échelle de la Suisse (Pluess et al., 2016)

NB : Le scénario climatique retenu est le scénario A1B, un ancien scénario du GIEC correspondant à l'actuel scénario RCP6.0 (scénario intermédiaire). Les traits pleins représentent la relation moyenne et les parties grisés le domaine de prédiction (95 % des réponses du modèle).

Le modèle intègre l'influence de la température sur le développement des œufs, larves et nymphes, sur la ponte principale et éventuellement secondaire de la même génération (dite « sœur »), sur le comportement de vol, sur la date de la diapause.

A noter que si la quantité de chablis pour permettre la ponte des œufs est suffisante, la population est multipliée à chaque génération ; ainsi, à partir d'un couple de scolytes hibernants, on obtient 50 individus à la première génération, 1250 individus à la seconde, et plus de 30 000 à la troisième.

❖ **Relation entre le nombre moyen de générations d'*Ips typographus* et l'altitude dans les conditions climatiques actuelles et futures (scénario A1B)**



❖ **Nombre de générations d'*Ips typographus* en Suisse d'après les facteurs climatiques (scénario A1B)**

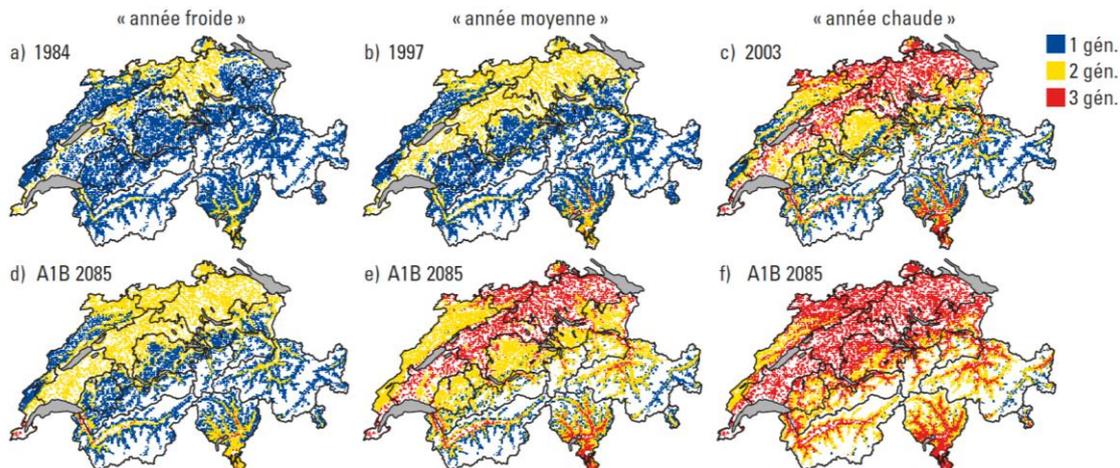


Figure 30. : Décalage moyen de l'envol des scolytes hibernants en fonction de l'évolution attendue des facteurs climatiques (Pluess et al., 2016)

NB : Le scénario climatique retenu est le scénario A1B, un ancien scénario du GIEC correspondant à l'actuel scénario RCP6.0 (scénario intermédiaire).

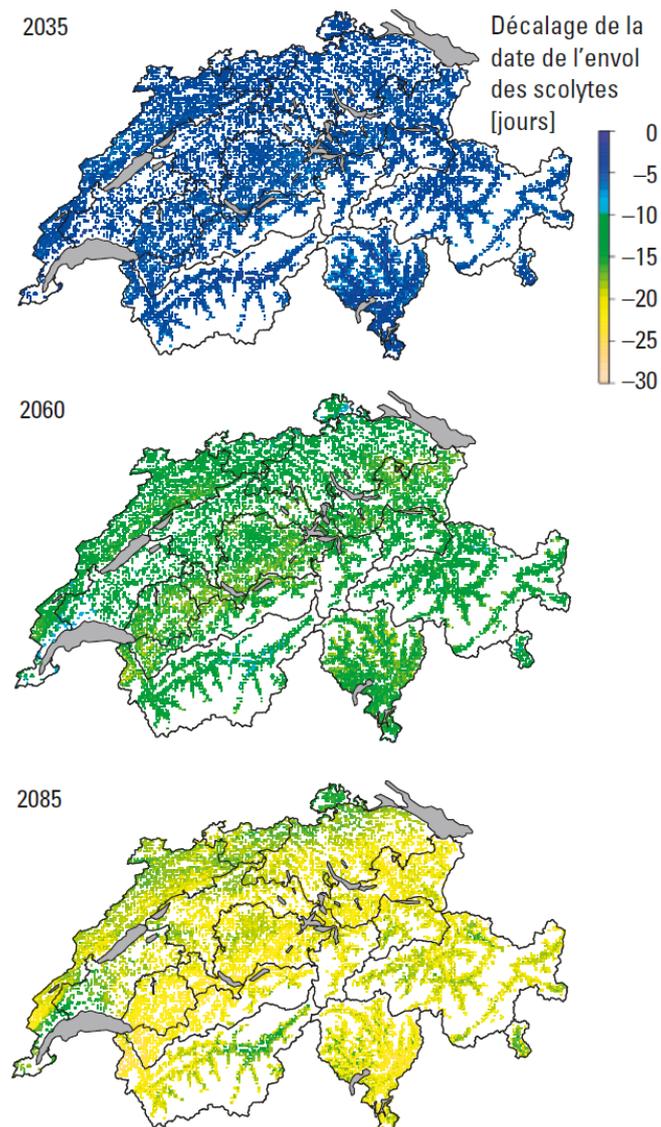


Figure 31. : Prédiction des peuplements aux infestations de scolytes dans les conditions climatiques actuelles et pour trois périodes futures, selon trois scénarios climatiques (Pluess et al., 2016)

NB : La modélisation de la prédiction prend en compte les facteurs suivants : position topographique, rayonnement global, risque de dégâts de tempêtes, exposition au vent, profondeur du sol, disponibilité en eau, saturation en eau, squelette du sol, proportion d'épicéas, hauteur des couronnes, nombre de générations de bostryches modélisé précédemment, indice de sécheresse modélisé précédemment.

Les trois scénarios climatiques retenus sont basés sur le scénario A1B, un ancien scénario du GIEC correspondant à l'actuel scénario RCP6.0 (scénario intermédiaire), et déclinés en variantes : RegCM3 (variante froide et humide), RCA (variante moyenne) et CLM (variante chaude et sèche).

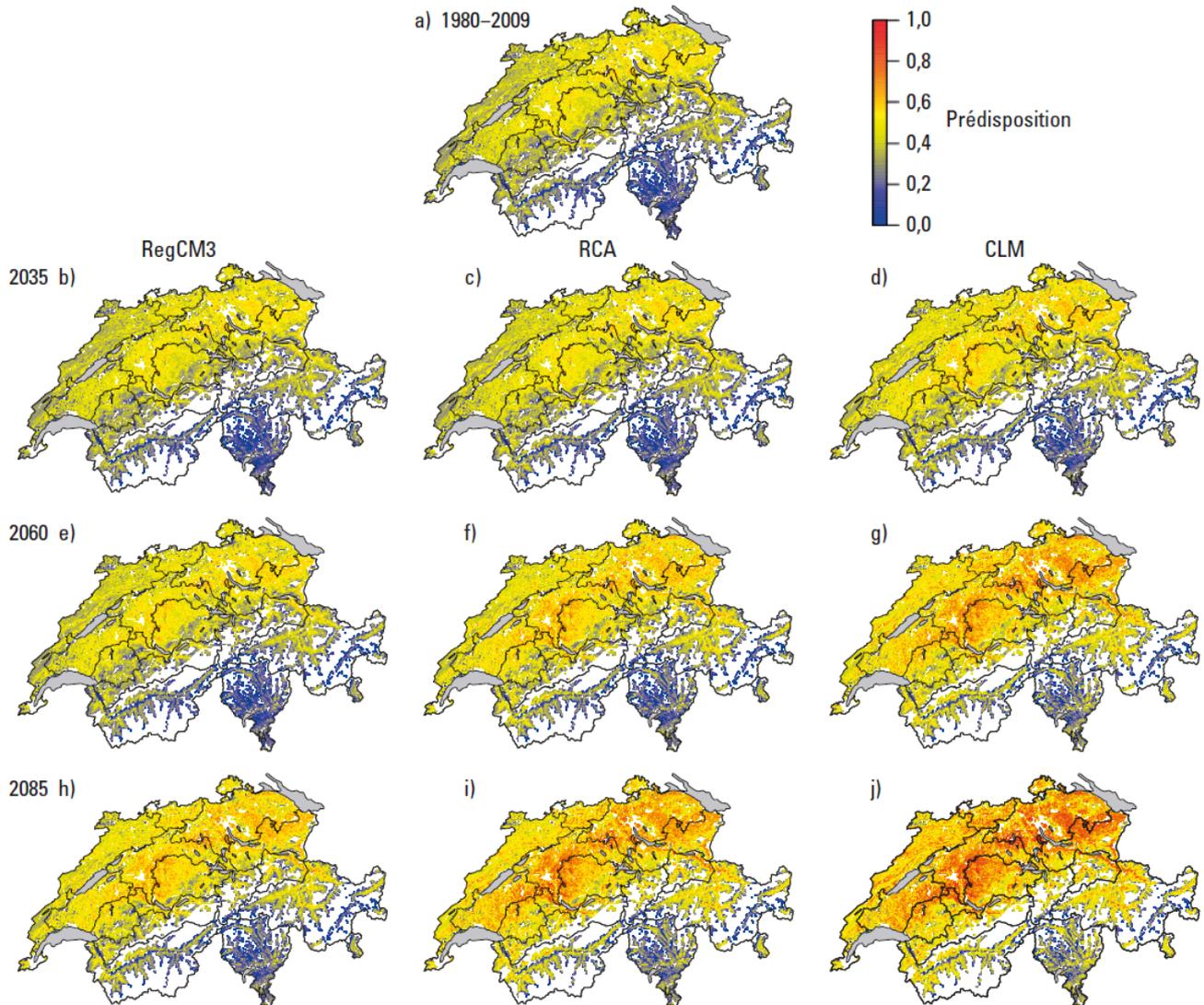


Figure 34. (a., b. et c.) : Quelques exemples de diversification en essences par voies naturelle et artificielle (Bertrand, 2018)

