

Impacts du changement climatique sur les forêts du site Natura 2000 de "Petite Montagne du Jura" : prévisions et conseils de gestion

-

Janvier 2019

ARZEL Anaïs, CHAMPION Estelle, MANGERET Florence, POSSICH Amélie



© Wibail Lionel

ARZEL Anaïs, CHAMPION Estelle, MANGERET Florence, POSSICH Amélie, Janvier 2019, *Étude des impacts du changement climatique sur les forêts du site Natura 2000 de « Petite Montagne du Jura » : prévisions et conseils de gestion*, Communauté de communes de Petite Montagne, Université Claude Bernard Lyon 1.

Etude menée pour la **Communauté de communes de Petite Montagne**

Contact :

Communauté de commune Petite Montagne - Service Natura 2000

15 rue des Tilleuls

39240 Arinthod

03 84 25 39 78

natura2000@petitemontagne.fr

Sous la direction de M. **NOYERE Tristan** - Chargé de mission

Contact :

03.84.48.85.15

tristan.noyere@petitemontagne.fr

SOMMAIRE

I – INTRODUCTION.....5

1. CONTEXTE DE L'ETUDE.....5
 - a. Faits observés et simulations.....5
 - b. Conséquences sur les peuplements forestiers et les espèces..... 6
 - Phénologie et croissance.....6*
 - Evolution des aires bioclimatiques.....6*
 - Risques sanitaires..... 8*
2. DESCRIPTION DU SITE D'ETUDE.....8
3. PROBLEMATIQUES ET OBJECTIFS.....11

II – MATERIELS ET METHODES.....11

1. INDICES UTILISES.....12
2. SCENARIOS ET MODELES.....12
 - a. *Les RCP (Representative Concentration Pathway).....12*
 - b. *Les SRES (Special Report on Emissions Scenarios).....12*

III – PREVISIONS DES MODELES CLIMATIQUES : évolution du climat.....13

1. EVOLUTION DU CLIMAT.....13
 - a. Températures.....13
 - b. Précipitations.....15
 - c. Sécheresse.....16
2. RISQUES LIES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....17
 - a. Gels.....17
 - b. Incendies.....18
 - c. Pathogènes et Ravageurs.....19
3. PREVISION DE LA REPARTITION DES ESSENCES ET EVOLUTION DES PEUPEMENTS EN PETITE MONTAGNE.....21
 - a. Constats en Petite Montagne.....21
 - b. Prédications sur l'évolution des espèces.....21
 - c. Prédications sur l'évolution des peuplements ...22

III – CONSEILS DE GESTION.....23

1. GENERALITES.....23
2. GESTION DU STRESS HYDRIQUE.....23
 - a. Sylviculture économe en eau.....23
 - b. Utilisation d'espèces tolérantes ou adaptées à la sécheresse..... 24
3. GESTION DES INCENDIES.....24
4. GESTION DES MALADIES.....25
5. REALISATION DES PEUPEMENTS MIXTES.....25
 - a. Diversification des essences et régénération naturelle.....25
 - b. Îlots de sénescence.....26
6. SUIVIS REGULIERS ET GESTION ADAPTE AU COURS DU TEMPS.....26

IV – CONCLUSION.....29

BIBLIOGRAPHIE.....30

SITOGRAPHIE.....33

ANNEXES.....34

Liste des figures, tableaux et annexes

FIGURES :

Figure 1 : Evolution de la température moyenne annuelle en France métropolitaine : écart à la référence (1976-2005). Simulations climatiques sur passé et future pour trois scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5. (Source : *Drias*) 5

Figure 2 : Carte de répartition de trois essences : (a) le hêtre (*Fagus sylvatica*) , (b) le sapin pectiné (*Abies alba*) et (c) l'épicéa (*Picea abies*) en fonction des conditions climatiques présentes et futures (2050 et 2100) en France métropolitaine (Source : *Carbofor, Badeau, 2010*).....7

