

Lignes directrices pour l'intégration de l'adaptation au changement climatique dans la gestion forestière pyrénéenne



I. Introduction	4
II. Objectifs	6
III. Portée	7
IV. Lignes directrices pour l'intégration de l'adaptation au changement climatique dans la gestion forestière	8
A. Politiques publiques et considérations générales	8
1. Orientations technico-économiques	8
2. Acquérir des connaissances sur l'impact du changement climatique sur les forêts	9
3. Renforcer les capacités d'anticipation et de gestion des risques	12
4. Développer et renforcer les réseaux, partager les connaissances	13
5. Faire évoluer les documents de gestion	13
B. Techniques sylvicoles mobilisables et adaptables	14
1. Les éclaircies et dépressages	14
2. Adaptation du diamètre d'exploitabilité	15
3. Choix des essences et provenances lors des plantations	15
4. Réduction du risque incendie	16
5. Diversifications	16
V. Conclusion	18
Bibliographie	19

Avril 2022

Auteurs : Raphaël DELPI (FORESPIR), Julie Pargade (CNPF), Emmanuel Rouyer (CNPF),
 Thomas Villiers (ONF), Sébastien Chauvin (FORESPIR), Vanesa Garcia (FORESPIR).
 Photos : FORESPIR, CRPF Occitanie, Naster, Sven Lachmann



I. Introduction

Les forêts sont multifonctionnelles. Elles jouent des rôles essentiels sur de nombreux domaines de notre vie, et de la vie de nos territoires : rôle économique en pourvoyant des emplois en zone rurale et du matériau bois, en accroissant l'attractivité de nos paysages donc du tourisme. Elles assurent également des fonctions environnementales tout aussi importantes, telles que la contribution au maintien de la biodiversité, le stockage de carbone, la régulation du cycle hydrologique, etc. Enfin, dans les secteurs montagneux tels que les Pyrénées, elles contribuent fortement à la prévention des risques naturels climatiques qui affectent les habitants et infrastructures (notamment avalanches, laves torrentielles, glissements de terrain).

Pour autant, la forêt est soumise à une pression liée au changement climatique. Les forestiers doivent faire face à un **haut niveau d'incertitudes**, d'autant plus importantes que l'horizon temporel de travail est éloigné. Si les effets du changement climatique sont à ce stade difficiles à quantifier précisément pour chaque territoire, les grandes tendances ressortant des différentes modélisations vont majoritairement dans la direction **d'une hausse des températures et d'un accroissement des périodes sèches**.

Ceci induit de nombreux risques pour la forêt pyrénéenne, car deux des principaux facteurs limitants abiotiques sont la disponibilité en eau et la température (donc le déficit hydrique).

Le changement climatique est déjà en cours et certains de ses effets sont déjà visibles. Il ne générera pas forcément des dépérissements massifs et directs, mais il induira une situation d'affaiblissement physiologique des arbres. Ils seront donc beaucoup plus vulnérables à un stress biotique ou abiotique qui, dans de bonnes conditions, aurait été surmonté sans difficulté majeure par les arbres. Face à un stress trop intense (ou une combinaison de plusieurs stress comme la sécheresse du sol et de forte chaleur par exemple) ou un stress qui se répète dans le temps, les forêts peuvent être très impactées, voire dépérir.

La dégradation de l'état des forêts a des conséquences en chaîne sur la totalité de ses fonctions.

Il est donc vital de prendre en compte dès aujourd'hui les impacts attendus du changement climatique sur les forêts du massif.

Si nous disposions de suffisamment de temps, un préalable serait **d'acquérir plus de connaissances fondamentales** sur l'impact du changement climatique sur les peuplements forestiers d'une part, et d'autre part sur l'activité forestière au sens large. Cependant, au vu de l'urgence, ce volet « amélioration de la connaissance » doit être mené de front avec les essais sur le terrain. Le financement de l'acquisition de ces connaissances est à ce jour majoritairement assuré par des dispositifs de court terme, lorsqu'il nécessiterait une vision stratégique à long, voire très long terme, semblable au pas de temps forestier.

La diffusion des connaissances acquises revêt également une importance particulière, afin de partager ces acquis, qui renforceront les connaissances des gestionnaires sur le fonctionnement de nos forêts et aiguilleront les forestiers et les responsables publics sur les mesures prioritaires à prendre.

Enfin, l'adaptation de la gestion des espaces forestiers face au changement climatique, volet pratique des préalables liés aux connaissances est également fondamentale. C'est cette adaptation qui est l'objet de la présente parution.



II. Objectifs

Dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique ¹, et plus précisément du projet INTERREG POCTEFA « ADAPYR », plusieurs lignes directrices sont élaborées afin de faciliter l'adaptation de différents secteurs d'activité pyrénéens aux impacts attendus du changement climatique. Le présent document concerne la gestion forestière.

En raison de la vulnérabilité des forêts pyrénéennes au changement climatique, les documents de gestion durable des forêts doivent intégrer des mesures d'adaptation permettant de garantir sa pérennité et sa multifonctionnalité.

Si les acteurs forestiers ont une sensibilité élevée à ce sujet majeur, il peut être difficile de décider des orientations concrètes une fois confronté au terrain.

L'objectif de la présente parution est donc de mettre à disposition un ensemble de recommandations issues d'essais sylvicoles conduits sur le massif des Pyrénées, et de l'expérience des opérateurs forestiers du territoire, au travers de trois grands axes :

- Mobiliser et adapter les techniques sylvicoles
- Renforcer les capacités d'anticipation et de gestion des risques
- Faire évoluer le cadre des documents de gestion

¹ <https://opcc-ctp.org>



III. Portée

Les gestionnaires forestiers, par nécessité, intègrent les incertitudes à leurs documents et décisions de gestion. Sans se substituer au gestionnaire de terrain, ni présenter un caractère exhaustif, le présent document a pour vocation de recenser et présenter des approches ou méthodes permettant de prendre en compte le changement climatique, ou à minima d'en atténuer les effets.

