CONCLUSION GÉNÉRALE

Vers une stratégie nationale d'adaptation des forêts au changement climatique ?

Jean-Luc Peyron[1]

Ingénieur général honoraire des ponts, des eaux et des forêts
Membre de l'Académie d'agriculture de France, 75007, Paris, France

Auteur correspondant : jean.luc.peyron@gmail.com

Vers une stratégie nationale d'adaptation des forêts au changement climatique ?

L'adaptation des forêts revêt une grande importance pour faire face au réchauffement climatique et pour prévenir les crises susceptibles de se produire. Elle constitue également un préalable à l'atténuation du changement climatique par la filière forêt-bois et au maintien de la fourniture des autres services écosystémiques ; cette multifonctionnalité des forêts participant aussi de l'adaptation. Une véritable stratégie d'adaptation des forêts est nécessaire en métropole et outre-mer pour encadrer les choix sylvicoles relatifs aux peuplements actuels et futurs, pour anticiper les tendances et les crises associées, pour expliciter les relations entre les parties prenantes inquiètes des bouleversements créés aussi bien directement par le changement climatique qu'indirectement par l'adaptation de la gestion à ces circonstances nouvelles. Enfin, il est attendu d'une telle stratégie qu'elle dimensionne les moyens à la hauteur des enjeux.

Messages clés :

- L'adaptation des forêts est indispensable pour faire face au changement climatique.
- Elle doit permettre de maintenir tous les services écosystémiques.

Mots clés : changement climatique, risques, adaptation, atténuation, politiques publiques

Toward a national strategy of forest adaptation to climate change?

Forest adaptation is of prime importance to face up with climate warming and prevent likely resulting crises. It is also a prerequisite for the mitigation of climate change by the wood-forest sector and the maintenance of the provision of other ecosystem services; this multifunctionality of forests is also part and parcel of adaptation. A true strategy aimed at the adaptation of forests is required in mainland and overseas France to i) provide a framework of forest management choices for present and future stands, ii) anticipate trends and the related crises, iii) clarify the relationships between stakeholders worried about diverse deep changes resulting directly from climate change and indirectly from the adaptation of management practices to these new circumstances. Finally, such a strategy is expected to scale up means to the level of the different stakes.

Highlights:

- Adaptation of forests is indispensable to face climate change.
- It must maintain all ecosystem services.

Keywords: climate change, risks, adaptation, mitigation, public policies

Citation de l'article : Peyron, J.L. (2023). Vers une stratégie nationale d'adaptation des forêts au changement climatique ? *Revue forestière française*, 74 (2 « Ateliers ReGeFor 2020. Forêts en crise : relevons le défi ! »), 323-332. https://doi.org/10.20870/revforfr.2023.7616

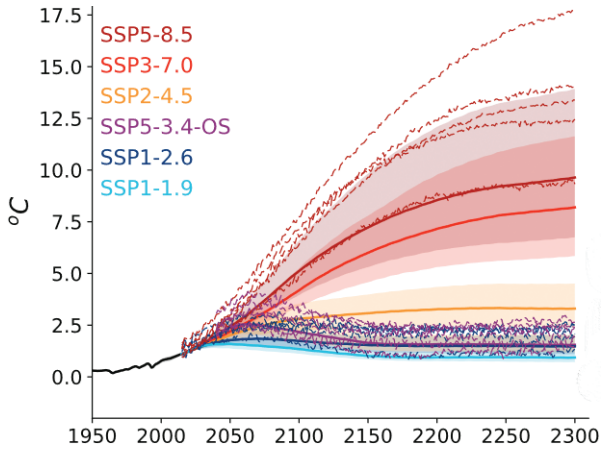
Licence Creative Commons
Attribution - 4.0 International (CC BY 4.0)

UN CONTEXTE CLIMATIQUE FUTUR TRÈS INCERTAIN

Les projections synthétisées par le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) reposent sur un ensemble de scénarios et de modèles climatiques qui montrent, en particulier, tout un spectre de températures futures, d'autant plus large que l'horizon temporel est éloigné. L'incertitude qui en résulte apparaît sous la forme de faisceaux de courbes traduisant la variabilité des modèles et l'effet des différents scénarios. Les projections communément publiées sont faites à l'horizon 2100. Mais il en existe qui vont au-delà et sont particulièrement utiles du point de vue forestier pour lequel un horizon aux années 2150 ou 2200 est plus approprié, au moins pour certaines essences (figure 1, ci-dessous). Les différents scénarios sont désignés par leur intensité de renforcement de l'effet de serre à l'horizon 2100 (de 1,9 à 8,5 watts/mètre carré sur la figure 1) et par une des trajectoires socioéconomiques partagées (SSP pour « *shared socio-economic pathway* ») qui permettent ce renforcement (SSP 1 à 5).

Figure 1 | Climat passé et projections à très long terme de la température moyenne de surface (continents et océans) pour six scénarios de réchauffement dépendant de la trajectoire socioéconomique partagée (SSP 1 à 5) ainsi que du forçage radiatif de l'effet de serre en 2100 (1.9 à 8.5 W/m²) et pour 45 modèles au total

Source : 6e rapport d'évaluation du GIEC (IPCC, 2021, WGI, chap. 4, fig. 4.40, p. 632).



Les scénarios SSP1-1.9 et SSP1-2.6 peuvent être considérés comme conformes à l'Accord de Paris qui vise à « *[contenir] l'élévation de température moyenne de la planète nettement en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels et [poursuivre] l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels […]* » (article 2.1.a ; Nations Unies, 2015).

Mais pour l'instant, la somme des contributions déterminées au niveau national par chacun des États est bien en dessous des objectifs collectifs de l'Accord de Paris (UNEP, 2021) : elle revient à réduire les émissions de gaz à effet de serre projetées pour 2030 de 7,5 % seulement alors qu'il faudrait les réduire de 30 % pour limiter le réchauffement à 2 °C (comme le scénario SSP1-2.6 de la figure 1) et de 55 % pour le limiter à 1,5 °C (comme le scénario SSP1-1.9). Les engagements fermes des États conduiraient ainsi à un réchauffement de l'ordre de 2,7 °C en 2100, ce qui correspond peu ou prou au scénario SSP2-4.5 de la figure 1. Des abattements supplémentaires sont esquissés, qui pourraient permettre de réduire ce réchauffement de 0,5 °C supplémentaire, mais ils sont encore trop vagues pour être vraiment intégrés.