- ❖ **Figure 34. a. : Début de régénération naturelle de douglas vert, sapin pectiné, épicéa commun et érable sycomore en forêt privée, à 700 mètres d'altitude, sur la commune de Cervières dans la Loire. Régénération diversifiée apparue suite à une éclaircie dans une futaie régulière de douglas. L'objectif à terme est d'arriver à une futaie irrégulière plurispécifique grâce au dosage de la lumière permis par les coupes jardinatoires.**



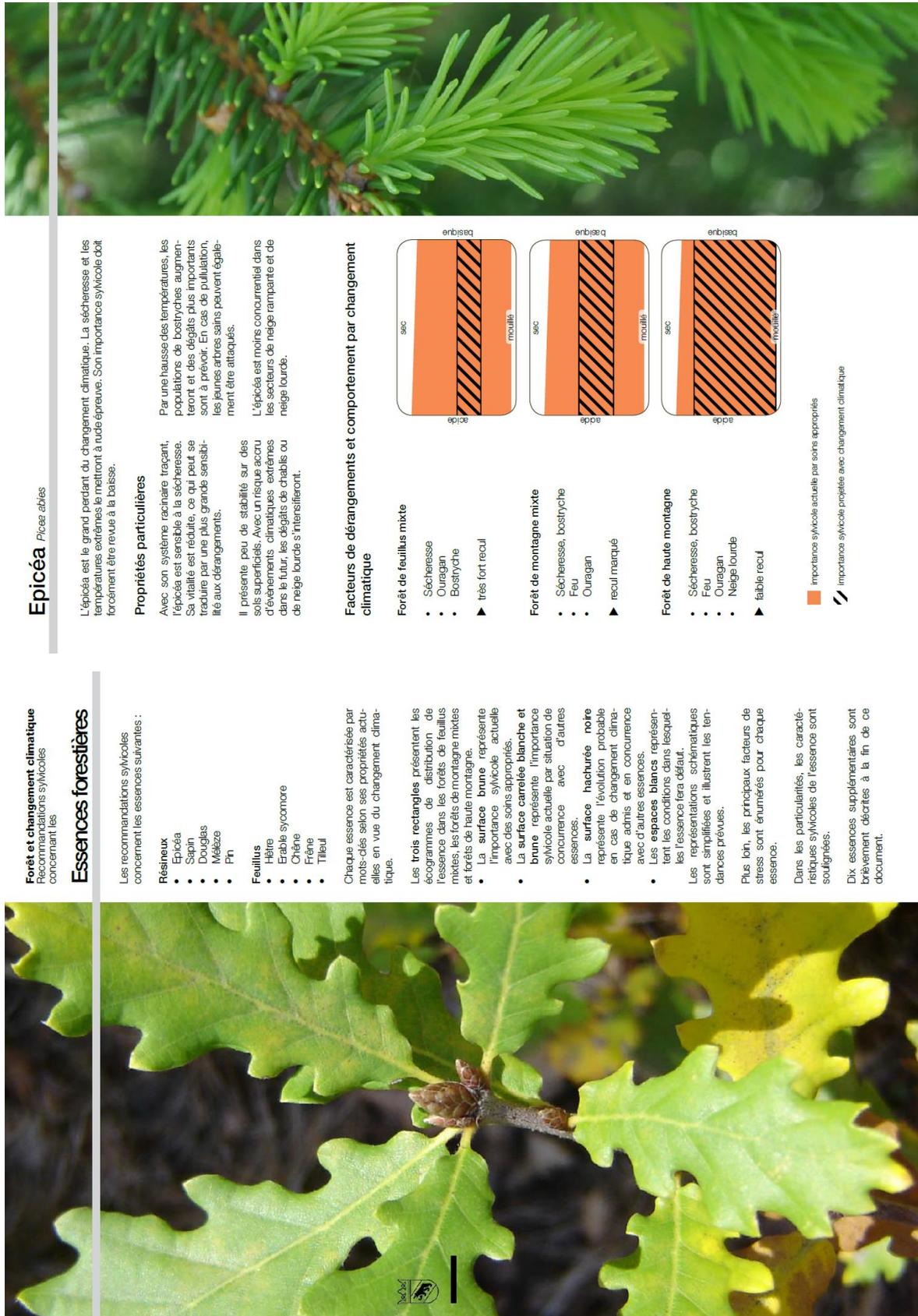
- ❖ **Figure 34. b. : Essai de régénération naturelle (pin noir, chêne pubescent, noyer commun) et artificielle (cèdre de l'Atlas) en station chaude à 900 mètres d'altitude dans les Alpes, après coupe définitive d'une futaie régulière de pins noirs, en forêt domaniale de Roizonne en Isère.**



- ❖ **Figure 34. c. : Plantation de cèdres de l'Atlas (80 %) et de cèdres du Liban (20 %) en forêt communale de Pellafol en Isère (altitude 900 mètres, densité de plantation 1100 plants/ha).**



Figure 35. : Extrait des recommandations sylvicoles concernant les essences forestières dans un contexte de changement climatique, éditées par le service forestier du canton de Berne (Suisse) pour les propriétaires forestiers (Office des forêts du canton de Berne, 2013b)





Douglas *Pseudotsuga menziesii*

Le douglas fait partie des grands profiteurs du changement climatique. Il arrive mieux à s'adapter à la sécheresse et aux températures extrêmes que les autres résineux et peut ainsi reprendre leur place. En sylviculture, son importance augmentera.

Propriétés particulières

Après sa plantation, le douglas est sensible à la sécheresse. Dès que son important système racinaire est en place, il la supporte très bien. De ce fait, le Douglas nécessite beaucoup de soins.

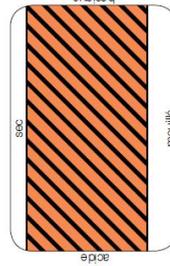
Le Douglas est une essence d'intérêt économique de par sa bonne croissance et de la qualité de son bois.

En raison de la gestion des risques, le douglas ne devrait pas être planté en monoculture sur des surfaces importantes.

Facteurs de dérangements et comportement par changement climatique

Forêt de feuillus mixte

- Feu
- Gibier
- ▲ peut s'établir dans de nouvelles niches



Forêt de montagne mixte

- Feu
- Gibier
- Champignons (perte des aiguilles)
- ▲ peut s'établir dans de nouvelles niches



Forêt de haute montagne

- Feu
- Gibier
- ▲ pourra se propager en stations favorables en raison des meilleures conditions climatiques



■ importance sylvicole actuelle par soins appropriés

▨ importance sylvicole projetée avec changement climatique

Particularité

Deux différentes provenances de douglas existent. Des essais en Bavière ont montré que les provenances côtières ou douglas vert atteignent les meilleurs résultats de croissance.

Sapin blanc *Abies alba*

Le sapin blanc est un candidat incertain du changement climatique. Même qu'il est très flexible, il souffre de la baisse de l'humidité atmosphérique et de la pression du gibier. Sa sélection et ses soins doivent être effectués de manière particulièrement prudente.

Propriétés particulières

Grâce à son système racinaire pivotant, le sapin peut s'approvisionner en eau en profondeur et est plus résistant à la sécheresse.

Le sapin est sensible à l'aboulessement. Il ne peut s'installer qu'en cas d'équilibre forêt-gibier.

Facteurs de dérangements et comportement par changement climatique

Forêt de feuillus mixte

- Bostryche
- Gibier
- Ouragan
- Feu
- ▲ se maintient, peut s'établir dans de nouvelles niches



Forêt de montagne mixte

- Bostryche
- Gibier
- Ouragan
- Feu
- ▲ peut se maintenir dans sa zone de distribution



Forêt de haute montagne

- Gibier
- Feu
- Ouragan
- ▲ pourra s'établir en raison des conditions climatiques favorables



■ importance sylvicole actuelle par soins appropriés

▨ importance sylvicole projetée avec changement climatique



Hêtre *Fagus sylvatica*

Le hêtre fait partie des perdants du changement climatique. La sécheresse et les températures extrêmes le restreindront dans son amplitude. En altitude, il rencontrera des conditions plus propices qu'aujourd'hui. Son importance sylvicole évoluera.

Propriétés particulières

En stations fraîches, le hêtre réagira sensiblement à la sécheresse. Ceci est valable en particulier pour les plantules en phase d'installation.

Il est également envisageable que le hêtre, au travers de sélections, s'adapte aux nouvelles conditions. En effet, il dispose d'une vaste amplitude écologique et il existe des provenances résistantes à la sécheresse (Balkans, Italie).

Facteurs de dérangements et comportement par changement climatique

Forêt de feuillus mixte

- Sécheresse
- Champignons
- ▶ fort recul dû à la sécheresse

Forêt de montagne mixte

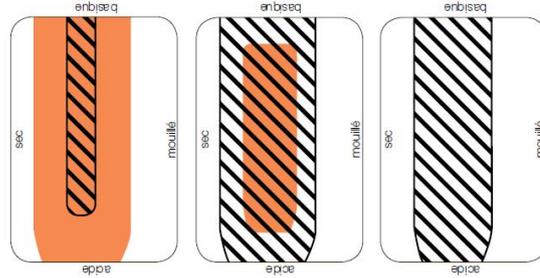
- Sécheresse
- Champignons
- ▶ forte propagation grâce à de meilleures conditions climatiques et sa bonne compétitivité

Forêt de haute montagne

- Champignons
- ▶ S'établira dans des secteurs à meilleures conditions climatiques, mais seulement là où il est compétitif

■ importance sylvicole actuelle par soins appropriés

▨ importance sylvicole projetée avec changement climatique



Mélèze *Larix decidua*

Le mélèze tire un avantage certain du changement climatique, il croît sur presque chaque station et s'impose dans des niches. Son importance sylvicole va s'accroître par des soins appropriés.

Propriétés particulières

Le mélèze évite les sols mouillés. A part cela, cette essence croît sur toutes les stations.