Une partie des recommandations s'adresse cependant à un niveau décisionnel relevant des politiques publiques, avec la nécessité de mettre en place les conditions institutionnelles nécessaires à l'adaptation. Les recommandations du présent document proviennent de deux principales sources.

La première est celle de différents projets forestiers, notamment conduits sur les Pyrénées, tels que CANOPEE et ACCLIMAFOR, qui permettent, à l'échelle du massif des Pyrénées, de développer de la connaissance sur l'impact du changement climatique sur les essences forestières, et de mettre en œuvre des opérations de gestion sylvicole adaptative.

Un réseau de parcelles et d'acteurs forestiers a donc été mis en place afin d'identifier et tester différents itinéraires sylvicoles, assortis de modélisations pour quantifier leur effet sur la disponibilité en eau.

La seconde est une consultation des acteurs forestiers pyrénéens au sens large, incluant notamment organismes de gestion forestière, institutions, entreprises de la filière, experts naturalistes, conduite d'avril à septembre 2021.



IV. Lignes directrices pour l'intégration de l'adaptation au changement climatique dans la gestion forestière

A. POLITIQUES PUBLIQUES ET CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Il ressort des connaissances et consultations des acteurs, différents grands principes nécessaires à l'adaptation des forêts. Ces derniers peuvent être répartis dans quatre catégories :

- Les orientations technico-économiques,
- L'acquisition de connaissances,
- Le renforcement des capacités d'anticipation et gestion des risques,
- L'évolution des documents de gestion.

1. Orientations technico-économiques

La majorité des acteurs pyrénéens consultés identifient la nécessité de **favoriser prioritairement la résilience des peuplements** par l'adaptation des traitements sylvicoles, ou l'utilisation d'essences autochtones, avant d'envisager des substitutions d'essences par migration assistée par exemple.

Cependant, il est impossible de connaître à l'avance l'efficacité des actions menées, et il est souvent nécessaire en gestion forestière d'avoir plusieurs décennies de recul pour savoir si les actions ont été pertinentes.

Pour cette raison, il est risqué de ne retenir qu'une seule stratégie, au risque d'orienter les forêts dans une impasse. Les forestiers ne peuvent pas se permettre de prendre ce risque, compte tenu des enjeux multifonctionnels. Plusieurs orientations différentes doivent être prises afin de s'assurer que plusieurs d'entre elles seront pertinentes, ce avant d'avoir le retour sur leur efficacité.

• Adapter les objectifs de gestion au contexte du peuplement (propriétaire, station, équilibre sylvo-cynégétique, contexte économique...)

Les objectifs de gestion sont établis à partir de nombreux facteurs, notamment les potentialités de la station, la situation sylvicole ou sanitaire du peuplement, la pression du gibier, l'implication du propriétaire.

L'équilibre économique fait également partie de ces facteurs, et peut parfois constituer un facteur limitant supplémentaire dans la gamme de réponses envisageables pour le maintien d'une forêt multifonctionnelle dans le contexte de changement climatique.

• Maintenir ou accroître le niveau d'expertise dans les capacités de diagnostic et de gestion.

Il ressort également de la consultation réalisée une difficulté prégnante d'ordre institutionnelle :

En effet, les organismes gestionnaires, souvent publics ou parapublics, subissent des baisses d'effectifs et/ou de budget. Le temps d'expertise et la connaissance fine de chaque forêt s'en trouve réduits. Dans un contexte où les incertitudes s'accroissent inexorablement, ces deux volets « humains », en complément des outils sylvo-climatiques, constituent l'une des meilleures réponses dont nous disposons pour limiter les difficultés d'adaptation.

• Mieux valoriser les initiatives remarquables

Toute initiative contribuant à la valorisation des bonnes pratiques et initiatives vertueuses devrait donc être soutenue, partagée, déployée. C'est le cas par exemple des démarches de label, de certification, de développement de l'usage et de la visibilité des bois locaux.

En effet, les démarches ayant pour objectif de valoriser l'usage du bois local dans une logique de bioéconomie circulaire contribuent à la fois à mettre en œuvre une gestion durable des forêts, à limiter le recours à l'utilisation de matériaux bois/dérivés d'importation par exemple (limitation du transport notamment), et à stocker durablement du CO₂ dans les produits bois issus d'une gestion forestière durable et multifonctionnelle.

2. Acquérir des connaissances sur l'impact du changement climatique sur les forêts

Le haut degré d'incertitude auquel les gestionnaires sont confrontés représente un immense défi. Si le changement climatique est indéniable, son intensité et ses conséquences restent imprécises.

Face à cette situation nouvelle, l'acquisition de connaissances est un enjeu particulièrement important. En effet, les changements en cours, extrêmement rapides à l'échelle de l'évolution naturelle, requièrent une connaissance accrue du comportement des essences forestières dans ces contextes nouveaux.

Les acquisitions de connaissances sur les essences forestières, le fonctionnement de l'écosystème forestier (cycle du carbone, de l'eau, interactions symbiotiques mutualistes...) et le changement climatique doivent être favorisées.

Sans caractère exhaustif, plusieurs directions peuvent être poursuivies :

