

Anne-Sophie Sergent (IDF), Alain Chavane (AFI) et Max Brucciamachie (ENGREF)

Forêt irrégulière de hêtre en Haute-Saône

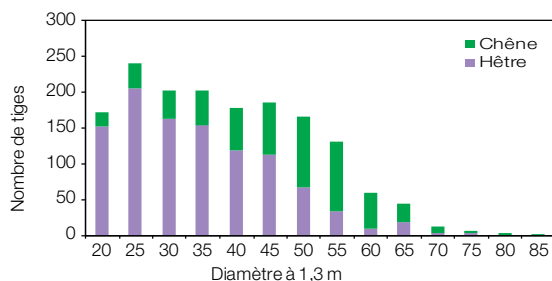
Le cas étudié se situe en forêt privée, dans le département de la Haute-Saône et couvre une surface de 80 hectares.

1. Diagnostic de l'unité de gestion forestière et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'unité de gestion forestière

Les peuplements sont principalement des anciens taillis sous futaie traités depuis une trentaine d'années en futaie irrégulière de hêtre en mélange avec du chêne et du sapin pectiné. Le hêtre est l'essence dominante de cette forêt, cependant d'autres types de peuplements sont également présents : futaies irrégulières à dominance de chêne et futaies irrégulières à dominance de sapin. Cette forêt n'a pas connu de problème sanitaire majeur, mis à part deux vagues de mortalité du hêtre associées à l'infection par un champignon (l'amadouvier).

Figure 1 : Exemple de répartition des effectifs de hêtre et de chêne en classes de diamètre dans une parcelle d'une superficie de 13 hectares



Source : auteurs.

Futaies irrégulières de hêtre en mélange avec du chêne sessile, quelques sapins et quelques érables

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	60 ha	75 % de la surface totale, dont 5 hectares où le chêne est l'essence dominante
Origine des peuplements	Régénération naturelle	
Age du peuplement	Variable en fonction des arbres	
Historique de gestion	Jusqu'au début du XX ^e siècle, traitement en taillis sous futaie avec des révolutions de 25 ans, pour l'alimentation d'une verrerie puis d'une forge. Puis, jusqu'en 1945, utilisation pour la fabrication de charbon de bois et de bois de chauffage. Ensuite, traitement en futaie sur taillis avec enrichissement de la futaie et vieillissement du taillis jusqu'en 1975. Depuis 1975, gestion en futaie claire irrégulière et mélangée	

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation		Coupe de bois d'œuvre tous les 8 ans et une coupe de bois d'industrie tous les 8 à 12 ans avec un ou deux passages intermédiaires pour détourner ou éclaircir les arbres de faible dimension. Surface terrière maintenue entre 12 et 20 m ² /ha. Les arbres pour le bois d'œuvre sont coupés lorsque le diamètre d'exploitabilité (de 45 à 70 cm) est atteint et selon trois critères : l'état sanitaire, la concurrence et la régénération

Futaies irrégulières de sapin en mélange avec du hêtre et du chêne sessile

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	20 ha	25 % de la surface totale
Origine des peuplements	Régénération naturelle	Peuplements issus de la première ou de la deuxième régénération naturelle de sapins plantés en bouquets ou en alignements dans les années 1980
Age du peuplement	Variable en fonction des arbres	
Historique de gestion	Coupes progressives de la deuxième génération de sapins lorsqu'ils avaient atteint le diamètre d'exploitabilité (50/60 cm)	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation		Coupe de bois d'œuvre tous les 8 à 12 ans avec un ou deux passages intermédiaires pour détourner ou éclaircir les arbres de faible dimension. Surface terrière conservée entre 12 et 20 m ² /ha. Bois coupé lorsque le diamètre d'exploitabilité (50/60 cm) est atteint
Atouts	Mélange d'essences qui permet de limiter les risques, mais qui peut aussi rendre la gestion plus délicate	
Contraintes	Pression importante du gibier sur la régénération, notamment celle du chêne. Le maintien du chêne est difficile et demande une gestion attentive	

Source : Association Forêt Irrégulière.