Le mélèze est une cible privilégiée du gibier dans son jeune âge. Il ne peut en cas de concurrence avec des essences qui tolèrent mieux l'ombre, gibier.

Facteurs de dérangements et comportement par changement climatique

Forêt de feuillus mixte

- Gibier
- ▶ pourra se propager dans des secteurs où il est concurrentiel

Forêt de montagne mixte

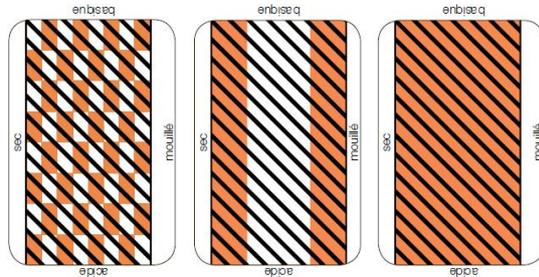
- Gibier
- Neige lourde
- ▶ pourra se propager dans de nouvelles niches

Forêt de haute montagne

- Gibier
- ▶ pourra s'établir dans son amplitude naturelle ainsi qu'aux endroits où il est favorisé

■ importance sylvicole actuelle par soins appropriés

▨ importance sylvicole projetée avec changement climatique



Particularité

Contrairement au mélèze européen, le mélèze du Japon n'est que peu adapté au changement climatique. En effet, il est sensible à la sécheresse et demande suffisamment de précipitations en été. De plus, il est sensible aux maladies fongiques.



TABLEAUX D'AIDE À LA DÉCISION INTÉGRANT LA NOTION DE VIGILANCE PAR RAPPORT AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Si votre diagnostic vous conduit dans le Groupe des **US 5** essences résineuses

EN SITUATION D'UBAC OU SITUATION CONFINÉE



légende

- risque encouru pour l'essence considérée
- risque limité
- risque potentiel
- risque encouru
- favorable
- favorable en mélange avec d'autres essences
- déconseillé
- absente ou rare
- limites altitudinales supérieures mal connues
- ** à utiliser avec précaution à basse altitude

Alpes du Nord et montagnes de l'Ain - 11.2017

Essences résineuses	Cèdre de l'Atlas	Douglas	Epicéa	Mélèze d'Europe	Pin noir	Pin sylvestre	Sapin pectiné	Montagnard externe	
								adap. à venir	adap. à venir
US 5.31	☺	☺	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.32	☹	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.41	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.42	☹	☺*	☺	☺	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.43	☹	☺	☺	☺	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.44	☹	☹	☺	☺	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.5	☹	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.61	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.62	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.63	☹	☺*	☺	☺	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.64	☹	☹	☺	☺	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.71	☹	☹	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.72	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.81	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.82	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺

TABLEAUX D'AIDE À LA DÉCISION INTÉGRANT LA NOTION DE VIGILANCE PAR RAPPORT AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Si votre diagnostic vous conduit dans le Groupe des **US 5** essences résineuses

EN SITUATION D'ADRET OU SANS EXPOSITION



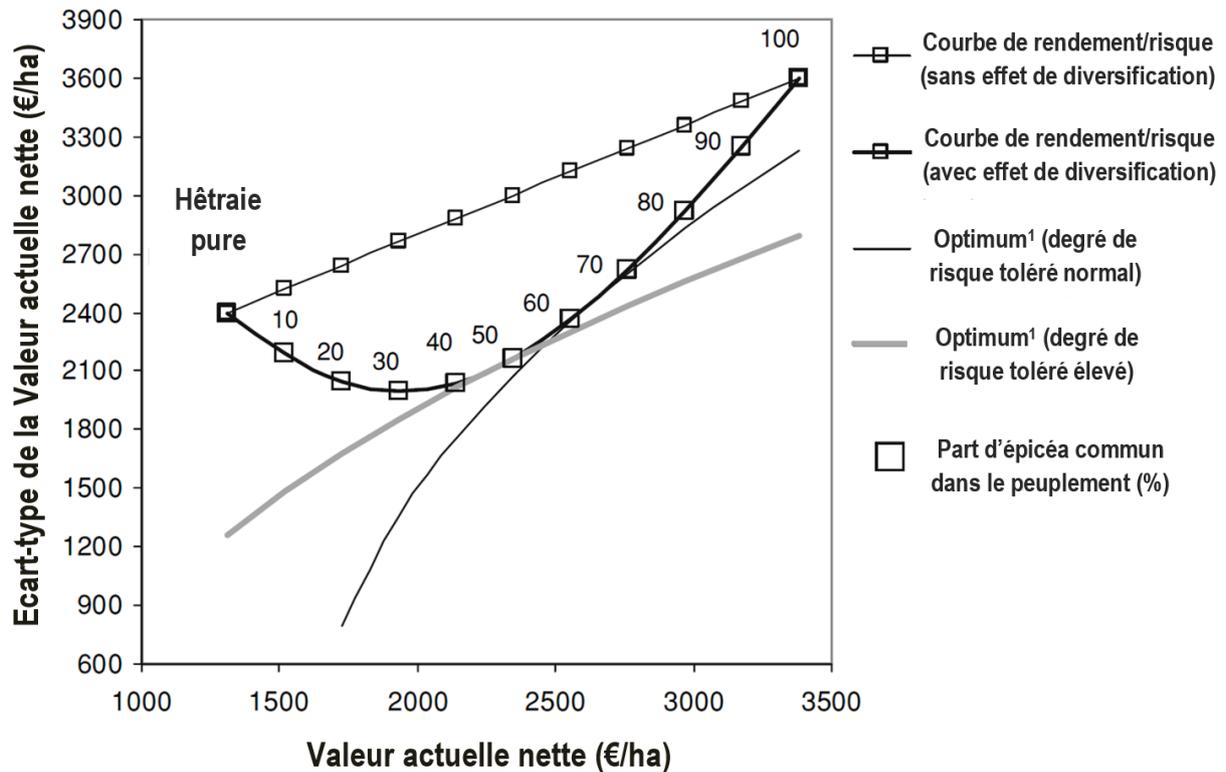
légende

- risque encouru pour l'essence considérée
- risque limité
- risque potentiel
- risque encouru
- favorable
- favorable en mélange avec d'autres essences
- déconseillé
- absente ou rare
- limites altitudinales supérieures mal connues
- ** à utiliser avec précaution à basse altitude

Alpes du Nord et montagnes de l'Ain - 11.2017

Essences résineuses	Cèdre de l'Atlas	Douglas	Epicéa	Mélèze d'Europe	Pin noir	Pin sylvestre	Sapin pectiné	Montagnard externe	
								adap. à venir	adap. à venir
US 5.11	☺	☺	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.12	☹	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.2	☺	☺	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.31	☺	☺	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.32	☹	☺	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.41	☹	☺	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.42	☹	☺*	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.43	☹	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.44	☹	☹	☺	☺	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.5	☹	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺	☺
US 5.61	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.62	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.63	☹	☺*	☺	☺	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.64	☹	☹	☺	☺	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.71	☹	☹	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.72	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.81	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺
US 5.71	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☺	☺	☺

Figure 38. : Exemple d'évolution du risque et du rendement financier en fonction de la composition (modifié d'après Knoke et al., 2008)



¹ La composition optimum est atteinte lorsque l'augmentation marginale du rendement est compensée par la même augmentation marginale du risque. Deux courbes d'optimum sont proposées en fonction du niveau de risque toléré (normal ou élevé).

Pour un niveau de risque normal, l'optimum économique correspond à une composition répartie entre 52 % de hêtre et 48 % d'épicéa. Pour un niveau de risque élevé, il correspond à un mélange de 35 % de hêtre et 65 % d'épicéa.

Figure 39. : Exemples de régénération naturelle sur une longue durée en forêt jardinée de montagne, qui permet à beaucoup d'arbres de transmettre leur patrimoine génétique (Bastien et Gauberville, 2011; Pluess et al., 2016)

Futaie jardinée d'épicéas et de sapins en station de Seefeld dans le Tyrol (Alpes autrichiennes) (Pluess et al., 2016)



Pessière à doradille sur lapiaz dans le Haut-Jura (Bastien et Gauberville, 2011)



Figure 40. : Exemple de futaie jardinée mélangée en forêt privée, à 800 mètres d'altitude sur la commune de Cervières dans le Haut-Forez (Bertrand, 2018)

La forêt couvre 14 hectares avec une densité de 300 tiges/ha, réparties dans les différentes classes de diamètres conformément aux caractéristiques de la structure jardinée. La composition est répartie entre sapin pectiné (40 %), douglas vert (40 %), et d'autres feuillus et résineux à hauteur de 20 % (épicéa commun, pin Weymouth, mélèze d'Europe, châtaignier, érable sycomore, robinier pseudo-acacia...).