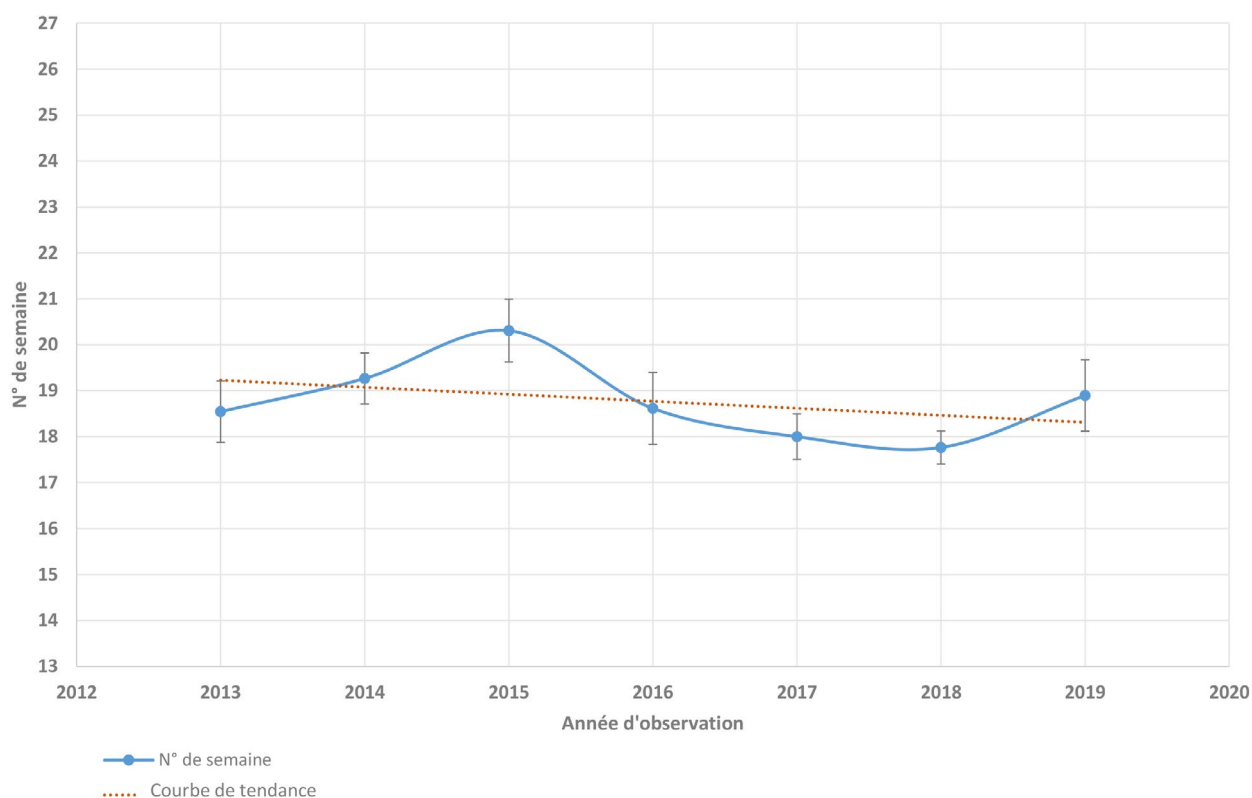
a. Poursuivre l'observation et l'analyse de l'impact du changement climatique sur les forêts pyrénéennes

Mesures de la phénologie

Observer ce processus en relevant les dates de débourrement des différentes essences du Massif au fil des années, permet de quantifier l'impact du changement climatique sur les forêts pyrénéennes. Ces observations permettent donc d'étudier cet impact sur le long terme.

Un réseau de suivi existe dans les Pyrénées : mis en place en 2013 dans le cadre du projet INTERREG de création de l'OPCC, ce dernier a été complété et enrichi par les projets CANOPEE, puis ACCLIMAFOR.

Évolution moyenne du débourrement - Placettes de *Fagus sylvatica* - ACCLIMAFOR - OPCC - CRPF Occitanie

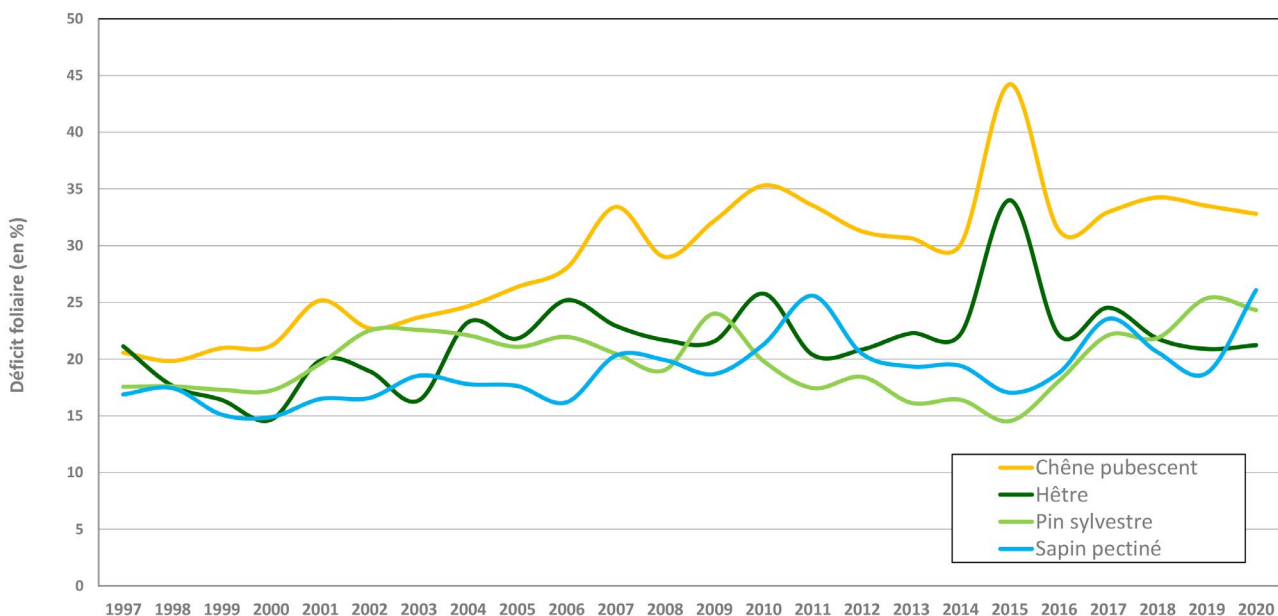


Mesures de l'état sanitaire

Le suivi de la défoliation permet d'identifier les tendances globales de l'état sanitaire des peuplements, à l'échelle du massif pyrénéen, mais également par essence ou zone géographique plus précise.

Le suivi des risques sanitaires est également important, car le changement climatique peut impliquer des changements très significatifs dans les présences et dynamiques des parasites et pathogènes, avec un impact fort sur les peuplements forestiers.