■ Productions et résultats économiques

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Productivité	Hêtre - 5 m ³ /ha/an Sapin - 8 à 9 m ³ /ha/an	Productivité en bois d'œuvre
Prix moyen de vente sur pied	Hêtre - 40 à 50 €/m ³ Sapin - 50 à 60 €/m ³ Bois de chauffage - 10€/m ³	Ventes dissociées entre les espèces et les qualités pour optimiser le prix de vente
Coûts	45 €/ha/an	
Recettes	300 €/ha/an	
Bénéfice annuel	255 €/ha/an	
Taux interne de rentabilité	NR	
Revenus non forestiers	NR	Location de la chasse
Atouts	Bois vendu sur pied sans problèmes de débouchés Bonne desserte et bon cloisonnement facilitant l'exploitation Peu de frais de travaux	

Source : Gestionnaire et Association Forêt Irrégulière.

Cette fiche ne représente pas nécessairement les positions officielles du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Elle n'engage que ses auteurs.

Source : Centre d'études et de prospective, 2013, *Agriculture, forêt, climat. Vers des stratégies d'adaptation*, MAIF

Fin 2005, de la sylviculture au commerce de bois, la filière bois en Franche-Comté regroupait environ 3 200 établissements et 10 500 salariés. Elle rassemblait ainsi 3,4 % des établissements et 2,9 % de l'emploi salarié de la filière bois en France métropolitaine¹. Dans cette région, la hêtraie représente 19 % des surfaces boisées. Le marché du hêtre dans la région, comme à l'échelle nationale, connaît depuis plusieurs années une période de crise due à différents facteurs : conséquences de la tempête de 1999, diminution des exportations, concurrence des autres bois et matériaux, etc. En 1999, le cours du hêtre sur pied avait atteint des valeurs proches de celles du chêne. Il a subi par la suite une chute brutale et sans précédent. Cette essence est désormais considérée comme un produit industriel courant. La production brute de hêtre en France est en progression régulière alors que le volume de sciage de hêtre produit par les scieries françaises est en baisse continue (Rubio et Marquette, 2007).

■ Contexte local

Éléments paysagers et contexte forestier²

Le cas étudié se situe dans la région forestière de la Vôge. Dans cette région, le paysage est constitué de vallons fortement boisés. Les peuplements sont le plus souvent des mélanges de futaies ou de taillis de feuillus (hêtres et chênes). Bien que située sur le trajet de la tempête de 1999, cette région a été peu touchée comparativement aux régions voisines (seuls 4 % des peuplements ont subi des dommages sévères). Cette région se situe dans la sylvoécocorégion des Collines pré-vosgiennes et Warndt, dont le taux de boisement est de 44 %. La surface couverte par la forêt est de 172 000 ha. Elle est à 63 % privée. Les peuplements de hêtres sont majoritaires et couvrent près de 68 000 hectares.

Éléments environnementaux

Cette forêt se situe dans une zone Natura 2000 caractérisée notamment par le groupement d'habitats d'intérêt communautaire de la hêtraie-chênaie continentale. Cette zone abrite de très nombreuses espèces d'oiseaux inscrites et quelques espèces végétales d'intérêt communautaire. Dans les documents d'objectifs, plusieurs menaces pour le groupement d'habitats de la hêtraie-chênaie continentale ont été identifiées. Il s'agit de l'acidification et de la modification du cortège floristique (surtout suite à la plantation de résineux), de l'engorgement de certains sols lors de la régénération, de l'introduction d'essences allochtones et de la disparition du chêne. Plusieurs recommandations de gestion sont proposées :

- le traitement sylvicole en futaie régulière ou irrégulière par bouquets, pour conserver le chêne sessile ;
- le mélange d'essences autochtones ;
- la régénération naturelle d'essences autochtones faisant partie du cortège de l'habitat ; éviter les plantations ;
- ne pas introduire d'essences allochtones ;
- remplacer les peuplements d'essences allochtones par des peuplements à base de chêne sessile et hêtre soit (1) en réalisant des éclaircies fortes afin de

favoriser l'installation de semis et de la végétation d'accompagnement, puis par des dépressages et des éclaircies sélectives, ou soit (2) en transformant par plantation, en favorisant la diversité d'espèces et en pratiquant des éclaircies pour les jeunes peuplements³.