Figure 3 : Cartes des distributions géographiques de 7 groupes chronologiques en fonction du climat actuel (a), du climat dans 50 ans (b) et du climat dans 100 ans (c). Légende groupe 1 : étage subalpin ; groupe 2 : étage montagnard ; groupe 3 : régions de montagne, étage collinéen du Nord-Est ; groupe 4 : érable sycomore, hêtre etc. ; groupe 6 : châtaigner, néflier, etc. ; groupe 7a : Ouest jusque dans le midi ; groupe 8 : espèces méditerranéennes. (Source : *Carbofor, Badeau, 2010*).....8

Figure 4 : Carte de localisation du site Natura 2000 de Petite Montagne du Jura en France métropolitaine.....9

Figure 5 : Carte de localisation d'une partie des forêts (en vert) sur le site Natura 2000 de Petite Montagne, à partir d'un échantillonnage de 2013 à 2015, réalisé par le bureau d'étude ESOPE.....9

Figure 6 : Comparaison des prédictions au cours du temps des scénarios RCP (traits pleins) et SRES (tirets). (Source : *DRIAS*).....13

Figure 7 : Modélisation de l'évolution des températures minimales (a) et maximales (b) au cours du siècle pour le scénario intermédiaire, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : *DRIAS*).....14

Figure 8 : Modélisation de l'évolution cumul des précipitations estivales au cours du siècle pour le scénario intermédiaire, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : *DRIAS*).....15

Figure 9 : Modélisation de l'évolution de la sécheresse des sols (SSWI) au cours du siècle pour le scénario intermédiaire, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : *DRIAS*).....16

Figure 10 : Modélisation de l'évolution de l'indice feu météorologique (IFM) au cours du siècle pour le scénario intermédiaire, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : *DRIAS*).....18

Figure 11 : Principales causes de mortalité des plants d'arbres en Bourgogne-Franche-Comté à l'automne 2017. (Source : *Département de la Santé des Forêts DSF, 2017*).....21

TABLEAUX :

Tableau 1 : Valeurs de la référence (1976 - 2005) pour chaque indice étudié.....11

Tableau 2 : Evolution des températures (°C) en fonction de 3 scénarios (optimiste, intermédiaire et pessimiste) sur 3 horizons de temps (proche, moyen et lointain) dans le site Natura 2000 de Petite Montagne du Jura.....14

Tableau 3 : Evolution des précipitations (en mm) en fonction de 3 scénarios (optimiste, intermédiaire et pessimiste) sur 3 horizons de temps (proche, moyen et lointain) dans le Jura.....15

Tableau 4 : Evolution de la sécheresse en fonction de 3 scénarios (optimiste, intermédiaire et pessimiste) sur 3 horizons de temps (proche, moyen et lointain) dans le Jura.....16

Tableau 5 : Evolution du nombre de jour de gel par an en fonction de 3 scénarios (optimiste, intermédiaire et pessimiste) sur 3 horizons de temps (proche, moyen et lointain) dans le Jura.....17

Tableau 6 : Evolution de la fréquence des incendies en fonction de 3 scénarios (optimiste, intermédiaire et pessimiste) sur 3 horizons de temps (proche, moyen et lointain) dans le Jura.....18

Tableau 7 : Tableau des mesures de gestion pouvant être appliquées face aux conséquences du changement climatique.....27

Tableau 8 : Caractéristiques et utilisation de différentes espèces d'arbres favorables en vue d'une introduction en Petite Montagne du Jura.....28

ANNEXES :

Annexe 1 : Modèles et scénarios de changement climatique utilisés pour différents indices....34

Annexe 2 : Modélisation de l'évolution des températures minimales (a), maximales (b) et moyennes (c) au cours du siècle pour les scénarios optimistes, intermédiaires et pessimistes, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (*source : DRIAS*).....34