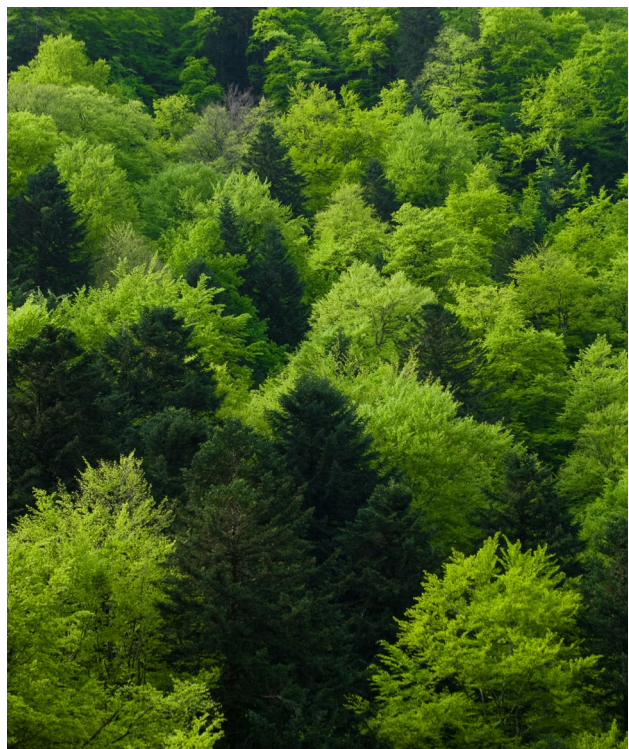
Évolution du déficit foliaire sur les 154 placettes pyrénéennes.
Données du réseau européen de suivi des écosystèmes forestiers - CRPF Occitanie



b. Suivre le réseau expérimental d'adaptation de la gestion au changement climatique sur le long terme

De tels dispositifs, pouvant porter sur les essences en elles-mêmes et leur réaction aux orientations sylvicoles, sur leurs cortèges floristiques, ou encore sur les compartiments écosystémiques qui leur sont inféodés ; permettront d'évaluer sur le long terme, l'évolution des peuplements et de leurs écosystèmes, afin de mieux adapter leur gestion.

Il est malheureusement fréquent, faute de transfert de connaissance, ou de financements à long terme, que les essais soient abandonnés précocement, sans suivis à moyen et long terme (pourtant nécessaire compte tenu du cycle sylvigénétique). Ceci constitue une perte de connaissances importante. Il convient donc, une fois qu'une orientation a été prise comme modalité d'essai, de la conduire suffisamment longtemps et de l'évaluer pour que les expérimentations apportent des résultats significatifs aidant à la prise de décision.



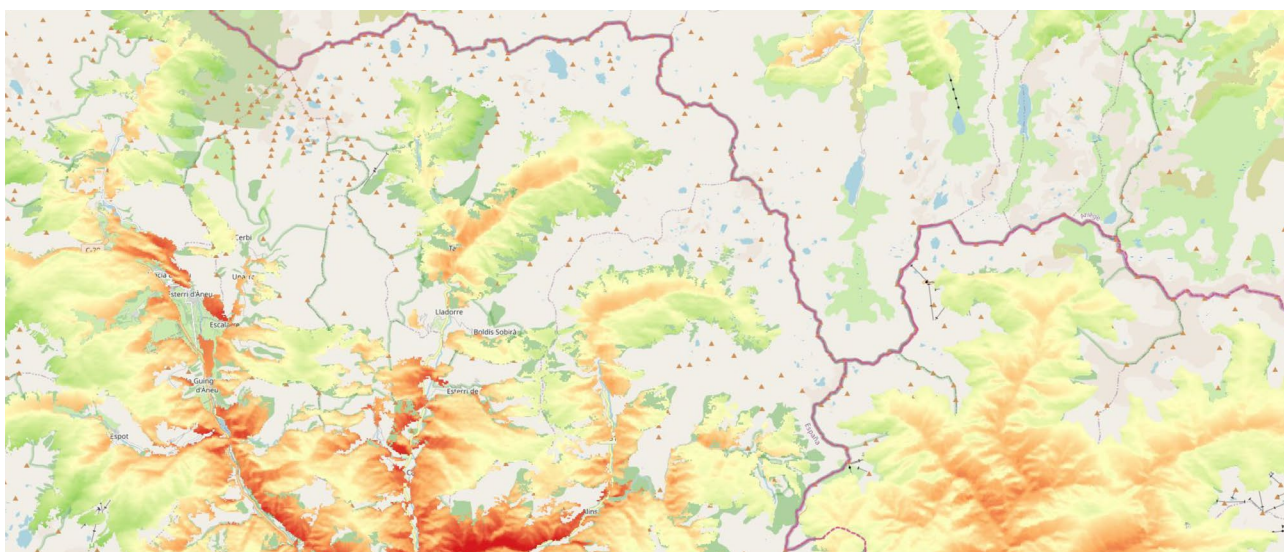
c. Développer les analyses climatiques régionalisées

Le développement de telles analyses représente un enjeu fort. En effet, ces dernières permettent notamment de mieux définir les conditions stationnelles actuelles et les éventuelles difficultés rencontrées par les peuplements ; mais également de modéliser l'évolution des peuplements dans différents scénarios climatiques.

Des premiers travaux ont été conduits sur le territoire Pyrénéens, ce fut notamment le cas des cartes de vigilance climatiques produites dans le cadre du projet CANOPEE ou encore le projet CLIMESSENCES.

Carte de Vigilance Climatique Relative. Abies alba, Région du Vall d'Aneu. Office National des Forêts, CANOPEE, 2019.

Capture d'écran issue du géoportail de l'OPCC : <https://opcc-ctp.org/fr/geoportail>



d. Créer et analyser les données sur la sensibilité des peuplements forestiers aux incendies

Les différentes régions des Pyrénées sont concernées à plus ou moins fort degré par le risque incendie, avec un enjeu particulièrement fort sur la partie orientale du massif.