La question se pose aussi de savoir si les engagements fermes des États se concrétiseront réellement. Certes, la crise sanitaire de 2020 a engendré une chute sans précédent des émissions, mais celle-ci résultait de circonstances conjoncturelles et non d'intentions directes et structurelles : elle a été suivie d'un rebond en 2021 et n'a pas été suffisamment forte pour empêcher la concentration atmosphérique de gaz à effet de serre de poursuivre sa croissance. Par conséquent, on ne peut totalement exclure l'éventualité d'un plus fort changement climatique tel que l'envisagent par exemple les scénarios SSP3-7.0 et SSP5-8.5 (*cf.* figure 1, ci-contre).

Finalement, la figure 1 illustre bien l'incertitude du contexte climatique futur et laisse pressentir la grande difficulté qui en résulte pour tous les décideurs en charge de projets à long terme. L'Accord de Paris préconise de « *garantir une riposte adéquate en matière d'adaptation dans le contexte de l'objectif de température énoncé à l'article 2* » (article 7.1 ; Nations-Unies, 2015) : il rend cohérent ses objectifs d'adaptation et d'atténuation mais ne prépare pas à la prise en compte de l'incertitude (Peyron *et al.*, 2016). Au contraire, le rapport des sénateurs Dantec & Roux (2019) considère en particulier peu probable d'atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, tant les émissions tendent, hors crise conjoncturelle, à continuer sur leur lancée antérieure[1]. Il donne alors des pistes générales, mais très pertinentes au plan forestier, pour aider les décideurs à anticiper, d'ici à 2050, les effets à plus long terme du changement climatique. Il présente par ailleurs le scénario de réchauffement intense (forçage radiatif de 8,5 W/m² en 2100, tel que SSP5-8.5) sous un jour très sombre qui est de nature à limiter fortement l'efficacité d'une politique d'adaptation[2]. Il suggère donc implicitement une adaptation sur la base des scénarios intermédiaires. Quoi qu'il en soit, une telle discussion mérite d'être conduite de manière approfondie dans le cas forestier.

1 Dantec, R. & Roux J.Y. (2019), p.32.
2 Dantec, R. & Roux J.Y. (2019), pp. 33-36.

Pour mettre en place une stratégie de gestion, les informations de la figure 1 constituent une référence mais sont largement insuffisantes. Elles doivent être limitées aux terres (où le réchauffement est plus fort qu'au niveau planétaire comprenant aussi les océans) et régionalisées pour tenir compte des variations locales à la surface du globe. Ce qui est fait par des modèles ad hoc comme ceux pris en compte pour la France métropolitaine sur le portail internet « DRIAS-les futurs du climat » (www.drias-climat.fr).

Il importe ensuite de savoir comment tenir compte de ces informations car il ne suffit pas, pour chacun des scénarios, d'analyser ses conséquences et d'identifier les moyens d'en réduire les impacts. En effet, à moins de prendre un pari sur l'avenir, on ne peut préjuger aujourd'hui du scénario futur que de nombreux arbres ou peuplements déjà existants et tous les arbres ou peuplements à venir devront subir. C'est donc sur la base du faisceau complet de possibilités que devrait se fonder une stratégie forestière d'adaptation.

L'ADAPTATION DES FORÊTS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : UNE MONTÉE EN PUISSANCE À AMPLIFIER

Les organismes français de recherche et de gestion se sont intéressés très tôt au changement climatique. Celui-ci s'est vraiment dévoilé à la suite des travaux de Becker *et al.* (1987) mettant en évidence les changements de productivité du sapin des Vosges tandis que des résultats similaires étaient obtenus à la même époque dans d'autres pays et pour d'autres essences (Becker *et al*., 1994). La prise de conscience d'un réchauffement s'est ensuite considérablement développée avec le projet de recherche CARBOFOR qui a été conduit de 2001 à 2004 (Loustau, 2004 ; Loustau, 2010) et a illustré notamment les impacts potentiels du changement climatique sur la composition en essences des écosystèmes forestiers. Les recherches se sont alors multipliées. Fin 2006, un forum a été organisé par le groupement d'intérêt public Ecofor sur les changements globaux afin de débattre des adaptations à susciter en faveur du progrès des connaissances, de l'action forestière et de l'interface entre ces deux domaines (Ecofor, 2007). Il a débouché sur une mission, confiée à Bernard Roman-Amat par les Ministres en charge de l'agriculture et de l'écologie, sur les moyens de préparer les forêts françaises au changement climatique (Roman-Amat, 2007). À la suite des propositions de ce rapport a été créé le réseau mixte technologique Aforce sur l'adaptation des forêts au changement climatique, avec comme objectif d'accompagner les forestiers pour relever ce défi tout en renforçant la capacité d'atténuation du changement climatique par le secteur forestier. En parallèle, en 2008, le groupement d'intérêt public Ecofor lançait, au niveau européen, l'action intergouvernementale Echoes de coopération scientifique et technique sur le changement climatique attendu et les options sylvicoles correspondantes, qui permettait d'ancrer les réflexions au niveau international en coordination avec d'autres projets européens (Hanewinkel et Peyron, 2014).