La forêt est traversée par un sentier pédestre et équestre peu fréquenté.

■ Caractéristiques stationnelles, pédologiques et climatiques du cas d'étude

Caractéristiques stationnelles⁴

La forêt se situe sur un plateau à 400 mètres d'altitude. La géologie est caractérisée par un socle cristalin sur lequel repose des grès à Voltzia et, dans une moindre importance, des grès intermédiaires et des grès vosgiens. Le sol est assez profond, frais et de texture sablo-limoneuse à limono-sableuse avec l'apparition d'argile en profondeur. L'humus est de type mull acide. Le pH est compris entre 4,5 et 5. La réserve utile est en moyenne de 150 mm et il n'y a pas de contrainte à l'enracinement.

Caractéristiques climatiques

Le climat est de type atlantique dégradé à tendances continentales. La pluviométrie est élevée et les conditions hivernales sont assez rigoureuses.

Climat moyen période 1970-2000 pour la station de Bains-les-Bains (Vosges)

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Pluviométrie annuelle	1192 mm	Pluviométrie élevée
Pluviométrie estivale	263 mm	Bonne répartition annuelle
Température moyenne annuelle	9,3°C	Température moyenne assez basse
Nombre de jours/Slide gel	96 jours	Nombre de jours de gel important
Bilan hydrique climatique	+ 550 mm	Bilan hydrique climatique positif

Source : Météo-France

2. Effets du changement climatique sur la forêt

■ Description du changement climatique

Évolution du climat moyen et des événements climatiques extrêmes (canicule, gels intenses)

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement par Météo-France pour cet exercice. Elles concernent trois périodes : une période de référence centrée sur 1985 allant de 1971 à 2000 (Passé récent), une deuxième période future centrée sur 2035 allant de 2021 à 2050 (Futur proche) et une troisième période future centrée sur 2085 allant de 2071 à 2100 (Futur lointain). Elles présentent l'évolution future du climat moyen et des événements climatiques extrêmes (canicule, gels intenses).

1. Source : Agreste Franche-Comté.
2. Source : IFN.

3. Source : MNHN.
4. Source : Plan simple de gestion.

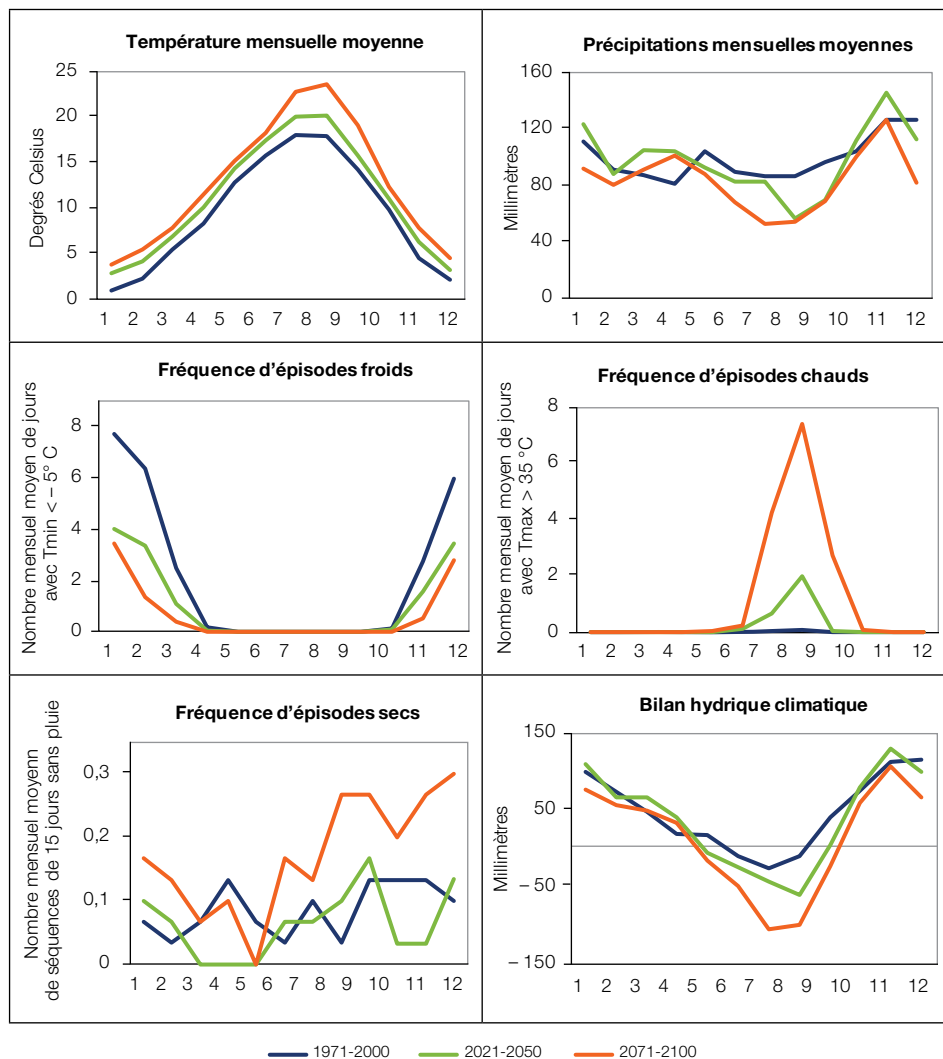
Évolution future du climat moyen pour la station de Bains-les-Bains (Vosges)