Annexe 3 : Valeurs des différents indices liés au changement climatique pour la référence en Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA).37

Annexe 4 : Modélisation de l'évolution du cumul des précipitations hivernales (a), estivales (b) et annuelles (c) au cours du siècle pour les scénarios optimistes, intermédiaires et pessimistes, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (*source : DRIAS*).....37

Annexe 5 : Modélisation de l'évolution de la sécheresse des sols (SSWI) (a) et de la sécheresse météorologique (SPI) (b) au cours du siècle pour les scénarios optimistes, intermédiaires et pessimistes, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (*source : DRIAS*).....40

Annexe 6 : Modélisation de l'évolution de l'indice feu météorologique (IFM) au cours du siècle pour les scénarios optimistes, intermédiaires et pessimistes, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (*source : DRIAS*).....41

Annexe 7 : Tableau des espèces de ravageurs et leurs impacts selon les espèces d'arbres. En rouge sont les ravageurs qui peuvent arriver avec le changement climatique....42

Annexe 8 : Synthèse des mesures de gestions pouvant être prise face au changement climatique.....43

Annexe 9 :

- Cartographie générale du site Natura 2000 Petite Montagne du Jura et identification des différents secteurs échantillonnés de 2013 à 2015 46
- Cartographie des peuplements forestiers du secteur 1 et conseils de gestion 47
- Cartographie des peuplements forestiers du secteur 2 et conseils de gestion 48
- Cartographie des peuplements forestiers du secteur 3 et conseils de gestion 49
- Cartographie des peuplements forestiers du secteur 4 et conseils de gestion 50

Annexe 10 : Autécologie des espèces présentes, potentiellement attendues ou utilisable pour le reboisement des peuplements forestier de Petite Montagne du Jura.....51

I. INTRODUCTION

1. Contexte de l'étude

a. Faits observés et simulations

Le changement climatique est un phénomène mondial qui pèse sur l'ensemble des écosystèmes de la planète. La communauté scientifique a mis en évidence la responsabilité des activités anthropiques et des émissions de gaz à effet de serre dans ce changement climatique. Un réchauffement important est ainsi observé depuis le début du XX^{ème} siècle à l'échelle de l'Europe (GIEC, 2007 ; Figure 1). L'élévation de la température à la surface de la planète peut entre autres être induite par l'effet de serre (Météo France) : un phénomène où l'atmosphère, composé de plusieurs gaz, piège une partie du rayonnement solaire ainsi que la chaleur émise par le sol sous forme d'infrarouge, réchauffant alors la Terre.