Les progrès de la connaissance sur l'adaptation des forêts au changement climatique se sont donc organisés dans les années 2000 et se sont immédiatement structurés pour apporter au plus vite des réponses aux questions qui se posaient au niveau de la gestion et des politiques publiques. C'est ainsi que le programme national de la forêt et du bois (PNFB) 2016-2026 prend en compte le changement climatique de manière importante aussi bien pour ce qui concerne l'adaptation des forêts à ses effets que la contribution de la filière forêt-bois à son atténuation (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2016). Il aligne ces deux objectifs entre eux et avec une augmentation progressive des prélèvements de bois pour, à la fois, réduire la vulnérabilité des forêts, intensifier leur adaptation, favoriser le développement de la bioéconomie, donc aussi la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la création de richesses. S'il reconnait l'enjeu de l'adaptation comme étant important, s'il a bien une dimension stratégique pour la filière forêt-bois, s'il est décliné au niveau régional et dans un plan d'action, il ne peut cependant être considéré comme une stratégie d'adaptation des forêts au changement climatique en tant que telle. En matière d'adaptation, il propose en effet surtout des évolutions dans les domaines clés que sont les observations et suivis, la recherche et développement sur l'amont forestier, notamment en génétique, le transfert des résultats d'observation et de recherche, l'expérimentation de sylvicultures adaptatives et démarches sectorielles territorialisées. Il s'agit de préalables indispensables à des actions d'adaptation, mais pas encore d'une planification des actions elles-mêmes.

Le Plan national d'adaptation au changement climatique, dans sa seconde version (PNACC-2) pour la période 2018-2022 (ministère de la Transition écologique, 2018), prend en compte la filière forêt-bois essentiellement sous la forme de quatre thèmes indépendants sur le risque d'incendie (axe prévention et résilience), la biodiversité (axe milieux naturels), la bioéconomie (axe filières économiques), enfin la connaissance et l'innovation. Une déclinaison forestière plus transversale en a d'abord été réalisée dans le cadre du Comité spécialisé « gestion durable des forêts » du Conseil supérieur de la forêt et du bois[3] : elle conjugue biodiversité et bioéconomie (les deux thèmes centraux) pour distinguer quatre types d'actions relatifs au suivi continu des forêts (monitoring), à des analyses susceptibles de déboucher sur des stratégies

3 Comité présidé par l'auteur de cet article.

d'action, à la prise en compte du changement climatique dans les pratiques, enfin à l'animation des actions d'adaptation. Cette déclinaison a ouvert le besoin d'une réflexion plus forte pour aller vers une stratégie, d'autant plus que sévissait parallèlement en 2019 une crise sanitaire forestière importante consécutive à plusieurs années de sécheresse et marquée à la fois par des dépérissements et des attaques biotiques. D'où la demande, formulée en octobre 2019 par le Ministre de l'agriculture et de l'alimentation, d'une feuille de route pour l'adaptation des forêts au changement climatique.

Cette feuille de route (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020) incite à l'action en relevant l'urgence de s'adapter et l'importance de le faire dans un cadre écologique, économique et social équilibré, en considération des peuplements en place et de l'incertitude de l'avenir. Elle identifie des prérequis comme l'équilibre sylvo-cynégétique, l'attractivité des métiers, l'esprit de concertation forêt-société, le dynamisme des usages du bois, auxquels on pourrait ajouter la bonne santé de la filière graines et plants. Les neuf priorités qu'elle liste et décline en actions opérationnelles se répartissent en trois grands domaines :

— celui de la coopération au niveau scientifique et technique (priorités 1 et 5), entre scientifiques et professionnels (priorité 2), entre professionnels de la filière forêt-bois (priorité 7), entre la filière forêt-bois et la société (priorité 9) ;

— celui ensuite des actions techniques à l'encontre des crises (priorités 5 et 6), en faveur de la résilience des peuplements (priorité 3) et des entreprises de la filière (priorité 8) ;

— celui enfin des moyens financiers (priorité 4).

Cette feuille de route réalise une avancée concrète mais manque encore d'éléments de cadrage technique et financier pour constituer une véritable stratégie.

En parallèle à la feuille de route, le rapport de la mission confiée par le Premier Ministre à Anne-Laure Cattelot, à l'époque députée du Nord, est venu insister sur l'importance, pour la filière forêt-bois en général et vis-à-vis du changement climatique en particulier, de relever le « *défi des connaissances* » dans une large palette de disciplines à connecter entre elles et « *d'agir aujourd'hui pour garantir l'avenir de nos forêts et des services qu'elles nous apportent* ». Ce rapport « *est une proposition de recommandations techniques et politiques pour mettre en œuvre une politique de la forêt et du bois à la fois durable et ambitieuse à l'aune du changement climatique* » ; il plaide pour un « *portage politique fort [des] enjeux forêt-bois* » et « *donc plus de moyens publics et privés en forêt […] avec un soutien financier également aux acteurs économiques du bois* ». Mais, si les propositions qu'il contient peuvent préparer l'adoption d'une stratégie d'adaptation des forêts au changement climatique, elles ont un focus plus large et méritent d'être précisées en matière d'actions d'adaptation.

Dans l'ensemble de ces réflexions, le besoin de connaissances nouvelles est patent et nécessaire. De tels progrès permettent de réduire une partie de l'incertitude devant laquelle le décideur se trouve placé. Dans la mesure où une grande partie de cette incertitude est irréductible, notamment celle qui repose sur l'attitude future des États et acteurs économiques de l'ensemble de la planète, il convient aussi de déterminer comment décider au mieux dans ce contexte aléatoire. D'où les réflexions complémentaires qui suivent pour cadrer une stratégie d'adaptation.

L'ADAPTATION DES FORÊTS : UN PRÉALABLE À L'ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Si la forêt est très attendue sur la scène politique pour sa capacité à séquestrer du carbone, la nécessité de son adaptation au changement climatique est moins mise en avant en dehors des crises conjoncturelles dues à la sécheresse et à ses conséquences induites en matière d'incendies de forêts et d'atteintes biotiques. D'une certaine manière, l'adaptation des forêts est le cinquième levier d'atténuation du changement climatique après la séquestration de carbone en forêt (levier 1), la séquestration de carbone dans les produits en bois (levier 2), la substitution de bois à d'autres matériaux plus gourmands que lui en énergies fossiles (levier 3) et la substitution directe de bois aux énergies fossiles (levier 4) (Ademe, 2021). Ces différents leviers sont eux-mêmes en concurrence entre eux puisque l'utilisation des leviers 2 à 4 réduit celle du levier 1. De même, l'adaptation des forêts au changement climatique s'accommode mal d'une séquestration trop forte de carbone dans les forêts constituées (hors, donc, les nouvelles forêts). En effet, l'accumulation de bois sur pied augmente la vulnérabilité et réduit les possibilités d'adaptation que confèrent les coupes de bois.