Indicateurs	Valeurs (en évolution)		Remarques
	De 1985 à 2035	De 1985 à 2085	
Température annuelle	+ 1,7°C	+ 3,4°C	Augmentation importante de la température moyenne
Nombre de jour de gel	- 20 jours	- 34 jours	Réduction importante du nombre de jours de gel
Pluviométrie annuelle	- 13 mm	- 181 mm	Pas de réduction significative en 2035 (1 %) et une réduction de 15 % en 2085
Pluviométrie estivale	- 40 mm	- 86 mm	Une réduction de 15 % en 2035 et de 33 % en 2085
Bilan Hydrique	- 91 mm	- 389 mm	Réduction importante du bilan hydrique climatique mais qui reste positif à l'horizon 2085

La comparaison entre les périodes 1971-2001, 2021-2050 et 2071-2100 montre :

- une augmentation des températures moyennes dès le futur proche et qui s'accroît à l'horizon 2085. La différence de température moyenne par rapport à la période de référence (1971-2000) est plus marquée en été (juillet-août) à l'horizon 2085 ;
- une diminution du nombre de jours de gel et de la fréquence de gels intenses ;
- une augmentation très importante du nombre de jours où les températures maximales dépassent les 35°C et un étalement de la période d'occurrence de ce phénomène.
- une réduction des précipitations assez limitée sur l'année à l'horizon 2085, mais plus marquée au cours de la période estivale (de mai à septembre) ;
- pour le futur lointain, dégradation importante du bilan hydrique climatique, particulièrement marquée de mai à septembre.

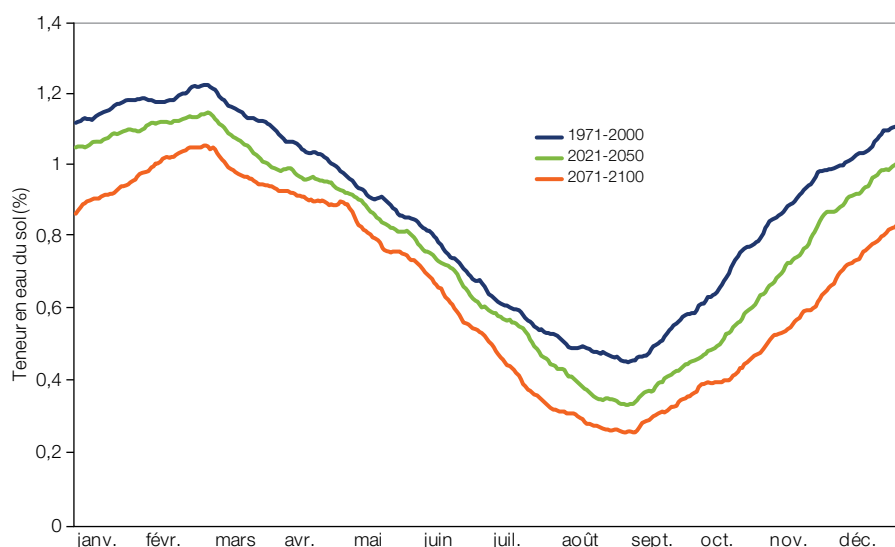
Figure 2 : Évolution mensuelle des principaux indicateurs météorologiques pour les périodes passé récent (1971-2000), futur proche (2021-2050) et futur lointain (2080-2100)