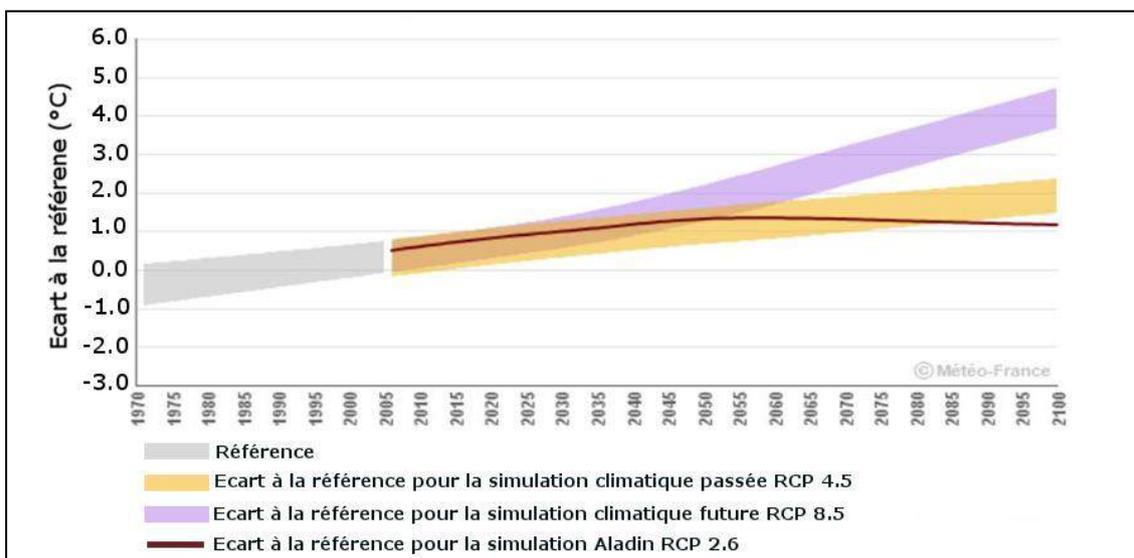


Figure 1 : Evolution de la température moyenne annuelle en France métropolitaine : écart à la référence (1976-2005). Simulations climatiques sur passé et future pour trois scénarios d'évolution RCP 2.6, 4.5 et 8.5. (Source : Drias)

Des modèles climatiques à l'échelle planétaire ont été mis en place pour modéliser les changements dus à ce phénomène climatique. Ils prédisent une augmentation supplémentaire des températures moyennes comprises entre 2 et 4 °C d'ici 2100, en fonction des différents scénarios considérés (Roman-Amat, 2007 ; Piedallu, 2009 ; GIEC, 2018). En France, on observe alors une augmentation des températures moyennes entre 0,7 et 1,1 °C (Lebourgeois, 2011 ; Piedallu, 2009). Ce réchauffement se poursuivrait jusqu'en 2050 quelque soit le scénario utilisé : optimiste (RCP 2.6), intermédiaire (RCP 4.5) ou pessimiste (RCP 8.5) (Figure 1). En revanche, cette évolution des températures différera à partir de la seconde moitié du siècle selon les différentes politiques qui seront appliquées.

Ce réchauffement impacterait les milieux forestiers de façon significative au fil des années (Wu, 2015), que ce soit sur leur diversité, leur croissance, leur santé ou leur régénération (Roman-Amat, 2007).

Les conséquences principales de ce phénomène se traduiront par la modification des précipitations saisonnières, avec un déficit hydrique en été et une augmentation des pluies en hiver au cours du XXI^{ème} siècle (Bréda et al., 2000 ; Spittlehouse et Stewart, 2003 ; Legay et Ladier, 2008). Les vagues de chaleur printanières et estivales seraient également plus fréquentes et plus longues, entraînant des périodes de sécheresse allongées et une forte augmentation des températures moyennes (Keller, 2000). Les événements climatiques extrêmes à l'origine de stress (fortes températures, précipitations, sécheresses...) et de perturbations (incendies, gels tardifs...) auront une plus forte probabilité de survenir (Wu, 2015).

Ce changement climatique n'est pas nouveau puisqu'il s'est produit à de multiples reprises au cours de l'histoire de la Terre, mais il est inédit dans la rapidité à laquelle il intervient et pose donc des questions sur la réponse des milieux forestiers à ces nouvelles conditions climatiques. En effet, les arbres ont des capacités d'adaptation lentes car ils ont des durées de vie longues pouvant s'étaler sur plusieurs décennies (Lindner et al., 2010), et le changement climatique serait le premier facteur explicatif des variations de croissance chez les essences forestières (Wu, 2015).