Figure 42. : Les 25 sylvoécorégions et les 22 massifs forestiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)

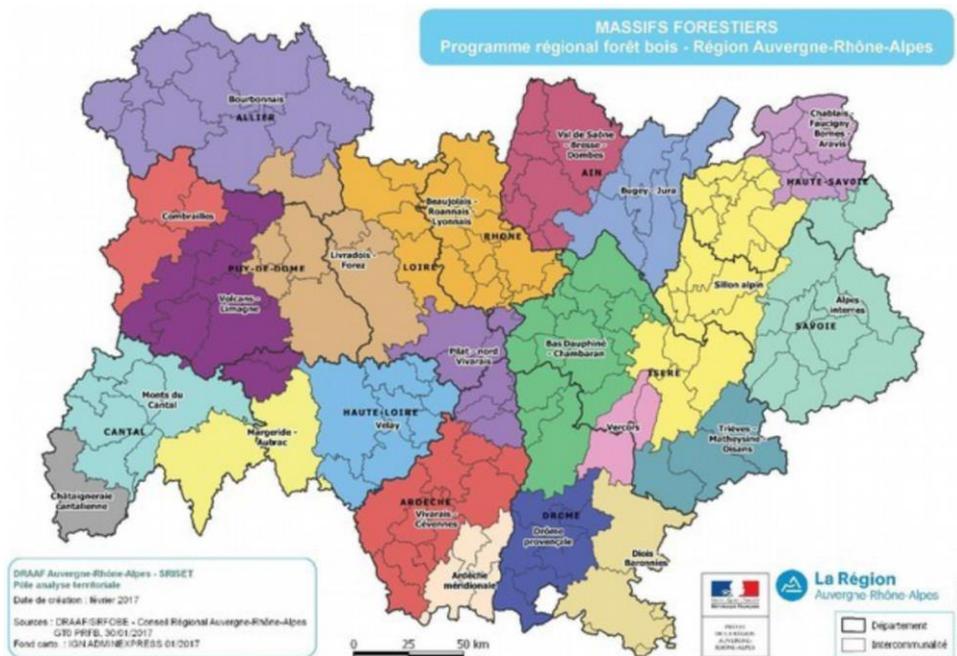
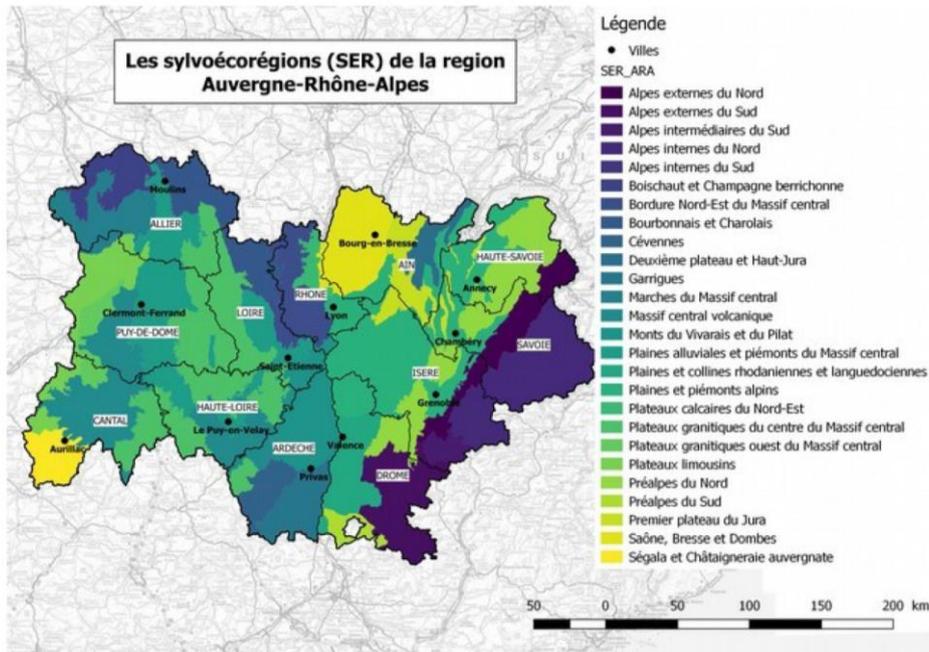


Figure 43. : Matrice SWOT de la filière forestière en région Auvergne-Rhône-Alpes (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)

Atouts	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> - Surface forestière importante (2,5 M ha) ; - Ressource forestière abondante (468 M de m³ sur pied), matériau renouvelable, local ; - Puits de carbone important : stockage de carbone en forêt et double substitution pour les produits bois ; - Possibilité d'augmentation de la récolte, inférieure à l'accroissement biologique (environ 50 %) ; - Tissu d'entreprises développé, avec des savoir-faire importants ; - Importance de la multifonctionnalité des forêts régionales ; une part très importante du patrimoine naturel de la région est lié aux forêts. 	<ul style="list-style-type: none"> - Morcellement du foncier forestier ; - Insuffisance de la gestion en forêt privée ; - Difficultés d'accès d'une partie des massifs (zones de montagne) et coût élevé de l'exploitation forestière ; - Difficultés d'exploitations des peuplements forestiers hétérogènes ; - Manque de débouchés pour le bois d'œuvre feuillu (hors chêne de qualité) ; - Outils industriels à moderniser ; - Faible prescription de bois massif dans la construction.
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> - Développement important de la construction et de la rénovation, où le bois représente une solution technique performante ; - Volonté politique de développer les matériaux et les énergies renouvelables ; - Développement par la R&D de nouvelles techniques d'exploitation (ex : ballon charges lourdes) et de nouveaux produits et/ou usages du bois (chimie verte, matériaux composites, etc.) ; - reconnaissance croissante du rôle joué par la forêt et les sols forestiers pour la séquestration du carbone ; - qualité paysagère des forêts et leur patrimoine naturel à la base d'une économie verte touristique déterminante pour de nombreux territoires de la région. 	<ul style="list-style-type: none"> - Impacts du changement climatique (accidents climatiques – tempêtes, sécheresse-, attaques parasitaires, remontée des aires de répartition géographiques, risques d'incendie, etc.) ; - Concurrence internationale (importation et exportation de bois) ; - Risque de surexploitation des massifs forestiers facilement accessibles ; - Faible acceptation sociétale de la fonction productive de la forêt.

Figure 44. : Communes actuellement exposées au risque incendie en Auvergne-Rhône-Alpes (Observatoire régional des effets du changement climatique, 2017)

NB : Données de 2016 fournies par la DREAL Auvergne-Rhône-Alpes.

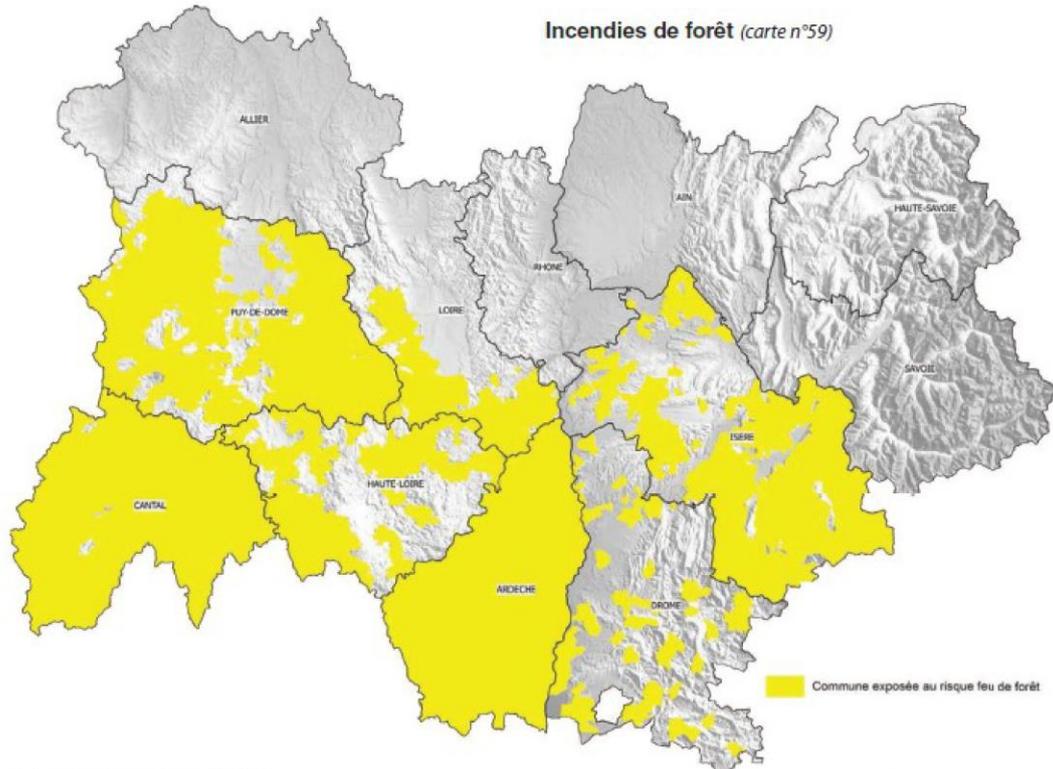


Figure 46. : Guide d'entretien établi pour l'enquête auprès des gestionnaires forestiers (Bertrand, 2018)