Source : Météo-France, station de Bains-les-Bains (Vosges)

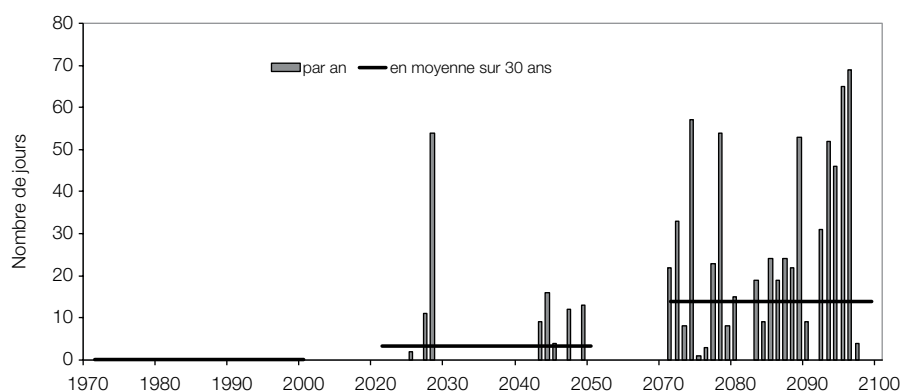
Évolution de la teneur en eau du sol et de l'intensité des sécheresses édaphiques

Figure 3 : Évolution annuelle de la teneur en eau du sol en moyenne sur une période de 30 ans



Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié, projet CLIMSEC – modèle ISBA.

Figure 4 : Évolution annuelle de nombre de jours de sécheresse intense pour les trois périodes étudiées



Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié, projet CLIMSEC – modèle ISBA.

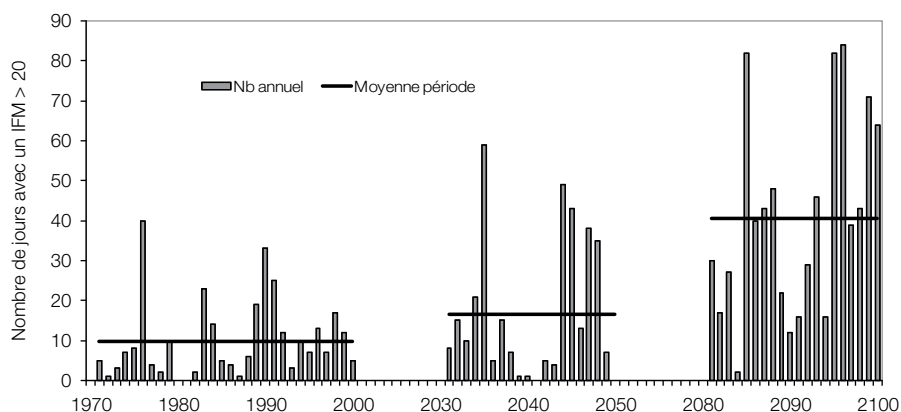
La comparaison entre les périodes 1971-2000, 2021-2050 et 2071-2100 montre que :

- il y a une augmentation de la durée moyenne des sécheresses, dès l'horizon 2035 (tout en restant plus faible que dans les autres cas étudiés) qui passerait d'une durée d'un peu moins d'un mois à l'horizon 1985 à deux mois et demi à l'horizon 2035 et à quatre mois à l'horizon 2085 ;
- l'augmentation de la durée est principalement due à des dates de fin de sécheresse moyenne plus tardive dans la saison ;

- à l'horizon 2085, le retour à la recharge complète en eau du sol sera retardé et n'aura lieu en moyenne qu'à la fin de l'hiver ;
- les épisodes de sécheresse intense n'apparaissent qu'à l'horizon 2035 et restent peu fréquents. Mais ils pourraient être parfois longs (valeur maximum de près de deux mois) ;
- les épisodes de sécheresse intense seront récurrents à l'horizon 2085.