Une stratégie d'adaptation des forêts au changement climatique devrait ainsi être l'occasion de clarifier la notion de puits de carbone forestier. Certes, la constitution de tels puits dans de nouvelles forêts est favorable à l'atténuation du changement climatique et il en va de même pour l'augmentation de la matière organique des sols forestiers et la limitation des défrichements. Mais la biomasse vivante des forêts constituées depuis longtemps devrait être relativement équilibrée et donc le puits correspondant proche de zéro. Or de nombreux documents officiels, à commencer par l'Accord de Paris (article 5.1), parlent de maintenir ou augmenter les puits de carbone, dont le puits forestier, sans qu'il soit spécifié si cette prescription porte sur les

surfaces de forêts (considération qualitative des puits de carbone) ou le volume de bois sur pied (considération quantitative du puits de carbone), ou encore la croissance annuelle, ni si elle englobe la réduction des sources de carbone que permet l'utilisation du bois par effet de substitution (leviers 3 et 4).

Il serait donc souhaitable que la stratégie d'adaptation précise les limites d'une augmentation du puits de carbone quantitatif dans la biomasse vivante des forêts de production constituée, de manière à ne pas porter atteinte à leur adaptation et, au-delà, à leur gestion durable. Cela conduirait en particulier à distinguer les trois cas suivants :

— le boisement qui augmente tant les surfaces des puits que les quantités de carbone séquestrées dans la biomasse et la matière organique des sols ; il peut être conçu à la fois de manière adaptée au changement climatique et en guise d'atténuation de ce même changement ;

— le défrichement qui réduit drastiquement le stock de carbone dans la biomasse et le sol ;

— la gestion des forêts constituées qui repose sur une relative stabilité globale des volumes de bois sur pied et, autant que possible, une augmentation de la matière organique du sol ; par conséquent, les récoltes finales, intermédiaires ou jardinatoires de bois y réduisent localement et temporairement le volume de bois sur pied mais soutiennent la croissance et la vitalité à court, moyen et long termes et offrent par ailleurs la possibilité de réduire les émissions de gaz à effet de serre grâce à l'utilisation du bois ; elles sont également l'occasion d'intervenir sur la composition et la structure des peuplements à adapter.

Un compromis doit donc être trouvé entre adaptation et atténuation, notamment pour ce qui concerne la biomasse vivante des forêts constituées, qui ne peut augmenter longtemps sans amplifier l'exposition aux risques, sans compromettre l'accomplissement d'un équilibre entre les différents stades de maturité des arbres, sans engendrer à long terme des conséquences pouvant aller à l'encontre d'une saine gestion durable.

UNE MULTIFONCTIONNALITÉ QUI PARTICIPE AUSSI DE L'ADAPTATION

La récente feuille de route sur l'adaptation des forêts au changement climatique prend soin de rappeler l'importance de la multifonctionnalité des forêts qui reste la base des politiques ou stratégies forestières en France et, plus largement, en Europe (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020). Il faut comprendre, évidemment, que les impacts du changement climatique s'analysent non seulement sur la fourniture de bois mais aussi sur les fonctions écologiques et sociales des forêts, au-delà de la régulation du climat qui vient d'être abordée. Mais la question de l'adaptation des forêts au changement climatique doit inciter à aller plus loin que cette constatation : la multifonctionnalité des forêts représente l'opportunité d'une diversification supplémentaire dans un contexte incertain. Pour cela, elle doit non seulement être préservée mais encore renforcée.

La feuille de route prévoit des moyens pour que les services non marchands rendus par la gestion forestière soient rémunérés. Les actions envisagées ne déclinent toutefois cette proposition que dans le cadre du label bas-carbone, donc de façon limitée. C'est un point sur lequel l'ambition mérite d'être réhaussée. Car la motivation d'un développement de paiements pour services environnementaux ne peut être simplement de procurer aux propriétaires les moyens d'assurer l'adaptation de leur forêt. Elle repose sur deux raisons majeures : d'abord la nécessité de mettre l'intérêt public en adéquation avec les intérêts privés des propriétaires pour inciter ces derniers à procurer les services demandés par la société ; ensuite la diversification, dans la stratégie des propriétaires forestiers et un contexte futur incertain, de l'offre de biens et services rendus par les forêts. La question du développement de paiements pour services environnementaux devrait donc figurer en meilleure position dans une stratégie d'adaptation. Remarquons qu'elle se présente comme une solution sans regrets. Elle aurait dû être implantée depuis longtemps dans le cadre de la mise en commun des intérêts publics et privés à laquelle s'ajoute dorénavant, avec le changement climatique et des relations évolutives forêt-société, la nécessité de la diversification des usages forestiers.

UNE STRATÉGIE RÉVISANT LE RYTHME DE RENOUVELLEMENT DES ARBRES OU PEUPLEMENTS EXISTANTS

Les documents de politique publique relatifs à la forêt ne font guère de distinction explicite entre la stratégie relative aux arbres ou peuplements existants et celle concernant les arbres ou peuplements futurs. Dans la réalité, nombreuses sont les préconisations en matière de nouvelles essences ou provenances à envisager pour un site donné. Les arbres et peuplements existants font moins l'objet de recommandations, sauf pour évaluer leur état de santé actuel et l'urgence de leur renouvellement. Or, même s'ils paraissent aujourd'hui en bonne santé, leur état potentiel dans quelques décennies importe : il s'agit d'éviter de découvrir tardivement l'existence d'un énorme stock de peuplements dépérissants, au-delà de la capacité de récolte et de renouvellement de l'unité de gestion

considérée. Il en résulte évidemment des conséquences sur le niveau actuel des prélèvements de bois.