b. Conséquences sur les peuplements forestiers et les espèces

● Phénologie et croissance

Plusieurs constats, aussi bien positifs que négatifs, ont été faits sur les forêts en réponse à ce changement climatique. Dans un premier temps, l'augmentation de la croissance en CO₂ peut stimuler la croissance chez certaines espèces. D'autres effets positifs sur cette croissance sont à prévoir, notamment l'allongement de la saison de végétation (SFFC, 2012), qui a gagné 10 jours entre 1962 et 1995 (Menzel et Fabian, 1999). Cet allongement est principalement dû à deux paramètres : l'avancement de la date du débourrement des arbres et le retard dans la chute des feuilles. Ceux-ci permettent une croissance des arbres sur une période de temps plus longue (Roman-Amat, 2007) et conduisent à une augmentation de la production primaire de bois pour plusieurs essences (sapin pectiné (*Abies alba*), hêtre (*Fagus sylvatica*), chêne (*Quercus sp.*), épicéa (*Picea abies*)) en parallèle de la hausse des températures (Keller, 2000 ; Bréda et al., 2000), jusqu'à un certain seuil. Par ailleurs, la croissance de la végétation n'est pas influencée uniquement par le climat actuel mais aussi par les conditions climatiques antérieures (Wu, 2015) et les conditions locales du sol ou du peuplement (Bréda et al., 2000). Effectivement, une forêt comportant plusieurs espèces sera généralement plus résistante à la sécheresse que des individus se développant en monoculture.

Néanmoins, le changement climatique agit également de manière négative sur la croissance des arbres (Keller, 2000). En effet, le débourrement plus précoce des bourgeons peut exposer davantage les arbres au risque de gel tardif (Roman-Amat, 2007). De plus, l'augmentation des températures et des périodes de sécheresse peut induire un stress hydrique (Bréda et al., 2000), qui sera de plus en plus fréquent et entraînera la diminution de la productivité de certaines essences forestières par l'altération de leurs processus physiologiques. Par exemple, les résineux pourront présenter un rougissement physiologique en fin d'hiver par la destruction de la chlorophylle à cause des périodes de sécheresse. De manière générale, les espèces résineuses craignent plus le stress hydrique que les espèces de feuillus (Bréda et al., 2000). Toutefois, si la disponibilité locale en eau (par exemple dans les nappes phréatiques ou le sol) reste constante ou augmente malgré ce changement de climat, alors la production de bois pourrait rester équivalente.

● Evolution des aires bioclimatiques

L'ensemble des phénomènes liés au changement de climat peut amener des modifications dans la compétition entre les différentes essences d'arbre et donc un changement dans la distribution, la structure et la composition des forêts (Lexer et al., 2002 ; Skvarenina et al., 2004). Les dégâts causés par les fortes chaleurs affectent surtout les arbres en limite de leur aire de répartition et accentuent les crises de dépérissements (Legay et Ladier, 2008 ; SFFC, 2012). Celles-ci sont considérées comme un phénomène évolutif avec trois phases successives (1 : évènement brutal ; 2 : parasites attaquant les arbres faibles ; 3 : sénescence) (Nageleisen, 2010). Les aires climatiques potentielles des espèces, en France, pourraient se déplacer de 150 à 550 km en latitude vers le Nord et entre 150 et 550 m en altitude (SFFC, 2012). Les essences de montagne seront les plus touchées (Camarero et Gutierrez, 2004 ; Bolli et al., 2007). Des espèces, tel que le hêtre (*Fagus sylvatica*), le sapin pectiné (*Abies alba*) et l'épicéa (*Picea abies*) (Figure 2), seront susceptibles de régresser face à l'augmentation des températures (Legay et Ladier, 2008 ; Piedallu, 2009) pour se limiter uniquement aux zones montagneuses et au Nord-Est de la France, selon le scénario intermédiaire du GIEC (GIEC, 2007).