Les modélisations montrent une tendance à l'augmentation de la durée et de l'intensité des périodes sèches.

Cette évolution, couplée à une augmentation de la combustibilité des milieux forestiers, entraîne un risque accru d'incendies en milieux forestiers.

Les données sur le risque incendie devraient ainsi être relevées ou complétées lorsque nécessaire, compilées, analysées à l'échelle du massif.

Les analyses par télédétection peuvent à ce titre fournir une information pertinente pour un coût réduit.



3. Renforcer les capacités d'anticipation et de gestion des risques

La forêt a un lien fort avec la gestion des risques naturels : d'une part elle en protège (avalanches, laves torrentielles, chutes de blocs...), mais elle y est également exposée (problèmes sanitaires, incendies...). Le changement climatique peut avoir un impact substantiel sur les risques que subit la forêt, tant sur les volets biotiques qu'abiotiques.

Trois aspects doivent être traités pour permettre une meilleure adaptation au changement climatique :

a. Risques sanitaires

Bien que les Pyrénées aient un rôle de barrière Nord/Sud, certains ravageurs parviennent à migrer, dans un sens ou dans l'autre.

Certains de ces risques sanitaires, tels que le scolyte, la rouille, ou la chalarose peuvent avoir des impacts conséquents sur la forêt, et provoquer des dépérissements rapides et massifs.

Il est donc important de mettre en place un système d'alerte sanitaire partagé entre la France, l'Espagne et l'Andorre. Côté français, un tel réseau pourrait s'appuyer

sur les correspondants observateurs « santé des forêts » déjà actifs sur les territoires. En Espagne, les entités en charge du suivi sanitaire des forêts de chaque Communauté Autonome seraient les interlocuteurs idoines d'un tel dispositif d'échanges sur les méthodes et pratiques mais également sur les problématiques rencontrées régionalement. Il en va de même pour la Principauté d'Andorre qui dispose également d'un réseau d'observation de la santé des forêts.

b. Risques incendie

• Développer l'action préventive

L'action préventive, ou adaptative, peut ici être une partie des réponses. La notion de « forêt mosaïque », assurant une diversité à différentes échelles peut constituer l'une d'elles.

À l'exception des régions orientales de la chaîne montagneuse, les forêts pyrénéennes ont subi des incendies de dimensions relativement limitées. Les typologies de feu et les périodes à risques diffèrent également d'un territoire à l'autre (feux estivaux vs feux hivernaux issu de la pratique des écobuages notamment).

Comme évoqué dans le paragraphe dédié à la réduction du risque incendie, il est nécessaire, là où le risque est identifiable, de procéder à sa gestion préventive.



• Renforcer la culture du risque incendie

La faible exposition aux incendies de certains territoires pyrénéens induit de renforcer une culture générale « feux de forêts », y compris dans les activités à risque. Il est nécessaire de développer cette culture du risque, ainsi que de développer des actions dans les interfaces forêts/habitat et forêt/zones d'activité économiques qui peuvent être à l'origine de départ de feux.

4. Développer et renforcer les réseaux, partager les connaissances

Cet item est transversal. Il concerne tous les sujets scientifiques et techniques abordés plus haut.

De nombreux forestiers mettent en place des essais, acquièrent des connaissances sur des thématiques, enjeux, techniques directement ou indirectement liés au changement climatique.

Ces enjeux sont souvent partagés par d'autres gestionnaires à l'échelle du massif, qui n'ont pas forcément accès à ces informations et connaissances. Il convient donc de renforcer et structurer les échanges entre acteurs afin de faciliter la circulation des connaissances.

A titre d'exemple, ces échanges pourraient aussi bien concerner des fiches espèces, leurs optimums écologiques, les risques associés, les méthodes de gestion, ou encore la mise en réseau des systèmes d'alerte sanitaire des différents pays.

Ces partages de connaissances, recherches conjointes entre pays, régions, organismes, prennent tout leur sens dans la coopération transfrontalière, transnationale, internationale.

En effet, de nombreuses connaissances sont d'ores et déjà disponibles. Le regard extérieur d'experts d'autres territoires sur les pratiques peuvent permettre de réelles avancées.

De tels axes de travail sont très favorables à nos capacités adaptatives en mutualisant les connaissances, en favorisant les échanges, en diversifiant les expériences et points de vue. Les dispositifs favorisant ces travaux permettent d'unir nos forces sur tous les enjeux liés au changement climatique.

5. Faire évoluer les documents de gestion

Les documents de gestion forestière jouent un rôle de premier plan dans les possibilités laissées au gestionnaire pour prendre des décisions de gestion adaptative.

Si, dans l'ensemble, les questions liées au changement climatique sont représentées dans les documents cadres, des aménagements pourraient être introduits afin de faciliter la gestion adaptative. Il ressort notamment un enjeu fort sur la temporalité des documents de gestion. Si cette vision de long terme reste essentielle, elle peut parfois limiter la réactivité en cas d'incident ou d'évolution défavorable rapide.

Par ailleurs, les incertitudes allant augmentant, il est essentiel de maintenir un fort niveau d'analyse, donc de temps humain dans l'élaboration des documents. En effet, le contexte actuel nécessite le recours à une expertise de plus en plus approfondie, à des outils spécialisés et implique d'intégrer l'incertitude dans les choix de gestion.

Au-delà de l'importance de maintenir des objectifs de gestion à long terme, cette expertise pourrait notamment développer davantage l'exploration des situations de crise, afin d'anticiper autant que possible d'éventuelles nécessités de prélèvements urgents (déperissements, tempêtes,...).

En effet, les prélèvements réalisés en urgence sont souvent coûteux et difficiles à rattraper en termes sylvicoles, en plus de générer une certaine incompréhension vis-à-vis des populations. Une plus forte anticipation de ces risques nouveaux pourrait permettre de limiter l'ampleur de leurs conséquences.