Au niveau national, le Programme de la forêt et du bois s'est organisé autour d'une augmentation des prélèvements calculée essentiellement sur la base des ressources disponibles hors changement climatique (Colin & Thivolle-Cazat, 2016). Pour s'engager dans une stratégie adaptative, il conviendrait de prendre en compte la vulnérabilité croissante et à long terme des arbres ou peuplements forestiers susceptibles de dépérir avant la fin de leur cycle de vie normal. Il s'agirait là de répartir au cours du temps les efforts de récolte et renouvellement. Un élément clé pour cela est la classification des arbres ou peuplements selon leur durée de survie sous changement climatique. Celle-ci dépend évidemment du scénario climatique considéré et est d'autant plus courte que le réchauffement est intense.

Cette prise en compte de la vulnérabilité future des arbres et peuplements forestiers, donc de leur durée de survie, utilise en fait la méthode classique de l'aménagement des forêts (*cf.* encadré 1, ci-dessous) qui est étrangement absente des réflexions jusqu'ici alors qu'elle devrait être

Exemple de prise en compte anticipée d'une durée de survie des arbres inférieure à leur âge d'exploitabilité, du fait du changement climatique

Un exemple simple vient illustrer la façon dont la vulnérabilité des peuplements pourrait être considérée bien avant qu'elle ne s'exprime. Prenons dans un territoire donné une forêt gérée en futaie régulière ou irrégulière avec une essence prépondérante exploitable à 160 ans et répartie en surface au sol* par classe d'âge en 2020 selon le tableau ci-dessous.

Situation en 2020

Classe d'âge (ans)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140 et +
Surface au sol (%)	10	10	10	10	10	20	20	10

Hors changement climatique, une méthode classique d'aménagement forestier conduirait à régénérer autant que possible 1/160e de la forêt en moyenne chaque année, soit 12,5 % en 20 ans. Mais seuls 10 % de la forêt sont âgés de plus de 140 ans, ont atteint ou vont atteindre l'âge d'exploitabilité de 160 ans au cours des 20 ans qui viennent et seront donc régénérés. En revanche, on peut trouver suffisamment d'arbres atteignant l'âge d'exploitabilité au cours des périodes suivantes de 20 ans pour régénérer chaque fois 12,5 % de la forêt. Alors, en 2120, 60 % de la surface seraient régénérés et on aurait :

Situation 1 simulée en 2120, hors adaptation

Classe d'âge (ans)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140 et +
Surface au sol (%)	12,5	12,5	12,5	12,5	10	10	10	20

Supposons que le changement climatique laisse présager une impossibilité de maintenir les arbres au-delà de 2120, leur durée de survie sous changement climatique étant inférieure à 100 ans. Il faudrait alors que la régénération ait été réalisée jusque-là à l'aide d'essences non vulnérables (les 60 % des classes d'âge de 0 à 100 ans dans le tableau ci-dessus). Mais si rien d'autre n'a été fait, alors on risque le dépérissement des arbres existants aujourd'hui et vulnérables en 2120 (les 40 % des classes d'âge de 100 ans et plus dans le tableau ci-dessus). Si un tel problème est anticipé, et s'il apparaît acceptable d'abaisser pour cela l'âge d'exploitabilité de 20 ans pour les arbres les plus âgés et de 40 ans pour les arbres plus jeunes, alors il sera possible de régénérer 18 % de la forêt au cours des prochaines périodes de 20 ans pour obtenir dans 100 ans :

Situation 2 simulée en 2120, avec adaptation

Classe d'âge (ans)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140 et +
Surface au sol (%)	18	18	18	18	18	10		

Ainsi, 10 % des arbres seraient à risque dans 100 ans au lieu des 40 % en l'absence d'anticipation. On aurait éventuellement perdu, en contrepartie, une fraction des services écosystémiques pénalisés par une réduction de l'âge d'exploitation. Ces résultats sont évidemment tributaires de cet exemple. Notons enfin que ce type de réflexion se conçoit aussi bien au niveau de la forêt, en tant qu'unité de planification, qu'à plus large échelle pour prendre en compte les grands enjeux économiques, environnementaux et sociétaux de l'adaptation des forêts au changement climatique. On peut ainsi concevoir que les analyses de disponibilités forestières au niveau national s'appuient sur ce type de raisonnement.

* L'utilisation de la surface au sol des arbres permet de traiter aussi bien de peuplements irréguliers que réguliers.

développée à toutes échelles (locale, régionale, nationale). Pour la mettre en œuvre, il est cependant nécessaire de s'insérer dans l'incertitude du futur qui a été mise en lumière plus haut. À cet égard, une stratégie possible, révisable ultérieurement, pourrait consister à se fonder initialement sur un scénario modéré de changement climatique[4] et à intensifier ensuite les actions si le réchauffement se révèle plus marqué. Dans ce dernier cas, des crises se produiront qui conduiront « mécaniquement » et au moins partiellement à une telle intensification.

UNE STRATÉGIE ORIENTANT LA COMPOSITION, LA STRUCTURE ET LA CONSTITUTION DES PEUPLEMENTS FUTURS

On entend ici par arbres ou peuplements futurs ceux qui seront installés au cours des quelques années à venir dans des conditions climatiques peu différentes des conditions actuelles. Il serait en effet prématuré de discuter de ceux qui seront installés par la suite : ils relèveront de stratégies révisées tenant compte des évolutions ultérieures des émissions anthropiques, de l'effet de serre et du climat.

La composition et la structure des peuplements futurs en fonction des stations forestières et des peuplements existants est une question fondamentale pour le gestionnaire : quelles essences sont envisageables, quelle diversification est opportune, comment les organiser dans l'espace et le temps ?

La palette des essences envisageables pour une station donnée est réduite par le changement climatique, d'autant plus que celui-ci est intense, aux arbres capables de supporter aussi bien le climat d'aujourd'hui que celui dont ils disposeront à maturité. Il se peut qu'elle soit en outre réduite par des considérations techniques, écologiques, économiques et sociales, donc finalement aussi politiques, relatives à l'introduction de matériel génétique exogène à la station. Pour ce qui concerne les arbres capables de supporter le climat actuel, on dispose évidemment des essences présentes et susceptibles de rester adaptées dans l'hypothèse où l'Accord de Paris serait tenu. Mais si ce n'était pas le cas, il serait important que la palette contienne, à son autre extrémité, des essences capables de supporter un changement climatique marqué, qui n'est pas improbable dans l'état des connaissances actuelles, comme on l'a vu plus haut. Une stratégie nationale pourrait alors suggérer le scénario auquel se référer pour prendre en compte ce changement marqué[5]. L'introduction de matériel génétique exogène à la station pourrait, quant à elle, être régulée selon les possibilités offertes dans chaque cas particulier.