THEMES	QUESTIONS	RELANCES	ELEMENTS
1 - LE TRAVAIL DE L'ENQUETE			
a) Composantes du travail	En quoi consiste votre travail ?	Quelles sont vos différentes missions ?	Structure Fonctions, activités
b) Parcours	Quel a été votre parcours professionnel ?	Quel(s) métier(s) avez-vous exercé(s) auparavant ? Quelles formations avez-vous suivies ?	Dates Parcours Activités antérieures
c) Domaine géré	Pouvez-vous décrire le domaine forestier que vous gérez (si non gestionnaire : auquel vous êtes rattaché) ? Quelles sont les essences les plus représentées ?	Quelle surface gérez-vous ? Quelles sont les caractéristiques des forêts sur lesquelles vous intervenez (e.g. surfaces, régions, propriétaires, stations, peuplements, contraintes, etc.) ?	Surfaces Localisations Peuplements Propriétaires Contraintes
d) Relations professionnelles	Avec qui travaillez-vous ?	Travaillez-vous en équipe ? Etes-vous en lien avec d'autres personnes dans votre structure ? Avec d'autres structures ?	Collectifs de travail Echanges dans et hors structure
2 - GESTION PRACTIQUEE			
a) Objectifs rencontrés	Quels sont les objectifs des propriétaires (selon le cas : particulier, GF, GIEEF, ASLGF, organisme, commune, Etat...) pour les forêts sur lesquelles vous intervenez ?	Dans le cadre de votre métier, à quels enjeux liés à la forêt êtes-vous confrontés ?	Enjeux, objectifs (e.g. économie, chasse, biodiversité, protection, tourisme, cueillette, paysage, climat, etc.)
b) Goût pour le métier	Qu'est-ce qui vous plaît dans votre métier ?	Quels sont les aspects que vous appréciez le plus dans votre travail ?	Eléments d'attrait
c) Difficultés rencontrées	Qu'est-ce qui vous paraît difficile dans votre métier ?	Quelles difficultés techniques, économiques, sociales... rencontrez-vous ? A quels problèmes faites-vous face ?	Difficultés Problèmes
d) Risques rencontrés	Quels sont les principaux risques qui peuvent toucher les forêts que vous gérez ?	Pensez-vous que les forêts que vous gérez sont soumises à des risques ? De quels ordres sont-ils ? Economiques, cynégétiques, sanitaires, climatiques... ?	Risques Incertitudes
3 - CONNAISSANCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE			
a) Conscience et connaissance du changement climatique	On entend beaucoup parler du changement climatique actuellement. Dans quelle mesure vous sentez-vous familier avec cette notion ? Que savez-vous du changement climatique ?	Pensez-vous que le climat est en train de changer ? Pensez-vous que le changement climatique est dépendant de l'action de l'homme ? Comment le climat évolue-t-il ? Comment va-t-il évoluer dans les décennies à venir ? La forêt a-t-elle un rôle à jouer face à ce changement ? Lequel ? Si non, pourquoi ? Quelles sont vos sources d'informations sur ce sujet (e.g. revues spécialisées, formations, etc.) ?	Degré de conscience Composantes du changement climatique Rôle de la forêt Sources d'information
b) Effets du changement climatique	Avez-vous déjà observé des effets du changement climatique dans les forêts que vous gérez ? Si oui, lesquels ? Sont-ils directs ou indirects ? Pensez-vous que des effets du changement climatique seront visibles à l'avenir ? Si non, pourquoi ?	Etes-vous directement confronté au changement climatique dans le cadre de votre métier ? Comment se manifeste-t-il en forêt ? Quelles sont les essences les plus impactées ? Quels pourraient être les effets du changement climatique en forêt ? A quelles échéances de temps ? Si vous ne prévoyez pas d'effet, pourquoi (e.g. la variabilité génétique suffit, etc.) ?	Effets directs et indirects, actuels et futurs Repères temporels Raisons du scepticisme
4 - PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE			
a) Importance du CC	Etes-vous inquiet des potentiels effets du changement climatique sur les forêts que vous gérez ? Pourquoi ? Quelle en est la perception des propriétaires ?	Quelle est l'importance que vous accordez au changement climatique par rapport aux autres enjeux que vous avez évoqués (e.g. production, équilibre sylvo-cynégétique, biodiversité, tourisme, paysage...) ? Pourquoi ? Quelle est la position des autres usagers de la forêt ?	Degrés de priorité et d'inquiétude ≠ propriétaire / gestionnaire Position des autres usagers
b) Mesures d'adaptation	Avez-vous commencé à adapter vos pratiques sylvicoles au changement climatique ? De quelle(s) manière(s) ? A quels moyens d'adaptation avez-vous fait appel ? Si non, pour quelles raisons n'adaptez-vous pas vos pratiques ?	Comment avez-vous modifié vos pratiques ? Quels changements de pratiques sylvicoles avez-vous mis en place (e.g. dans la régénération naturelle et artificielle, les soins aux jeunes peuplements, les différents types de coupes, la révolution, le choix du traitement, etc.) ? Pourquoi ? Pensez-vous qu'il y ait d'autres mesures envisageables ?	Mesures d'adaptation Importance respective Efficacité ? Degré d'implication Raisons de non-action
1. Pratiques sylvicoles	Avez-vous mis en place des suivis particuliers des forêts (sanitaires, dendrométriques...) en raison du changement climatique ? Lesquels ? Avez-vous déjà réalisé des essais, des expérimentations pour tester de nouvelles	Quels dispositifs avez-vous installés ? Pensez-vous en installer d'autres (et lesquels) (e.g. essais de nouvelles essences ou provenances, sylviculture plus dynamique, plus prudente, gestion adaptative, etc.) ? Qu'en attendez et/ou obtenez-vous ? Dans le cas inverse, pourquoi n'en installez-vous pas ?	Suivis Expérimentations Objectifs Raisons de non-action
2. Suivi et expérimentation			

	mesures d'adaptation ? Lesquels ? Si non, pourquoi ?		
3. Conseils	Avez-vous adapté vos conseils ? Si oui, comment ? Si non, pourquoi ?	Ces mesures sont-elles en phase avec les attentes des propriétaires ? Sont-ils sensibles à la question du changement climatique ?	Mesures d'adaptation, acceptabilité des propriétaires
4. DGD	Les mesures sont-elles toutes inscrites dans le DGD de la forêt ? Lesquelles ne le sont pas et pourquoi ? Y a-t-il des mesures inscrites mais non appliquées ? Si aucune mesure n'est prévue, pourquoi ?	Pensez-vous que la révision du DGD intégrera de nouvelles mesures ? Si oui, lesquelles ? Si non, pourquoi ?	Cohérence entre DGD et gestion effective Raisons de non-inscription et de non-application
c) Outils et accompagnement	Qu'est-ce qui vous a poussé à prendre en compte le changement climatique dans votre gestion ? Quels sont les outils dont vous disposez pour choisir vos pratiques d'adaptation ? Dans le cas inverse, qu'est-ce qui vous pousse à ne pas modifier vos pratiques ?	Quels sont les personnes, les outils, les documents qui vous ont motivé à adapter vos pratiques ? Comment vous informez-vous sur cette question (e.g. conseil, formation, revues spécialisées type RFF, RDV techniques ONF ou Forêts de France, internet...) ? Pouvez-vous détailler ? Etes-vous accompagné dans votre démarche, par qui ? Dans le cas inverse, manquez-vous d'informations pour faire évoluer vos pratiques ? Desquelles ? Les forêts peuvent-elles s'adapter toutes seules au changement climatique ?	Ressources Modes d'information Personnes, réunions Outils, documents Eventuellement raisons de non-action et informations manquantes
d) Freins	Quels sont les freins que vous rencontrez pour modifier vos pratiques ?	Y-a-t-il certaines mesures d'adaptation que vous ne mettez pas en place ? Pourquoi ? Est-ce pour des raisons financières ? réglementaires ? sociales ? de connaissance ? de risque ? de prudence ("pas de précipitation"), de hiérarchie ?...	Freins Facteurs limitants
e) Besoins Outils Développement	Les outils dont vous disposez pour adapter vos pratiques au changement climatique sont-ils suffisants ? Sont-ils à améliorer ? Quels nouveaux outils faudrait-il développer pour vous aider à intégrer le changement climatique dans votre gestion ? Seriez-vous prêt à suivre une formation sur cette thématique ?	Quels outils utilisez-vous pour établir vos diagnostics ? (e.g. guide des sylvicultures de montagne, guide des stations, typologie des peuplements, etc.). Que vous manque-t-il en termes d'outils, d'accompagnement, pour améliorer vos pratiques d'adaptation au changement climatique ? Comment être mieux informé ? Connaissez-vous le RMT AFORCE et ses axes de travail ?	Outils satisfaisants Outils à améliorer Outils à développer Besoins (outils, accompagnement, formation)
5 - PRESENTATION DE L'ENQUETE			
a) Informations complémentaires		Informations éventuellement non relevées Age, expérience, place et ancienneté dans la structure	

Notes méthodologiques		
Objectif : Etudier la perception du changement climatique par les gestionnaires forestiers, identifier les mesures d'adaptation sylvicoles utilisées ainsi que les obstacles à leur mise en œuvre, afin d'aider les praticiens dans leur gestion et leurs choix futurs.		
Avant l'entretien	Pendant l'entretien	Après l'entretien
<p>L'entretien débutera par une brève présentation de l'enquêteur ainsi que du projet MACCLIF (objectifs et acteurs).</p> <p>On précisera également le mode de déroulement de l'entretien semi-directif, ainsi que l'anonymat des données traitées.</p>	<p>L'entretien semi-directif est directif dans le contenu, mais libre dans la forme : à la différence d'un questionnaire chronologique, le guide d'entretien rassemble simplement les thèmes à aborder au cours de l'entretien.</p> <p>On veillera ainsi à laisser parler l'enquêté au maximum en le laissant aborder les sujets (sans les énoncer préalablement). Si des thèmes ne sont pas abordés, on les évoquera tout en relevant que l'enquêté ne les a pas évoqués de lui-même.</p>	<p>A la fin de l'entretien, il sera utile de reformuler l'essentiel du contenu recueilli et de confirmer auprès de l'enquêté. On pourra également demander à la personne si elle connaît quelqu'un qu'il serait intéressant d'interroger.</p> <p>Chaque entretien fera l'objet d'un compte-rendu d'entretien, préalable à l'analyse des données recueillies.</p>

Figure 47. : Hiérarchisation des documents d'orientation et d'aménagement des forêts à l'échelle régionale (Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt Auvergne-Rhône-Alpes, 2018)