Par ailleurs, un point de vigilance a été mis en avant par les acteurs consultés, en ce qui concerne notamment certains sites Natura2000 forestiers, et des objectifs de gestion conservatoire avec maintien de l'habitat via son cortège floristique. Dans certains cas, cela peut sembler hors d'atteinte, non seulement en raison de la fragilité des essences dominantes actuelles face au changement climatique, mais également car les associations d'espèces pourraient en être perturbées. En effet, chacune d'entre elles prises individuellement n'a pas la même résistance ou résilience face au changement climatique.

Ces sites doivent faire l'objet d'une analyse approfondie, afin de s'assurer que le maintien de l'habitat en l'état est compatible avec les évolutions climatiques.

B. TECHNIQUES SYLVICOLES MOBILISABLES ET ADAPTABLES

Différents essais sylvicoles sont menés dans le cadre de projets, d'essais individuels de propriétaires ou gestionnaires forestiers, de réseaux de travail.

Ces travaux participent à acquérir une connaissance essentielle à notre capacité d'adaptation.

Par ailleurs, au vu de l'étendue des connaissances à acquérir, il est fondamental de continuer à acquérir une connaissance opérationnelle par le développement d'essais, et leur instrumentation, au-delà de ceux qui sont actuellement menés. Les techniques ici développées ne présentent pas de caractère exhaustif, mais relèvent plutôt d'un instantané des connaissances locales identifiées.

Les principales techniques de gestion sylvicoles identifiées dans les travaux pyrénéens sont des outils usuels des gestionnaires forestiers, mais qui peuvent être mobilisés avec des intensités ou des objectifs différents.

Les opérations décrites ci-dessous sont des synthèses issues du Guide de gestion forestière pour l'adaptation au changement climatique des forêts pyrénéennes, (COLL, et al., 2019) édité dans le cadre du projet CANOPEE. Il est consultable pour plus de détails sur les essais menés, leurs fondements techniques et scientifiques, ainsi que leurs résultats et préconisations détaillées.

1. Les éclaircies et dépressages

Dans le cadre de la gestion adaptative, les éclaircies peuvent être mobilisées dans des registres parfois différents de leurs usages courants. Dans le cadre d'une adaptation au changement climatique, elles viseront à renforcer un ou plusieurs des objectifs sylvicoles suivants (GARCÍA-GÜEMES & CALAMA, 2015) :

- Augmentation de la diversité inter et intraspécifique afin de développer la résistance, la résilience et la capacité adaptative des peuplements
- Augmentation de la diversité structurale. En effet, selon les âges et dimensions individuelles, la sensibilité aux stress biotiques et abiotiques est différente.
- Augmentation de la résistance individuelle aux agents biotiques et abiotiques : chaque arbre conservé pouvant se développer plus librement et avec un niveau de stress bien inférieur à une situation de concurrence, il est dans de meilleures conditions physiologiques donc plus apte à réagir à un stress.
- Promotion/accélération de changements de structures ou d'essences. Particulièrement adapté en cas d'essence-objectif en limite basse d'aire de répartition.





2. Adaptation du diamètre d'exploitabilité

Cette opération vise à répondre à une vulnérabilité au stress hydrique accrue chez les arbres plus âgés, donc de diamètre plus important. Elle peut s'envisager dans deux cas principaux :

- Dépérissements constatés ou prévisibles, sans remettre en question l'essence-objectif ;
- Nécessité de remettre en question l'essence-objectif, mais avec une limitation technique ou financière pour remplacer cette essence-objectif.

Pour établir plus précisément l'adaptation de ce diamètre, se référer au Guide de gestion adaptative (COLL, et al., 2019). Ceci n'enlève en rien l'importance de maintenir et/ou favoriser plusieurs gros/vieux arbres porteurs de dendromicrohabitats, importants pour la biodiversité.

3. Choix des essences et provenances lors des plantations

Chaque espèce végétale est adaptée à une niche écologique spécifique, définie notamment par des conditions édaphiques, thermiques et hydriques déterminées (PIEDALLU C. G., 2013 / 2016). Une plasticité plus ou moins importante de l'espèce existe, avec des variabilités phénotypiques et physiologiques.

Pendant, dans certains cas, il est à ce jour impossible de savoir si la plasticité des espèces principales ou

secondaires d'un peuplement suffira à couvrir la variation de changement climatique dans de bonnes conditions physiologiques.

Dans ces cas, il peut être envisagé d'agir sur le choix des provenances, voire des espèces, lors des plantations. L'intérêt du choix d'une provenance adaptée fait consensus.

En revanche la migration assistée, actuellement sujette à débats, peut être appliquée à différents degrés, en fonction de la proximité des écosystèmes originels de ces espèces. Dans tous les cas, une approche limitant autant que possible les risques principaux, à savoir un caractère envahissant, ou un risque d'hybridation avec des populations végétales locales doit être appliquée.

Pour une bonne réussite de ces migrations, il est nécessaire de disposer de connaissances robustes sur :

- l'autécologie des essences et les paramètres influant leur distribution (PIEDALLU C. G., 2013)
- une analyse précise des causes de mortalité et la part attribuable au changement climatique (TACCOEN, et al., 2019)
- les projections climatiques ; celles pour la fin du siècle restant incertaines, il est plus raisonnable de se baser sur les prévisions à moyens termes : 2030-2060

Afin de pouvoir substituer une essence initialement objectif et qui serait en situation d'échec, il est préconisé, de manière générale, de favoriser des peuplements mélangés (COLL, et al., 2019).

4. Réduction du risque incendie

Comme vu précédemment, l'augmentation des températures et des périodes sèches est prévisible. Or, « *Les zones de montagne comme les Pyrénées seront plus vulnérables et exposées à un régime d'incendies plus important que l'actuel. L'inflammabilité de la végétation et la période de sensibilité au feu augmenteront et, par conséquent, on peut s'attendre à des incendies plus fréquents, étendus et intenses.* » (COLL, et al., 2019).