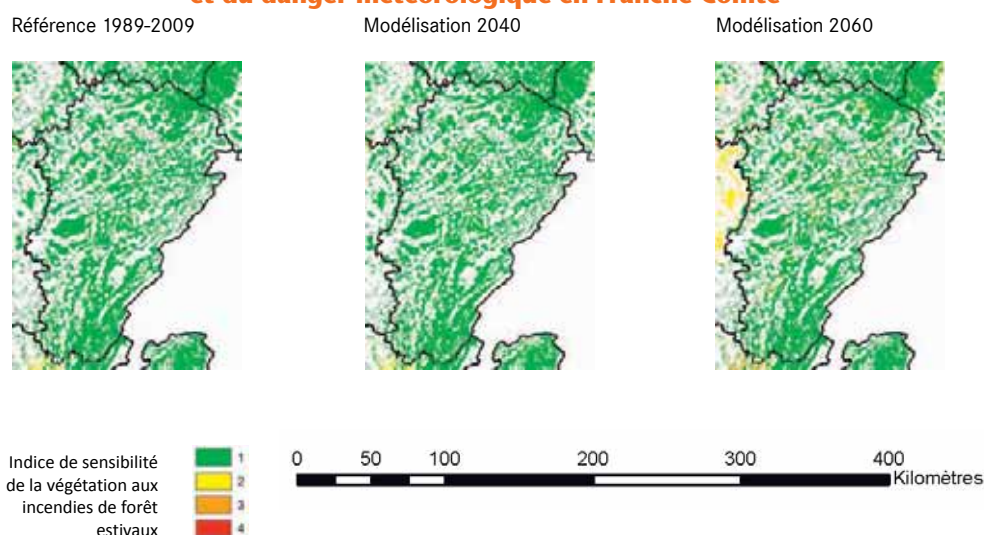
Évolution du risque incendie

Figure 5: Évolution annuelle de nombre de jours où l'Indice Forêt Météo (IFM) dépasse la valeur seuil de 20 pour les trois périodes étudiées (1971-2000, 2031-2050 et 2081-2100)



Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié.

Figure 6: Évolution du risque incendie en fonction de la sensibilité des forêts aux feux estivaux et du danger météorologique en Franche-Comté



Source : Chatry *et al.*, 2010.

La comparaison entre les périodes 1989-2008, 2021-2050 et 2071-2100 montre :

- une multiplication par 1,7 du nombre de jours où l'IFM dépasse 20 dans le futur proche et par 4 dans le futur lointain ;
- une augmentation de la fréquence des jours où l'IFM dépasse 40, qui passe d'une fréquence de une année sur dix dans le passé récent à deux années sur dix dans le futur proche et à sept années sur dix dans le futur lointain, avec une valeur moyenne de dix jours par an durant cette période ;
- une augmentation de la fréquence du danger météorologique, se traduisant par une très faible augmentation du risque d'incendie à l'horizon 2060, de par les essences présentes qui sont peu inflammables.

■ Effets attendus du changement climatique sur le hêtre dans le système étudié

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Confort hydrique / fréquence et Intensité des sécheresses	La croissance radiale du hêtre est fortement liée aux déficits hydriques de juin à août de l'année en cours et de l'année précédente (Badeau, 1995 ; Granier <i>et al.</i> , 1995) ainsi qu'à la précocité d'apparition d'un déficit hydrique au cours de la saison de végétation (Lebourgeois, 2005). L'augmentation de l'intensité et de la précocité des sécheresses devrait affecter la croissance du hêtre.
	Le sapin est particulièrement sensible à la sécheresse (Becker, 1970). La durée et la précocité moyenne des sécheresses attendues dans le futur lointain sont supérieures à celles observées actuellement dans le cas de la sapinière dépérissante de l'Aude (voir la fiche étude de cas relative au sapin en moyenne montagne méditerranéenne). Si de surcroît, les sécheresses intenses deviennent récurrentes, il faut s'attendre à un fort risque de dépérissement du sapin à long terme.