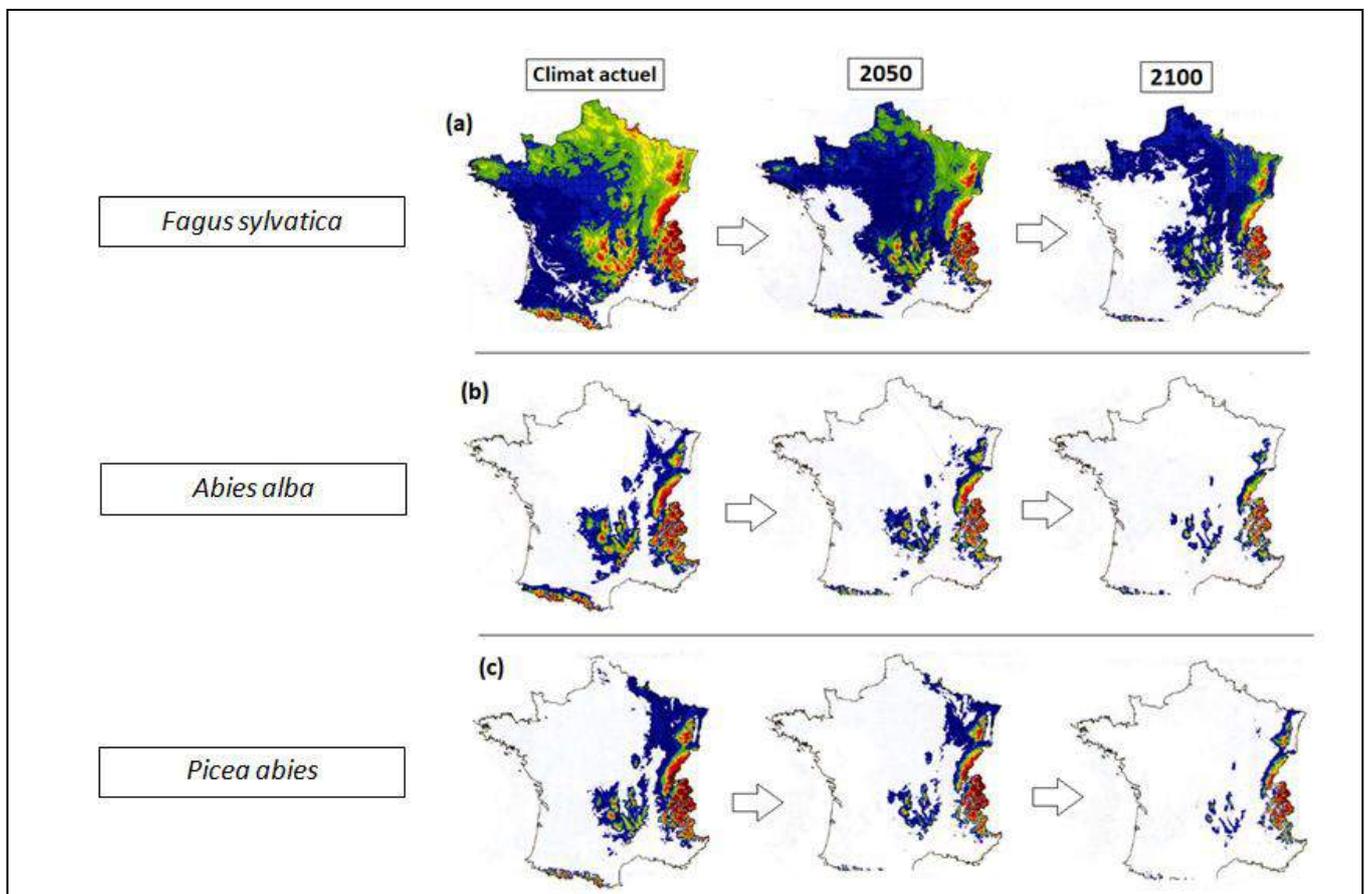


Figure 2 : Carte de répartition de trois essences : (a) le hêtre (*Fagus sylvatica*) , (b) le sapin pectiné (*Abies alba*) et (c) l'épicéa (*Picea abies*) en fonction des conditions climatiques présentes et futures (2050 et 2100) en France métropolitaine (Source : Carbofor, Badeau, 2010).