En conséquence, bien que les Pyrénées soient à ce jour moins affectés par les incendies que la zone méditerranéenne, ils y sont plus vulnérables, notamment du fait de leur composition spécifique et du risque de dégradation de la fertilité des sols. Leur capacité de récupération sera donc moindre, ce qui peut poser d'importants problèmes, en particulier sur les forêts de protection contre les risques.

Les actions d'atténuation des incendies de forêt consistent à réduire les quantités de combustible et leur continuité horizontale et verticale, car elles ont une incidence importante sur le comportement de l'incendie (intensité et vitesse de propagation), essentiellement au travers des défrichages de sous-bois, d'éclaircies et dépressages, d'élague des arbres.

5. Diversifications

Les traitements de diversification visent à augmenter la complexité de la forêt, entendue comme diversité, à petite échelle, de compositions (peuplements mixtes), et de structures en dimension verticale (strates) et horizontale (mosaïques).

Un système forestier complexe et riche en biodiversité est considéré plus résilient et résistant aux perturbations liées au changement climatique (STEPHENS, MILLAR, & COLLINS, 2010) (PUETTMANN, 2011) car il promeut l'émergence de réponses adaptatives capables de faire face à l'incertitude associée au changement climatique (MESSIER & PUETTMANN, 2011).

Diversification. La diversification requiert d'introduire une ample diversité dans les forêts, à tous les niveaux :

- **Diversification génétique** : Dans une même essence, on cherche la diversité maximale des provenances locales, productives et adaptables, qu'elles soient d'essences autochtones ou acclimatées. Encouragement de l'adaptation génétique (adaptation in situ et migration).
- **Diversification d'essences** : Dans une communauté, on favorise les mélanges d'essences arborées dominantes et on les maintient ou on introduit même, dans des plantations ou régénérations naturelles, les essences du sous-bois. Augmentation de la complexité du peuplement général et de la diversité structurelle verticale (strates).
- **Diversification structurelle** : Dans une communauté, on augmente le nombre de strates du peuplement (structure verticale) ou, à l'échelle du paysage, on promeut l'apparition de différentes communautés ou mosaïques (structure horizontale).

En plus de ses effets sur la biodiversité et sur l'adaptation des forêts au changement climatique, la diversification peut aussi avoir des effets économiques positifs, en accroissant potentiellement la capacité à faire face aux fluctuations du marché et en ouvrant l'accès à des secteurs du marché spécialisés en bois de qualité et produits autres que le bois. Elle sert aussi à améliorer le paysage et la fonction touristique des forêts.



V. Conclusion

Le changement climatique en cours implique de questionner nos connaissances, nos pratiques, afin de palier au mieux à ces évolutions, brutales à l'échelle temporelle de la forêt, mais à long terme vu de l'échelle humaine.

De nombreuses décisions doivent être prises dès aujourd'hui afin d'anticiper, et de limiter les risques au sein du large éventail possible de situations climatiques futures dans les Pyrénées.

Ces décisions, pour être efficaces, doivent pouvoir s'appuyer sur un ensemble de connaissances fondamentales et empiriques, qu'il reste pour beaucoup à acquérir.

L'acquisition et la diffusion de connaissances, à coopération et le maintien d'un niveau suffisant d'expertise dans le domaine forestier représentent donc des enjeux sur lesquels nous ne pouvons faire l'impasse.

Chacune des directions développées dans ce document doivent être poursuivies et enrichies, afin d'assurer la pérennité des écosystèmes forestiers et de leur multifonctionnalité.



Bibliographie

- COLL, L., DELPI, R. B., CAMARERO MARTINEZ, J., DE CÁCERES, M. C., CANTERO AMIANO, A., CERVERA ZARAGOZA, T., NAVARRO PEREZ DE PIPAÓ, L. (2019). Guide de gestion forestière pour l'adaptation au changement climatique des forêts pyrénéennes. Toulouse : FORESPIR.
- GARCÍA-GÜEMES, C., & CALAMA, R. (2015). La práctica de la silvicultura para la adaptación al cambio climático", edit. M.A. Zavala, Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático : Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. Madrid : Ed. Ministerio para la Transición Ecológica.
- MESSIER, C., & PUETTMANN, K. (3 de 2011). Forests as complex adaptive systems : implications for forest management and modelling. *L'Italia Forestale e Montana*(66), págs. 249-258.
- PIEDALLU, C. G. (2013). Soil water balance performs better than climatic water variables in tree species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography* 22, 470–482. doi : 10.1111/geb.12012.
- PIEDALLU, C. G. (2016). Soil aeration, water deficit, nitrogen availability, acidity and temperature all contribute to shaping tree species distribution in temperate forests. *Journal of Vegetation Science* 27 (2).
- PUETTMANN, K. (6 de 2011). Silvicultural challenges and options in the context of global change : simple fixes and opportunities for new management approaches. *Journal of forestry*(109), págs. 321-331.
- STEPHENS, S., MILLAR, C., & COLLINS, B. (2010). Operational approaches to managing forests of the future in Mediterranean regions within a context of changing climates. *Environmental Research Letters*, 5, págs. 1-9.
- TACCOEN, A., PIEDALLU, C., SEYNAVE, I., PEREZ, V., GÉGOUT-PETIT, A., NAGELEISEN, L., & BONTEMPS, J. (2019). Background mortality drivers of European tree species : climate change matters. *PROCEEDINGS OF ROYAL SOCIETY B*, 286.