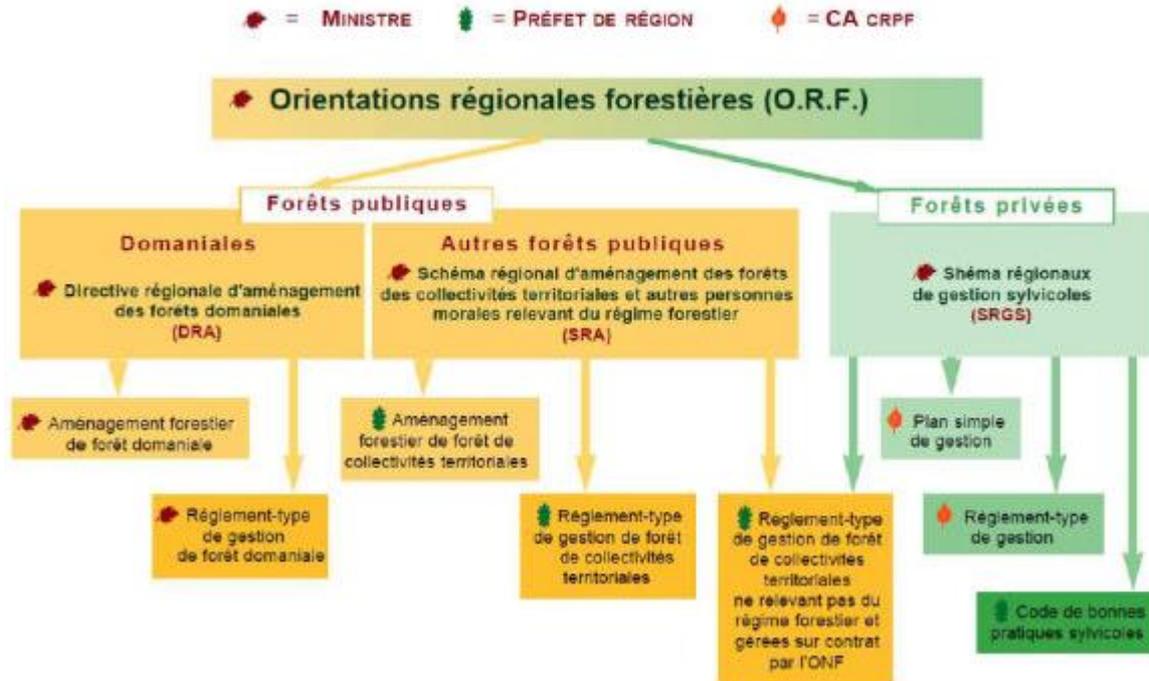
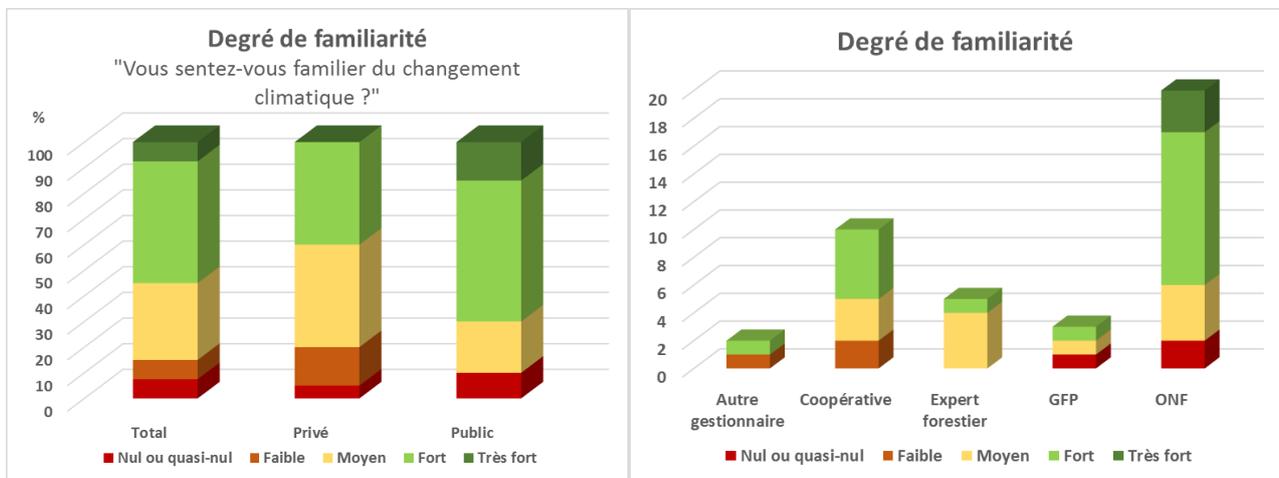


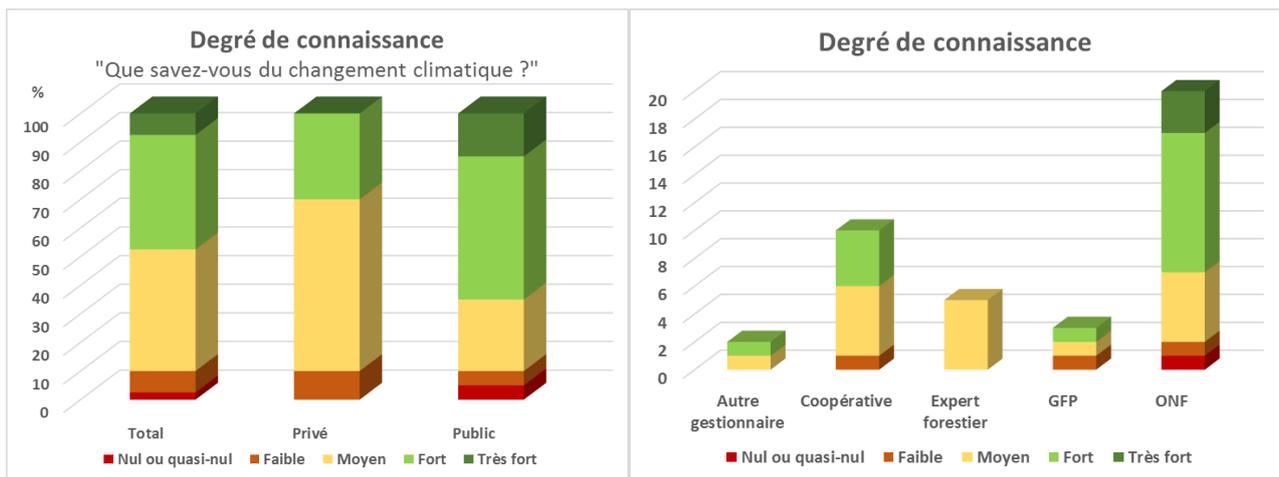
Figure 49. a., b., c., d. et e. : Représentations graphiques des degrés de familiarité, de connaissance, de priorité, d'implication et d'inquiétude des gestionnaires interrogés, en fonction de leur statut et de leur structure (Bertrand, 2018)

NB : Les résultats globaux et par statut sont représentés par des pourcentages (*total : 100 %*). Les résultats par structure, au vu des effectifs réduits dans certaines catégories, sont représentés par nombre d'entretiens (*total : 40 entretiens*).

❖ **Figure 49. a. : Degré de familiarité selon le statut et selon la structure**



❖ **Figure 49. b. : Degré de connaissance selon le statut et selon la structure**