Au contraire, le chêne sessile (*Quercus petraea*), par exemple, pourra recoloniser de nouveaux territoires devenus favorables avec le réchauffement grâce à son bon potentiel de recolonisation. Par ailleurs, il est probable qu'avec le réchauffement climatique, les espèces méridionales s'étendent sur le territoire français (Thuillier, 2005), comme potentiellement le pin noir (*Pinus nigra*), le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) ou les cèdres (*Cedrus sp.*). De manière générale, les espèces habitant les régions ouest de la France jusque dans le midi et les espèces méditerranéennes verront leurs aires de répartition s'étendre à travers le territoire.

Cependant, certaines espèces n'auront pas la possibilité de migrer vers des espaces favorables à leur développement pour plusieurs raisons : elles occupent un secteur géographique restreint, l'augmentation des températures est trop rapide ou leur pouvoir de colonisation est trop faible (Piedallu, 2009). Dans ce cas, certaines espèces, au stade adulte, pourront s'acclimater en tempérant les modifications physiologiques et structurelles qu'elles subiront face au changement climatique. Par exemple, des espèces s'adaptent à l'augmentation du CO₂ en fermant leurs stomates, ce qui permet la réduction de la perte en eau.

Par ailleurs, les espèces des étages subalpin, montagnard et collinéen du Nord-Est, ainsi que les érables sycomores, les hêtres, les châtaigniers et autres espèces verront leur aire de répartition diminuer drastiquement dans les cent prochaines années (Figure 3). Les espèces ne pouvant ni migrer, ni s'acclimater seront vouées à disparaître et pourraient être remplacées par l'implantation d'espèces adaptées au climat plus chaud et plus sec.

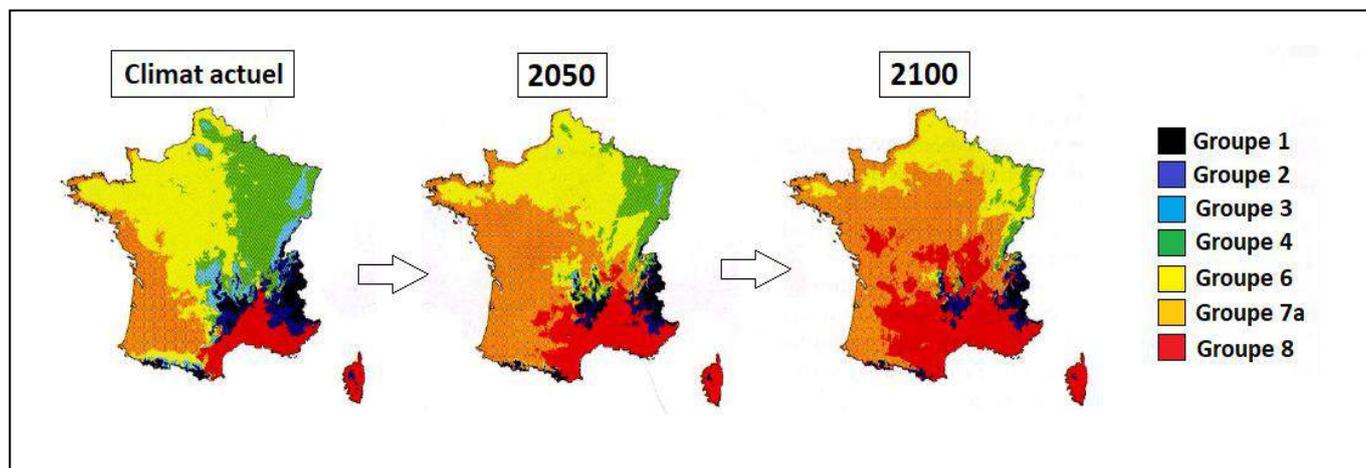


Figure 3 : Cartes des distributions géographiques de 7 groupes chronologiques en fonction du climat actuel (a), du climat dans 50 ans (b) et du climat dans 100 ans (c). Légende groupe 1 : étage subalpin ; groupe 2 : étage montagnard ; groupe 3 : régions de montagne, étage collinéen du Nord-Est ; groupe 4 : érable sycomore, hêtre etc. ; groupe 6 : châtaigner, néflier, etc. ; groupe 7a : Ouest jusque dans le midi ; groupe 8 : espèces méditerranéennes. *Source : Carbofor, Badeau, 2010.*