Annexe 1

Prise en compte du changement climatique dans les documents d'orientation français

Nom du document	Échelle géographique	Prise en compte du changement climatique
Programme National de la Forêt et du Bois	Nationales	Conjuguer atténuation et adaptation des forêts au changement climatique. Intégration de la gestion durable et multifonctionnelle des forêts comme Solution fondée sur la Nature pour l'adaptation au changement climatique.
Plan Pluriannuel Régional de Développement forestier	Région Aquitaine	Nécessité de dynamiser la sylviculture et la mobilisation des bois pour répondre aux enjeux économique et de changement climatique
Programme régional de la forêt et du bois	Région Nouvelle-Aquitaine	Innover pour adapter les sylvicultures et compléter les connaissances dans le domaine de l'adaptation des forêts au changement climatique. Définir des itinéraires sylvicoles adaptés.
Schéma Régional de Gestion Sylvicole - Aquitaine	Région Nouvelle-Aquitaine	Prise en compte de la perspective du réchauffement climatique dans les besoins en eau de la forêt et dans toute autre décision forestière (les actes de gestion forestière doivent être analysés à long terme)
DNAG/ONAG	Nationales	Production ligneuse : adaptation de la gestion forestière aux changements climatiques avec une sylviculture dynamique pour produire des peuplements plus stables. Fonction écologique : dans le contexte des changements climatiques, s'attacher à la conservation de la diversité génétique et aux possibilités de migration des espèces (maintien de continuités écologiques)

Nom du document	Échelle géographique	Prise en compte du changement climatique
DRA/SRA Montagnes pyrénéennes	Régions forestières concernées : Pays de Sault, Cerdagne, Capcir, Conflent, Vallespir	La tendance au réchauffement climatique devra être prise en compte dans le choix des essences objectif et des critères d'exploitabilité
DRA/SRA Forêts Pyrénéennes	Région forestière des Pyrénées centrales : Sud-Ouest Aquitaine et Midi-Pyrénées	Des changements climatiques pourraient entraîner des sécheresses estivales plus sévères et des aléas météorologiques, sont à tenir en compte dans la préservation de la biodiversité forestière afin d'éviter l'érosion génétique des essences spontanées héritée de siècles de sélection naturelle garantissant leur adaptabilité au cours de l'évolution. • Privilégier l'adaptabilité des essences forestières aux conditions environnantes et sur le long terme • La régénération naturelle : favoriser la diversité génétique • Santé des forêts : favoriser les essences les mieux adaptées
Programme régional de la forêt et du bois	Région Occitanie	• Fiche 1.2 : Modélisation du CC • Fiche 1.3 : Mettre en œuvre des sylvicultures diversifiées, adaptatives et plus dynamiques • Fiche 1.4 : Stratégie et feuille de route en matière de plantation/régénération naturelle • Fiche 4.3 : Conforter le rôle de protection des forêts vis-à-vis des risques en montagne • Fiche 4.6 : Assurer une politique de prévention et de lutte ciblée contre les risques sanitaires

Annexe 2

Prise en compte du changement climatique dans les documents d'orientation espagnols

Nom du document	Échelle géographique	Prise en compte du changement climatique
Ley de Montes	Nationale	Parmi les principes qui inspirent cette loi : • Adaptation des forêts au changement climatique par la promotion d'une gestion visant la résilience et la résistance des forêts au changement climatique. • la prise en compte des forêts en tant qu'infrastructures vertes pour améliorer le capital naturel et leur prise en compte dans l'atténuation du changement climatique.
Projet de gestion forestière / Plan de base de gestion des forêts aragonaises.	Communauté autonome d'Aragon	L'atténuation du changement climatique et le piégeage du CO2 sont des objectifs primordiaux de la gestion et de la planification.
Plan de actuaciones forestales de terrenos privados	Communauté Forale de Navarre	
Agenda forestier de Navarre	Communauté Forale de Navarre	Le changement climatique et les risques naturels constituent un axe stratégique.
Plan général Comarca Pyrénéenne	Comarca Pyrénéenne de Navarre	Plan général de gestion forestière de la comarca pyrénéenne pour les forêts publiques et privées, avec indication des critères et recommandations de gestion.
Plan général Comarca Cantabrique	Comarca Cantabrique de Navarra	Plan général de gestion forestière de la comarca cantabrique pour les forêts publiques et privées, avec indication des critères et recommandations de gestion.
Plan forestier de Navarre	Navarre	• Considération des systèmes forestiers comme des fixateurs majeurs de CO2 atmosphérique. • Nécessité de maintenir la capacité des forêts à s'adapter au changement climatique en s'appuyant sur la biodiversité qu'elles contiennent, et en gérant de manière ciblée les facteurs de résilience par des techniques sylvicoles.

Nom du document	Échelle géographique	Prise en compte du changement climatique
Plan Forestier	Pays Basque	Prise en compte des écosystèmes forestiers dans le contrôle de l'érosion qui peut être aggravée par les changements climatiques.
Plan Général de Politique Forestière	Catalogne	La portée d'application de ce PCPF est la totalité des terrains forestiers de Catalogne.
Instruments de planification forestière	Catalogne	Les OIF doivent remplir différents objectifs : résistance et résilience aux perturbations et aux effets du changement global, gestion pour une utilisation efficace des ressources en eau, gestion pour minimiser les processus érosifs, gestion pour la conservation de la biodiversité et du patrimoine naturel forestier, gestion pour l'amélioration des peuplements forestiers contre le GIF et pour la prévention des incendies, et autres.

Annexe 3

Prise en compte du changement climatique dans les documents d'orientation andorrans

Nom du document	Échelle géographique	Prise en compte du changement climatique
Loi 7/2019, du 07 février, de conservation de l'environnement, de la biodiversité et du paysage.	Andorre	Titre V. Gestion des peuplements forestiers Article 36 : Principaux généraux 1. Les principes à appliquer dans la gestion des massifs forestiers sont la conservation de la biodiversité et du paysage, l'amélioration ou le maintien du niveau d'évolution de sa végétation, la non-réduction à l'échelle nationale, le renforcement de la capacité de séquestration du carbone dans le cadre de la lutte contre le changement climatique et l'utilisation durable comme source de biomasse ; en plus de son rôle de protection contre les risques naturels. L'intérêt public prévaut dans tous les cas sur l'intérêt privé.

Contributeurs



Partenaires du projet OPCC ADAPYR



Servei Meteorològic de Catalunya



Station d'écologie Théorique et Expérimentale



Cofinanceurs



FORESPIR
23 Bis Boulevard Bonrepos - 31000 Toulouse (France)
+33 (0)5 34 41 43 20 - geieforespir@forespir.com