❖ **Figure 49. c : Degré de priorité selon le statut et selon la structure**

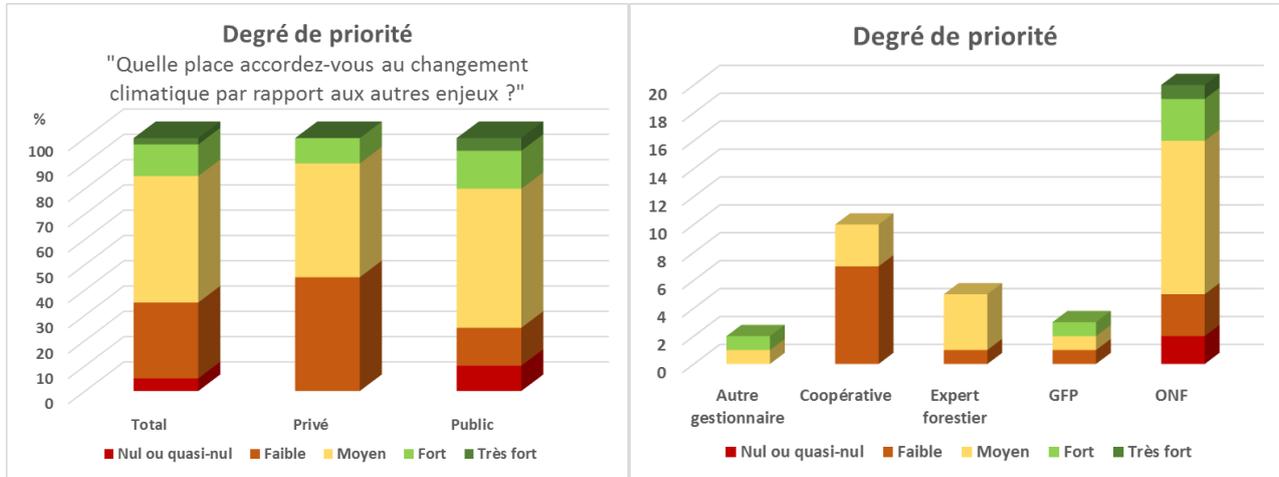


Figure 49. d : Degré d'implication selon le statut et selon la structure

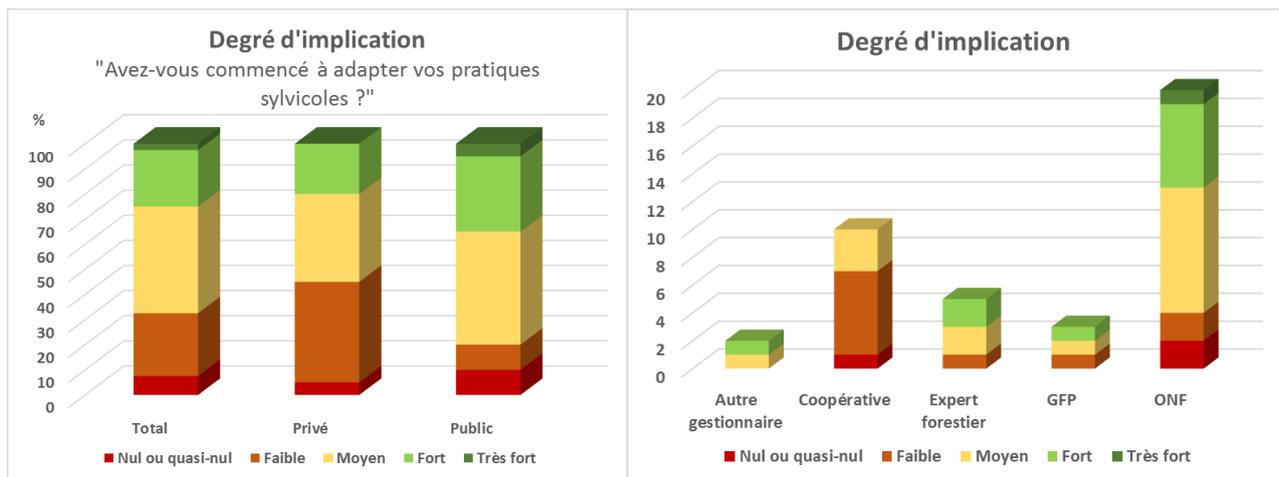


Figure 49. e : Degré d'inquiétude selon le statut et selon la structure

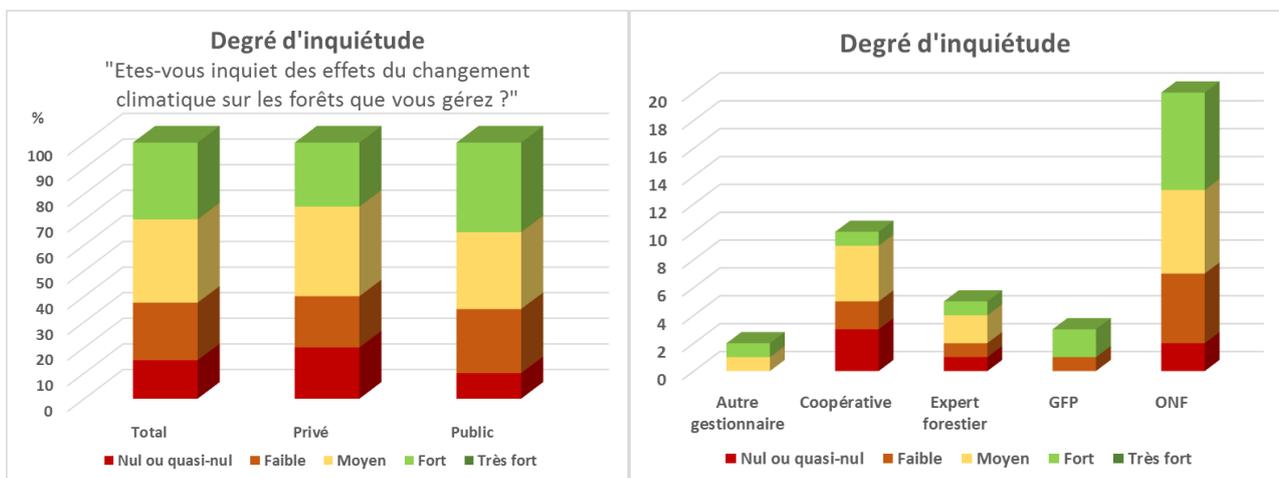


Figure 52. : Illustrations de quelques situations questionnant les gestionnaires, aux causes multiples et incertaines (station, conséquences de la sylviculture antérieure...). Quel impact attribuer au changement climatique ? (Bertrand, 2018)



Rougissements de douglas de bordure en Ardèche (Intres) et en Haute-Loire (forêt privée située sur la commune de Tence, à 900 mètres d'altitude et recevant 1100 mm d'eau annuels)



Sapins gâtés et affaiblis, parfois secs dans la Loire (forêt privée en commune de Cervières – 900 m) et dans l'Ain (forêt communale d'Hauteville-Lompnes – 850 m)



Attaque du bostryche typographe sur un épicéa dans l'Ain (forêt communale d'Hauteville-Lompnes – 900 m), rougissement de pins sylvestres en Ardèche (Intres)



Anomalies de croissance du cèdre de l'Atlas en Ardèche (Saint Marcel les Annonay – 600 m d'altitude et Saint-Clair – 500 m d'altitude)

Figure 55. Exemple de diverses mesures sylvicoles adoptées par les gestionnaires forestiers de la région et pouvant être reliées au moins en partie au changement climatique (Bertrand, 2018)



Garder les résineux ou les feuillus ?

A gauche : A altitude modérée ou en cas d'exposition défavorable, dans les parcelles à vocation résineuse envahies par les feuillus (fayard notamment), proposition de récolte puis d'abandon des résineux dans les essences objectives. Ici, une parcelle exposée sud, à 1000 mètres d'altitude, située en forêt communale de la Valette en Isère.

A droite : Travaux de dégagements de semis résineux (sapins pectinés) en forêt communale d'Hauteville-Lompnes dans l'Ain à 850 mètres d'altitude



A gauche : Arbres marqués dans le cadre d'une surveillance sanitaire (rougissement de douglas de bordure en forêt privée, à Tence en Haute-Loire, à 900 m d'altitude)

A droite : Une forêt jeune, claire, mélangée et structurée, un atout face au changement climatique ? Parcelle située en forêt communale d'Hauteville-Lompnes dans l'Ain à 850 mètres d'altitude.



Plantation de mélèzes d'Europe (à gauche) et de cèdres de l'Atlas (à droite) en versant sud à 950-1000 mètres d'altitude, en forêt communale de Siévoz en Isère



A gauche : Après éclaircie, apparition d'une régénération naturelle et diversifiée en essences (douglas vert, sapin pectiné, épicéa commun, érable sycomore) en forêt privée, à 700 mètres d'altitude, sur la commune de Cervières dans le Haut-Foréz. Le peuplement initial est une plantation de douglas, l'objectif à terme est d'atteindre une futaie irrégulière mélangée grâce à des coupes jardinatoires.

A droite : Début de structuration verticale après deux éclaircies tardives et une coupe de chablis dans une plantation d'épicéas en Haute-Loire (Bois du Play, 1000-1100 m). La régénération qui apparaît à l'échelle de la forêt se décompose entre *Abies alba*, *Abies grandis*, *Picea abies* et *Pseudotsuga menziesii*. Le peuplement est âgé de 50 ans, la surface terrière est de 26 m²/ha, son volume marchand est de 280 m³/ha, et les deux coupes d'amélioration et la coupe de chablis ont prélevé 170 m³/ha au total.

Figure 57. : Schéma des différents outils permettant d'améliorer la prise en compte du changement climatique selon les gestionnaires forestiers d'Auvergne-Rhône-Alpes (Bertrand, 2018)

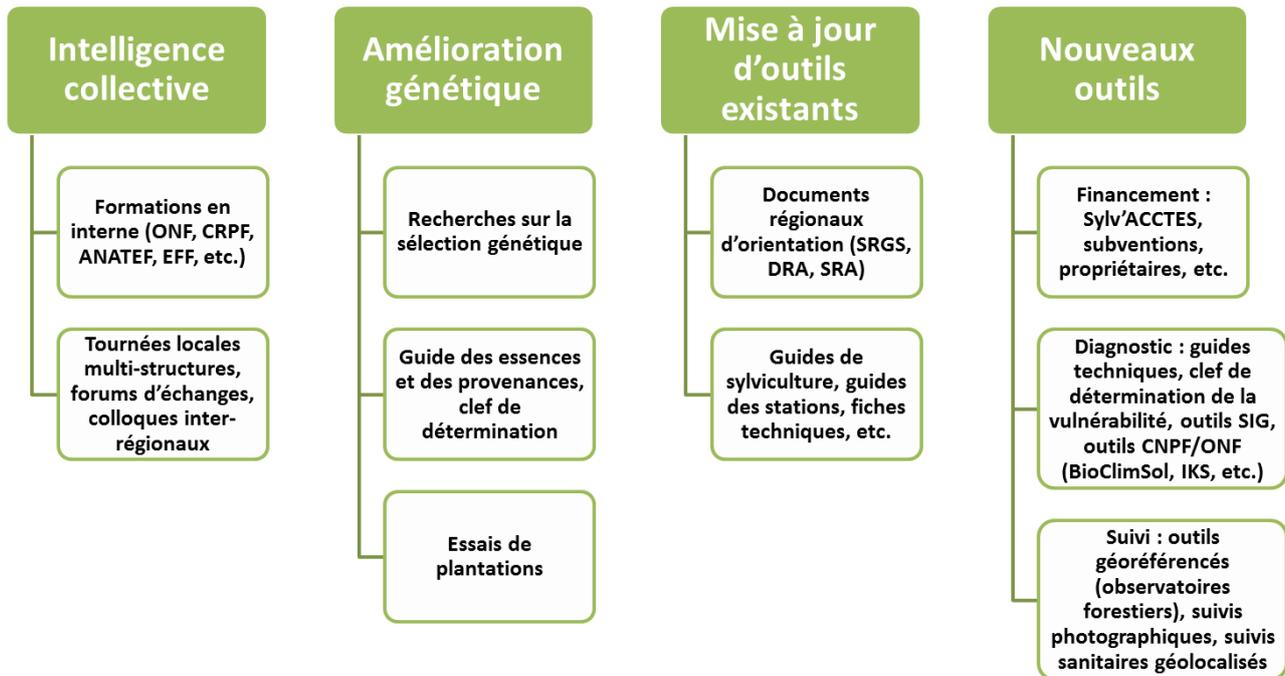
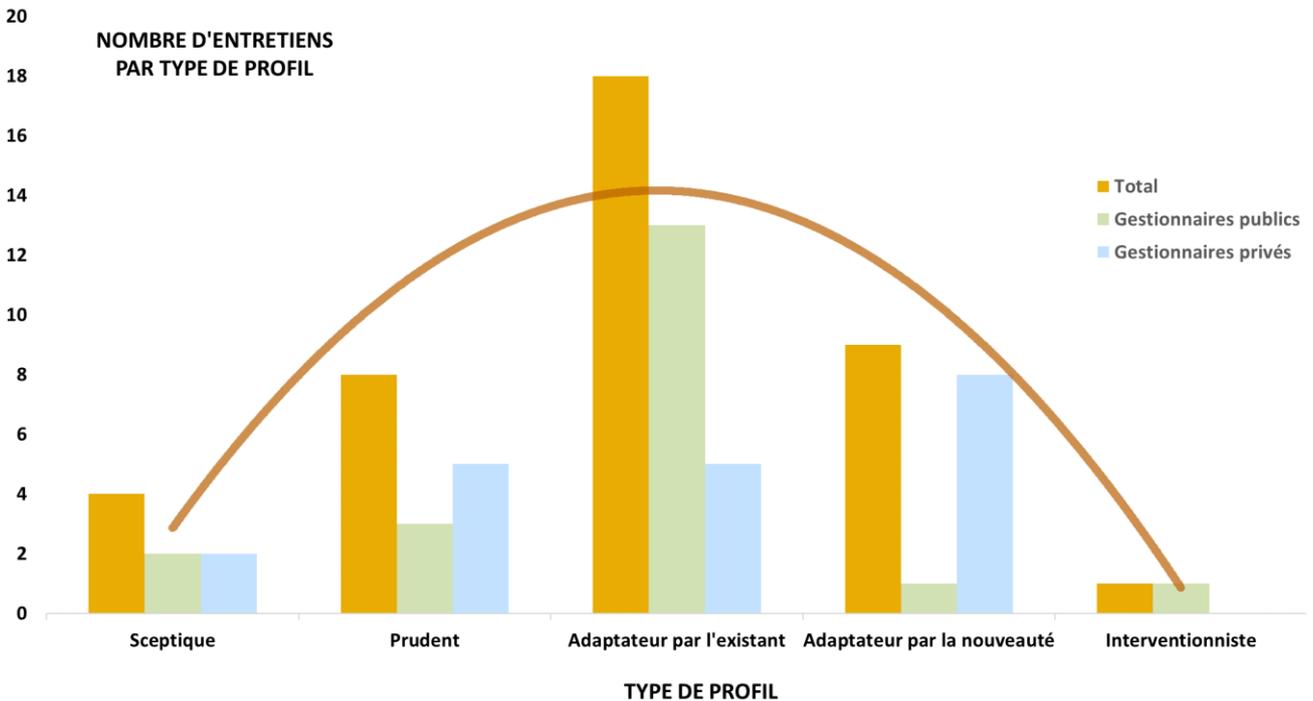
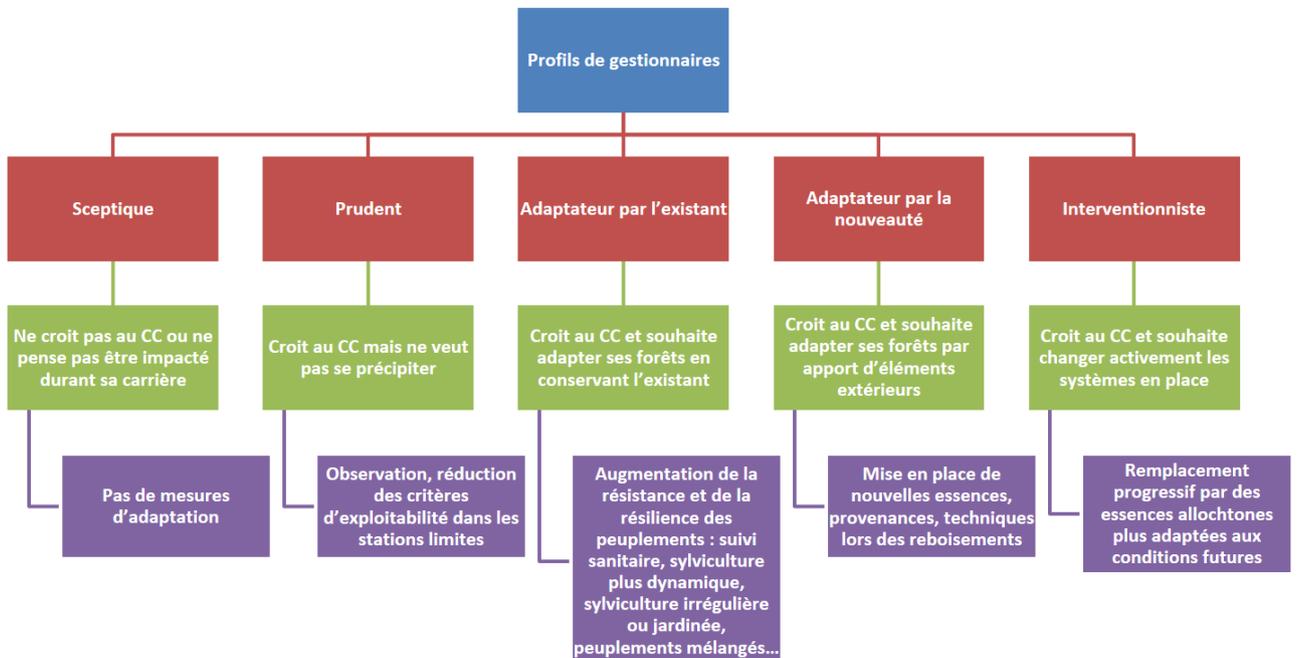