Le besoin de diversification des essences repose d'abord bien sûr sur les objectifs écologiques relatifs à la station. Du point de vue climatique, il résulte aussi de l'ampleur de l'incertitude qui croît avec l'horizon de temps (figure 1, p. 324) et par conséquent avec la durée de vie des arbres. Mais il est contraint par les possibilités de mettre en œuvre cette diversification, qui dépendent de la largeur de la palette d'essences envisageables. On peut aussi imaginer plusieurs modes de diversification selon l'intimité et la hiérarchie du mélange : l'intimité du mélange varie depuis un panachage par pied d'arbre jusqu'à des parcelles individuellement homogènes mais globalement hétérogènes ; la hiérarchie du mélange permet de jouer sur les essences d'accompagnement à défaut de diversifier suffisamment les essences principales.

La volonté de diversification des essences peut conduire à privilégier une structure de peuplement éventuellement différente de la structure initiale. Le choix dépend notamment de cette structure initiale, du besoin ou non de modifier profondément la composition des peuplements, de l'opportunité ou non de faire coexister des arbres ayant des âges d'exploitabilité et des tempéraments différents... De toute façon, la structure future des peuplements, au-delà de leur composition, est un choix important qui engage le long terme et mérite d'être discuté dans une stratégie d'adaptation au changement climatique (Brang *et al.*, 2014). Mais tout changement de structure est délicat et, s'il peut présenter des avantages dans un contexte évolutif, il entraîne aussi généralement des « sacrifices d'exploitabilité » : il faut donc bien en peser les tenants et les aboutissants.

Le choix de la composition et de la structure des peuplements détermine celui du mode de renouvellement selon que la régénération naturelle est envisageable ou non et que l'introduction d'essences exogènes à la station est indiquée ou non.

Ces considérations sur la composition, la structure et la constitution des peuplements font souvent l'objet de controverses au sein de la société. Mais il est important d'analyser toutes les options envisageables. S'interdire *a priori* certaines d'entre elles pourrait en effet réduire considérablement, dans certains cas, la capacité d'adaptation. En particulier, le changement climatique est un phénomène anthropique susceptible de dépasser les possibilités d'adaptation spontanée des écosystèmes : il implique que des solutions exclusivement fondées sur la nature ne sont pas nécessairement efficaces.

4 Par exemple SSP5-3.4-OS ou SSP2-4.5 de la figure 1.
5 Par exemple SSP3-7.0 de la figure 1 ou un scénario intermédiaire entre celui-ci et SSP2-4.5.

UNE STRATÉGIE ENCADRANT GLOBALEMENT LES CHOIX SYLVICOLES RELATIFS AUX PEUPLEMENTS ACTUELS ET FUTURS

Les considérations précédentes sur l'âge d'exploitabilité et le renouvellement des arbres ou peuplements existants, puis sur la composition, la structure et la constitution des peuplements futurs traitent déjà des grandes orientations sylvicoles. Mais la sylviculture est bien plus vaste et vise aussi l'amélioration des peuplements aux nouveaux objectifs de chaque unité de gestion. Il s'agira souvent d'intensifier les éclaircies pour renforcer la vitalité, la stabilité et la croissance en grosseur des arbres, rendre les peuplements plus économes en eau, favoriser leur diversification en essences ; il pourra aussi s'agir de préparer l'avenir en introduisant du matériel végétal adapté aux conditions futures (notamment dans le cadre d'une migration assistée).

Si bon nombre des choix sylvicoles restent du ressort du gestionnaire, seul capable d'adapter la forêt aux conditions locales, elles doivent être encadrées aux niveaux national et régional pour donner l'impulsion nécessaire et assurer la coordination de l'ensemble des acteurs. La stratégie devrait ainsi prévoir une réforme de l'ensemble des directives, orientations ou schémas d'aménagement ou de gestion qui n'intègrent pas ou que peu l'adaptation au changement climatique en laissant la possibilité d'une amélioration continue de ces documents sur les parties relatives au changement climatique. Par ailleurs, un chapitre spécifique sur l'adaptation au changement climatique pourrait être requis pour tous les plans d'aménagement ou de gestion.

La prise en compte des différentes échelles de manière emboitée permettrait d'expliciter ce qui relève de chaque échelle et comment les différentes échelles sont connectées entre elles.

UNE STRATÉGIE PRÉVENANT TOUS LES RISQUES ET ANTICIPANT LA GESTION DES CRISES

Les risques auxquels sont soumises les forêts se trouvent exacerbés par le changement climatique. On s'attend de plus à des crises plus fréquentes, intenses et étendues. La prévention des risques et l'anticipation des crises apparaissent donc fondamentales. Elles sont largement traitées dans la feuille de route sur l'adaptation des forêts au changement climatique (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020).

Il s'agit notamment de renforcer le suivi sanitaire des forêts et de mettre en place un dispositif de veille permanente. Il s'agit aussi de conforter la prévention de tous les risques, abiotiques (tempêtes, sécheresses…) comme biotiques, y compris les incendies de forêts (dont le territoire géographique s'accroît en même temps que l'ampleur potentielle). Il s'agit encore de se préparer à affronter des événements extrêmes en développant des processus de gestion de crises. En outre, l'effectivité de mesures d'adaptation au changement climatique est largement conditionnée par la constitution d'un véritable équilibre sylvo-cynégétique.

La question de l'assurance face au risque de sécheresse et aux risques biotiques mérite aussi d'être développée.