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Interactions avec les ravageurs et les pathogènes	Le hêtre est une essence ayant un cortège de ravageurs et de pathogènes relativement réduit par rapport aux autres feuillus. Néanmoins, l'impact de certains d'entre eux pourrait augmenter avec le changement climatique (Nageleisen, 2010 ; Perrin, 1997).
	Les scolytes (cambiophages et xylophages) ont actuellement un impact faible sur le hêtre. Si le réchauffement s'accroît, il pourrait affaiblir les arbres, les rendant plus vulnérables aux attaques. L'augmentation des températures favoriserait, par ailleurs, le développement de ces ravageurs (Nageleisen, 2010).
	La cochenille est un ravageur qui a déjà causé dans les années 1970 des dépérissements importants du hêtre en Normandie. Son impact, actuellement faible, pourrait augmenter avec le changement climatique (Nageleisen, 2010).
	Le <i>nectrias</i> est un champignon parasite de faiblesse qui forme des chancres sur le tronc et des nécroses cambiales. Son impact est faible actuellement mais il pourrait se développer avec le changement climatique (Nageleisen, 2010).
	Le <i>Phytophthora ramorum</i> est un champignon, qui forme des chancres sur le tronc et des nécroses racinaires. En France, il n'est actuellement présent que sur des espèces arbustives. Ce pathogène très polyphage pourrait, cependant, se développer sur le hêtre et causer des mortalités importantes comme il a en déjà causées sur d'autres espèces : chêne aux États-Unis, mélèze au Royaume-Uni (Nageleisen, 2010).
Fréquence des incendies	L'Amadouvier est un champignon lignivore qui entraîne une pourriture lente du bois. Elle dévalorise énormément la tige et provoque la mort de l'arbre. L'infection est favorisée par des blessures de l'écorce. Dans la forêt étudiée de telles blessures pourraient survenir lors d'épisodes de gels importants, notamment automnaux. La fréquence de ces phénomènes pourrait augmenter avec les effets du changement climatique.
	Les cartes montrent une faible sensibilité de cette forêt aux incendies estivaux. Cette faible sensibilité est principalement liée à la faible inflammabilité des essences actuellement présentes (Chatry <i>et al.</i> , 2010). Cependant, avec le changement climatique, le nombre de jours favorables aux départs de feux va augmenter de manière importante (données Météo-France). Ces prévisions devront être prises en compte si des substitutions d'essences sont envisagées.

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Durée de la saison de végétation	En fonction des scénarios retenus, des allongements de la durée de la saison de végétation compris entre 9 et 17 jours à l'horizon 2050 et entre 10 et 24 jours à l'horizon 2085 sont attendus dans les régions du Jura et des Vosges, pour les essences décidues (Lebourgeois <i>et al.</i> , 2011). Cet allongement de la saison de végétation est davantage dû à un retard de jaunissement des feuilles qu'à l'avancée de la date de débourrement. Les conséquences pourraient être positives : allongement de la période photo-synthétiquement active, augmentation du stockage des réserves carbonées et augmentation de la productivité. Elles pourraient aussi être négatives : augmentation de la période de consommation en eau et retard à la réhydratation des sols à l'automne (durée d'interception maximale des pluies plus longue, si période feuillée allongée) conduisant finalement à une dégradation du bilan hydrique, augmentation des dégâts foliaires dus aux gels tardifs et des problèmes de vernalisations entraînant une moindre résistance aux froids précoces. Les dégâts de gels précoces peuvent avoir des conséquences importantes, comme ce fut le cas dans les Ardennes en 1998, entraînant la succession suivante : nécroses cambiales, suintements, attaques de scolytes, et dépérissements brutaux (Nageleisen, 2010).
Augmentation de la disponibilité du CO ₂	L'augmentation de la disponibilité du CO ₂ n'entraînera pas d'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau car les fortes teneurs en CO ₂ atmosphérique ne provoquent pas de régulation stomatique chez le hêtre.