Tableau 4. Des points de vue différents pour chaque principe d'adaptation (Bertrand, 2018)

La typologie des mesures d'adaptation proposée en *figure 54*. a permis de classer les différentes mesures ayant reçu le plus de soutien de la part des gestionnaires. Toutefois, chaque mesure a été confrontée à des points de vue différents et souvent opposés, à l'exemple des mesures présentées dans ce tableau.

Mesure	Arguments favorables	Arguments défavorables
Sylviculture dynamique : éclaircies plus fortes, réduction des critères exploitabilité	Limitation de l'exposition aux risques Limitation des problèmes sanitaires sur les arbres âgés Adaptation à la hausse de croissance Réduction de la compétition pour l'eau Accélération de l'évolution naturelle	Simplification de l'écosystème Augmentation de la vitesse de croissance et de la production de bois de printemps, ce qui rend les arbres plus sensibles aux attaques sanitaires Perte de qualité (cas de l'éducation en futaie jardinée) Développement du sous-étage favorisant l'évapotranspiration
Mélange d'essences	Diversifier pour augmenter la résistance aux aléas et la résilience après perturbation Meilleure résistance aux pathogènes	Les essences sont associables et les monocultures sont plus simples à gérer
Sylviculture irrégulière	Diversifier pour augmenter la résistance aux aléas et la résilience après perturbation (e.g. reconstitution après tempête) Réduction de l'effet lisière, meilleure résistance au vent et aux pathogènes Maintien d'un couvert continu qui évite la perte d'ambiance forestière (fraicheur, hygrométrie) et les dégâts sur les parcelles voisines	La structure ne joue pas sur l'adaptation La futaie irrégulière est contre-nature et engendre des problèmes économiques dus au morcellement
Régénération naturelle	Diversifier pour augmenter la résistance aux aléas et la résilience après perturbation Réduction des coûts de régénération	Le changement climatique est trop rapide pour permettre une adaptation par la régénération naturelle ; il faut apporter de la génétique adaptée par plantation
Apport de patrimoines génétiques adaptés par plantation	Apport d'essences et de provenances mieux adaptées aux conditions stationnelles Rapidité de l'adaptation par rapport à la régénération naturelle Une large diversité d'essences n'a pas encore été explorée ou testée dans certaines stations : e.g. douglas, robinier, cèdre de l'Atlas, cèdre du Liban, calocèdre, sapins méditerranéens, épicéa du Caucase...	Coûts très élevés Résultats incertains (météo, gibier, comportement des essences allochtones...) Manque de connaissances et d'essais de plantations (i.e. recherche génétique et expérimentations) Problèmes de disponibilité en graines et en plants certifiés pour certaines essences et provenances (pépiniéristes)

Figure 59. : Classement des entretiens conduits dans les différents profils de gestionnaires identifiés en fonction de leur degré d'adaptation au changement climatique (Bertrand, 2018)



Principes généraux à adapter à chaque cas particulier de diagnostic par le gestionnaire, en intégrant différents paramètres : station, peuplement, état sanitaire, historique de gestion, enjeux locaux, moyens, etc.

FICHE DE RESUME

Théophile BERTRAND

Année 2017/2018

Confidentiel : Non

Thème : Recherche/Développement

Titre : La perception du changement climatique par les forestiers de montagne

Title: Perception of climate change by mountain foresters

Sous-titre : Etude menée dans le cadre du projet MACCLIF

Subtitle: Study conducted as part of the MACCLIF project

Mots-clefs : Gestion forestière – Sylviculture - Changement climatique – Zone de montagne

Key-words: Forest management – Silviculture – Climate change – Mountain area

Résumé :

Ce mémoire de fin d'études s'intègre dans le projet MACCLIF « Prise en compte des Mesures d'Adaptation au Changement CLimatique par les gestionnaires Forestiers », coordonné par le GIP ECOFOR avec le soutien financier du RMT AFORCE. Il vise à étudier la perception du changement climatique par les gestionnaires forestiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes, travaillant principalement en zone de montagne.

Pour ce faire, une enquête qualitative basée sur quarante entretiens semi-directifs a été conduite auprès de cinquante gestionnaires forestiers de l'ensemble de la région, tant en forêt publique (personnels de l'Office national des forêts) que privée (salariés de coopératives forestières, experts forestiers, gestionnaires forestiers indépendants, etc.). Celle-ci a été accompagnée d'une étude bibliographique et d'une analyse des différents documents de gestion durable en vigueur en Auvergne-Rhône-Alpes.

Les résultats ont permis de mettre en évidence les différentes stratégies d'adaptation sylvicoles mises en œuvre, mais également d'identifier des freins à l'adaptation. En outre, les processus décisionnels des forestiers ont été expliqués, et des profils de gestionnaires ont été caractérisés. Si les gestionnaires semblent globalement assez familiers du changement climatique, l'intégration effective de l'enjeu climatique dans la sylviculture est souvent difficile. Enfin, des pistes de réflexion ont été proposées afin d'améliorer la prise en compte du changement climatique dans la gestion forestière.

Summary:

This final thesis is part of the MACCLIF project "Consideration of adaptation measures to climate change by forest managers", coordinated by GIP ECOFOR with the financial support of RMT AFORCE. It aims to study the perception of climate change by forest managers in the Auvergne-Rhône-Alpes region, working mainly in mountain areas.

To do this, a qualitative survey based on forty semi-structured interviews was conducted with fifty forest managers throughout the region, both in public forests (National Forests Office staff) and private forests (forestry cooperative employees, forest experts, independent forest managers, etc.). This was accompanied by a bibliographic study and by an analysis of the various sustainable management documents in force in Auvergne-Rhône-Alpes.

The results underlined the different silvicultural adaptation strategies implemented, and also identified obstacles to adaptation. Furthermore, the decision processes of foresters were explained, and manager profiles were characterized. Even though managers seem to be quite familiar with climate change, the effective integration of climate issue into silviculture is often difficult. Finally, some areas for reflection have been proposed to improve consideration of climate change in forest management.

Nombre total de volumes : 1

Nombre total de pages du document principal : 138

Demandeur : Direction Territoriale Auvergne-Rhône-Alpes de l'Office National des Forêts