UNE STRATÉGIE EXPLICITANT LES ARTICULATIONS AVEC LES PARTIES PRENANTES

La feuille de route sur l'adaptation des forêts au changement climatique appelle à développer une solidarité élargie de filière pour concrétiser l'adaptation des forêts au changement climatique (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020). Cette solidarité élargie implique les opérateurs de l'État, les tissus industriels et associatifs, les collectivités locales, la société civile et le monde de la recherche, de l'expertise et de l'innovation.

Les opérateurs de l'État (Centre national de la propriété forestière, Office national des forêts) voire privés (Société forestière) se sont investis depuis de nombreuses années sur l'adaptation des forêts au changement climatique, aux côtés des organismes de recherche. Mais la solidarité qui s'est organisée entre eux doit s'élargir encore.

Le changement climatique est une question clé pour le tissu industriel de la filière-bois. Il est considéré sous l'angle de son atténuation *via* la substitution de bois aux matériaux et énergies responsables d'émissions fossiles et en termes d'adaptation à ses impacts *via*, surtout, le reboisement (Conseil national de l'industrie, 2021). Ce faisant, les industries du bois n'intègrent cependant pas toutes les conséquences pour elles de l'adaptation des forêts au changement climatique ; par exemple, l'adaptation aux marchés tend à primer sur l'adaptation au changement climatique. Or, les peuplements futurs, par leur composition en essences, leur diversification, leur structure, ne seront sans doute pas exploitables dans les mêmes conditions qu'aujourd'hui, ni adaptés aux mêmes marchés. Ainsi, d'une part les réflexions sur l'adaptation au changement climatique devraient se renforcer au sein de la filière-bois, d'autre part elles devraient mieux s'articuler avec les adaptations envisagées pour la forêt. Cela supposerait notamment une meilleure synergie entre l'aval et l'amont de la filière, par exemple entre le Comité stratégique de filière-bois

et les comités spécialisés du Conseil supérieur de la forêt et du bois.

Si le changement climatique est souvent mentionné de façon générale dans les stratégies relatives à la biodiversité, celles-ci ne tirent cependant pas de préconisations opérationnelles dans le domaine de l'adaptation et traitent peu du cas spécifique et pourtant très significatif des forêts (France. Gouvernement, 2021 ; ministère de la Transition écologique, 2022). Cette remarque concerne les politiques publiques de la biodiversité et le tissu associatif qui participe à leur élaboration et les soutiennent. Là encore, une meilleure synergie doit être trouvée entre l'adaptation des forêts au changement climatique et la préservation de la biodiversité, de manière à prendre en compte l'ensemble des biens et services écosystémiques forestiers et à dépasser une simple extensification de la gestion forestière qui est loin d'avoir fait ses preuves face au changement climatique.

Le dialogue entre forestiers et chasseurs, qui est nécessaire de manière générale pour assurer un bon équilibre sylvocynégétique, trouve dans l'adaptation au changement climatique une raison supplémentaire d'être renforcé. Il en va de même, de façon plus générale, du dialogue avec la société civile qui manifeste de plus en plus son opposition aux interventions modifiant le paysage et qui devra faire face non seulement aux impacts du changement climatique mais encore aux opérations d'adaptation des forêts.

Les collectivités locales ont également un rôle à jouer dont elles se sont encore peu saisies en dehors des communes forestières qui doivent assurer l'avenir de leurs propres forêts. Pourtant, si la gestion des forêts est une question territoriale, c'est encore plus le cas lorsque vient s'y greffer le changement climatique. Les régions constituent un échelon très pertinent pour relayer une stratégie nationale et la décliner au niveau local (Dantec & Roux, 2019). Elles ont une mission de planification du territoire, par exemple dans le cadre d'un schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoire (SRADDET), qui permet de mettre en cohérence une stratégie d'adaptation des forêts avec d'autres logiques régionales, dont celles concernant le changement climatique de manière globale. Elles disposent également de moyens incitatifs et développent des outils d'observation. Dans certaines configurations (par exemple vis-à-vis des incendies de forêts), les départements sont incontournables. Quant aux intercommunalités, qui élaborent des plans climat-air-énergie territoriaux (PCAET), elles sont également des acteurs importants pour développer la sensibilisation locale au changement climatique.

Pour orienter et accélérer l'adaptation, la recherche, l'expertise et l'innovation jouent depuis de début et sont encore appelées à jouer un rôle fondamental. Le progrès des connaissances dans un domaine en profonde mutation, le développement de projections et prospectives, la mise à disposition d'outils d'aide à la décision sont indispensables et largement visés par toutes les analyses de l'adaptation des forêts au changement climatique (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2020 ; Cattelot, 2020). Ils doivent évidemment être poursuivis, dans un cadre structuré aux niveaux national, régional et européen.

UNE STRATÉGIE TRAITANT EXPLICITEMENT DES OUTRE-MER

Les outre-mer posent des problèmes spécifiques vis-à-vis du changement climatique du fait de leur situation particulière et de leurs fonctions forestières faisant une large place à la préservation des écosystèmes. Ils méritent un chapitre à part entière (Cattelot, 2020).

EN CONCLUSION, DES MOYENS SONT NÉCESSAIRES, À LA HAUTEUR DES ENJEUX ET DES AMBITIONS

La crise sanitaire qui a touché l'Europe à la fin des années 2010 nous montre l'ampleur des enjeux. Elle a nécessité en Allemagne un plan de plus d'un milliard et demi d'euros. Pourtant, le changement climatique n'a pas dit son dernier mot. L'adaptation des forêts au changement climatique mérite donc que des moyens importants lui soient consacrés. Il est ainsi fondamental que les actions déclinant la stratégie soient non seulement pilotées et suivies mais aussi chiffrées et financées avec des échéances précises (Alexandre *et al*. 2021).

Les moyens nécessaires comprennent des financements récurrents pour susciter des démarches d'adaptation et une inscription dans le contexte global de la gestion durable des forêts et du développement durable de l'industrie du bois. Ils comprennent aussi des infrastructures de recherche et développement fondées sur un existant à rassembler, compléter, consolider. Ils sont enfin constitués du concours solidaire de toutes les parties prenantes. ■

RÉFÉRENCES

Ademe (2021). *Forêts et usages du bois dans l'atténuation du changement climatique. Connaître et agir : le carbone forestier*. Paris : Ademe. 40 p.