■ Synthèse : effet du changement climatique sur le système étudié

Pour la forêt étudiée, les effets attendus du changement climatique sont relativement faibles comparés aux autres cas étudiés dans cette prospective. L'augmentation de l'intensité et de la précocité des sécheresses devrait tout de même affecter la croissance du hêtre et entraîner des dépérissements du sapin dans un futur lointain. L'impact de certains ravageurs et pathogènes pourrait également augmenter. Le risque d'incendie devra être pris en compte en cas de substitution d'essence. L'allongement de la saison de végétation liée à l'augmentation des températures aura des effets antagonistes sur la croissance du hêtre. L'augmentation de la disponibilité en CO₂ n'entraînera pas d'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau chez le hêtre.

3. Options d'adaptation à l'échelle de la forêt et de son territoire

■ Option H1 : Maintien du système et diversification au profit du chêne et de l'érable

Le propriétaire souhaite continuer à concilier la production de bois et la protection du milieu. Il continue donc à réaliser une sylviculture irrégulière et mélangée en futaie claire en projetant que ses pratiques qui favorisent la résilience et réduisent le risque, suffiront à éviter d'éventuels dépérissements dans un contexte de changements climatiques limités. La souplesse de ce système en termes de coupes lui permet de gérer le risque de réduction de productivité des trois essences principales lié aux sécheresses attendues à partir de 2040.

L'itinéraire sylvicole repose sur des récoltes régulières tous les 8 ans et des éclaircies ou dépressages intermédiaires réguliers. Ce système permet de maintenir une faible compétition pour l'eau. Pour augmenter la résistance de ce système, les récoltes sont menées de manière à favoriser la régénération du chêne ainsi que de l'érable, car ces deux essences sont moins sensibles à la sécheresse que le sapin et le hêtre. La proportion du mélange pourra être adaptée en fonction de l'évolution climatique et des risques sanitaires.

La gestion est donc flexible, ce qui permet de palier aux problèmes sanitaires ou climatiques qui pourraient survenir.

■ Option H2 : Substitution d'essence dans un objectif de production

Dans cette option, le propriétaire choisi d'orienter sa forêt vers un objectif de production de bois et d'abandonner l'objectif de protection. Cette décision pourrait être prise :

- soit pour anticiper la forte augmentation de l'intensité et de la fréquence des sécheresses prévue à l'horizon 2040, qui pourrait entraîner des dépérissements et des problèmes de régénération du sapin et réduire fortement la productivité du hêtre, notamment s'il est affecté de manière récurrente par des pathogènes (amadouvier, chancres, scolytes, etc.). Ces aléas biotiques et abiotiques risqueraient de compromettre la rentabilité de la production du hêtre et du sapin ;
- soit par opportunité, dans un contexte climatique largement défavorable à la production forestière à l'échelle nationale. Cette zone reste malgré le changement climatique très favorable à la production forestière de nombreuses essences.

Pour maintenir une production de bois, de nouvelles essences sont introduites soit par bouquets, soit en plantation en plein dans le massif, pour la production de bois d'œuvre. Ces nouvelles essences sont principalement des essences résineuses allochtones telles que le douglas, le cèdre et des sapins méditerranéens (sous réserve d'assouplissement de la réglementation actuelle).

■ Option H3 : Abandon de l'objectif de production et gestion patrimoniale

Le propriétaire fait face à une forte réduction de la productivité de sa forêt, associée à des conditions de marché difficiles qui compromettent la rentabilité de la production du hêtre et du sapin. Il choisit de réorienter sa forêt vers un objectif principal de protection.

Une forte augmentation de l'intensité et de la fréquence des sécheresses entraîne des dépérissements et des problèmes de régénération du sapin. De plus, le hêtre est affecté de manière récurrente par des pathogènes (amadouvier, chancres, scolytes, etc.) et sa productivité est fortement impactée par les sécheresses. Ces aléas biotiques et abiotiques compromettent la rentabilité de la production du hêtre, mais l'habitat des hêtraies-chênaies se maintient avec une proportion plus importante du chêne, due à l'affaiblissement du hêtre. La croissance des arbres est réduite et ne permet pas une production de bois d'œuvre. L'option de substitution d'essences n'est pas envisagée par le propriétaire qui est attaché à la qualité écologique de ces habitats. L'objectif devient donc la protection (préservation de la biodiversité dans le cadre de Natura 2000).