Alexandre, S., Birot, Y., Cailliez, F. *et al*. (2021). *Forêts métropolitaines françaises : pour un engagement bien plus fort et de long terme pour réaliser la transition écologique et climatique.* Document de synthèse. Point de vue d'académiciens de l'Académie d'agriculture de France. 9 p.

Becker, M., Bert, G.D., Picard, J.F., & Ulrich, E. (1994). 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*, 46(4), 335-341. https://doi.org/10.4267/2042/26552

Becker, M., Geremia, F., & Schipfer, R. (1987). Bilan de santé actuel et rétrospectif du sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. Étude écologique et dendrochronologique. *Ann. For. Sci.*, 44(4) 379-402. https://doi.org/10.1051/forest:19870401

Brang, P., Spathelf, P., Larsen, J.B., Bauhus, J., Boncĭna, A., Chauvin, C., Drössler, L., Gracía-Güemes, C., Heiri, C., Kerr, G., Lexer, M.J., Mason, B., Mohren, F., Mühlethaler, U., Nocentini, S., & Svoboda, M. (2014). Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry*, 87(4), 492-503. https://doi.org/10.1093/forestry/cpu018

Cattelot, A.L. (2020). *La Forêt et la filière bois à la croisée des chemins : l'arbre des possibles*. Assemblée nationale. 224 p. [En ligne] disponible sur : https://agriculture.gouv.fr/telecharger/119154 [consulté le 27/07/2022].

Colin, A., & Thivolle-Cazat, A. (2016). *Disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035.* Rapport (tome 1), annexes (tome 2) et synthèse de l'étude financée avec les soutiens de l'Ademe, de l'IGN et de Copacel. IGN, Ademe, FCBA, Paris. 91 p. + 86 p. + 19 p. [En ligne] disponible sur : https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article931 [consulté le 27/07.2022].

Conseil national de l'industrie (2021). *Avenant au contrat stratégique de filière-bois 2021-2022*. Conseil national de l'industrie, Comité stratégique de filière bois. 60 p. [En ligne] disponible sur https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files_cni/files/csf/bois/csf_bois_avenant_au_contrat_de_filiere.pdf [consulté le 27/07/2022].

Dantec, R., & Roux, J.Y. (2019). *Adapter la France aux dérèglements climatiques à l'horizon 2050 : Urgence déclarée.* Rapport d'information rédigé au nom de la Délégation sénatoriale à la prospective, mai 2019. 190 p. [En ligne] disponible sur : https://www.senat.fr/rap/r18-511/r18-5111.pdf. [consulté le 27/07/2022].

Ecofor (2007). Face aux changements environnementaux, sociétaux, économiques, quelle gestion, quelle recherche pour la forêt de demain ? Ecoforum des 5 et 6 décembre 2006. *Revue forestière française*, 59(3), 193-336. https://dx.doi.org/10.4267/2042/9671

France, Gouvernement (2021). *Stratégie nationale pour les aires protégées 2030*. 67 p. + préfaces. [En ligne] disponible sur : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/DP_Biotope_Ministere_strat-aires-protegees_210111_5_GSA.pdf

Hanewinkel, M., & Peyron, J.L. (2014). Tackling Climate change; the contribution of scientific knowledge in forestry. *Annals of Forest Science*, 71, 113-115. https://doi.org/10.1007/s13595-013-0352-2

IPCC (2021). *Climate change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Groupe I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmentyal Panel on Climate Change*. [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., & Zhou, B (eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US: Cambridge University Press. 2400 p.

Loustau, D., coord. (2010). *Forests, Carbon cycle and climate change*. Versailles : Éditions Quæ. 348 p.

Loustau, D., coord. (2004). *Séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles.* Rapport final du projet Carbofor présenté par un consortium comprenant Inra, IFN, Cirad, Météo France, Université d'Orléans, Université Paris-Sud 11, CNRS, ENGREF, LSCE., coordonné par Loustau D. *et al*., financé dans le cadre du programme « Gestion et impacts du changement climatique (GICC) ». 138 p.

Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2016). *Programme national de la forêt et du bois 2016-2026*. Paris : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. 60 p. [En ligne] disponible sur : https://agriculture.gouv.fr/telecharger/86026 [consulté le 27/07/2022].

Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (2020). *Feuille de route pour l'adaptation des forêts au changement climatique. Agir pour des forêts résilientes et un maintien des services qu'elles rendent*. Paris : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. 28 p. [En ligne] disponible sur : https://agriculture.gouv.fr/telecharger/123421 [consulté le 27/07/2022].

Ministère de la Transition écologique et solidaire (2018). *Le Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC-2)*. Paris : Ministère de la Transition écologique et solidaire. 26 p. [En ligne] disponible sur : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2018.12.20_PNACC2.pdf [consulté le 27/07/2022].

Ministère de la Transition écologique (2022). *Stratégie nationale biodiversité 2030. 1[er] volet pré-cop 15*. Paris : Ministère de la Transition écologique. 133 p. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/strategie%20Biodiversité%202030_1er%20volet.pdf

Nations Unies (2015). *Accord de Paris*. New York : Nations Unies. 26 p. [En ligne] disponible sur : https://unfccc.int/sites/default/files/french_paris_agreement.pdf

Peyron, J.-L., Nabuurs, G.-J., Guehl, J.-M., & Hetemäki, L. (2016). Paris 2015 – a historic agreement and a work-in-progress for the EU forests. *EFI News*, March 2016, 2 p.

Roman-Amat, B. (2007). *Préparer les forêts françaises au changement climatique*. Rapport à MM. les Ministres de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables. 125 p. [En ligne] disponible sur : https://agriculture.gouv.fr/sites/default/files/documents/pdf/rapport-changt_climatbra.pdf

UNEP (2021). *Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On – A World of Climate Promises Not Yet Delivered*. United Nations Environment Programme, Nairobi. 80 p. +32 p.