- **Risques sanitaires**

Parallèlement, il est possible que le réchauffement climatique aggrave certains risques sanitaires en favorisant ou en éliminant certains pathogènes ou insectes ravageurs. Les attaques d'insectes devraient croître à cause de l'augmentation des températures qui favorisera leur développement et leur reproduction. De nouveaux pathogènes pourront apparaître dans des régions où ils ne sont pas encore présents, par extension de leur aire de répartition. De plus, l'augmentation des températures pourrait rendre certains parasites virulents alors qu'ils étaient inoffensifs jusqu'à aujourd'hui (insectes secondaires ; Roman-Amat, 2007). Enfin, les arbres stressés par le changement climatique seront d'autant plus vulnérables et faciles à attaquer.

Une augmentation des risques d'incendie est également à prévoir (Roman-Amat, 2007), bien que les modifications du rapport entre les conifères et les feuillus pourraient influencer sur la probabilité d'occurrence ou la gravité des incendies (Thuillier, 2005).

La capacité des arbres à répondre aux changements climatiques par des mécanismes évolutifs et adaptatifs est encore mal connue et prévoir l'évolution des peuplements forestiers sur le court ou le long terme est difficile. Toutefois, il est possible d'estimer l'avenir des peuplements ainsi que leur capacité à migrer ou à s'adapter aux changements grâce à des outils de modélisation, comprenant différents scénarios envisageables pour le futur. Ces prédictions permettent de prendre des mesures de gestion forestière en réponse au changement du climat afin d'être efficace dans les prochaines décennies.

Dans ce contexte de changement climatique, l'étude qui va suivre se penche sur le cas de l'évolution des peuplements forestiers sur le site Natura 2000 de Petite Montagne dans le Jura français. Ce site est caractérisé par un contexte forestier particulier du fait de sa situation géographique à la croisée de plusieurs influences climatiques (méditerranéenne au sud, continentale ou montagnarde pour le reste). De plus, il y a une forte diversité des peuplements forestiers (hêtraies, tillaies sèches, chênaies, érablaies...), ce qui en fait une zone à forts enjeux liés au changement climatique, qui peut affecter les milieux forestiers et la gestion de manière différentielle.

2. Description du site d'étude

Le site Natura 2000 « Petite Montagne du Jura » est situé dans le sud du département du Jura en région de Franche-Comté, entre Lons-le-Saunier au Nord, le Revermont à l'Ouest, l'Ain au Sud et le massif du Haut-Jura à l'Est (Figure 4). Le site regroupe 48 communes dans 3 communautés de communes (Petite Montagne, Région d'Orgelet et Jura-Sud ; DOCOB, 2015) et comporte d'importantes surfaces d'habitats d'intérêt communautaire, ainsi que des espèces de la Directive européenne "Habitat-Faune-Flore".

Le site a été désigné Zone de Protection Spéciale (ZPS) au titre de la Directive européenne "Oiseaux" en 2006, et Zone Spéciale de Conservation (ZSC) au titre de la Directive européenne "Habitats-Faune-Flore" en 2009. Il s'agit donc d'une zone d'étude à forts enjeux de conservation. L'objectif de ce site Natura 2000 est de préserver la diversité biologique et d'assurer le maintien ou le rétablissement des habitats naturels et d'intérêt dans un état de conservation favorable (DOCOB). Sur ce site, d'autres mesures de protection réglementaire ou contractuelle sont associées en parallèle à Natura 2000 : des arrêtés de protection de Biotope, des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Floristique et Faunistique (ZNIEFF), des sites inscrits et classés ... (CRPF, 2006).

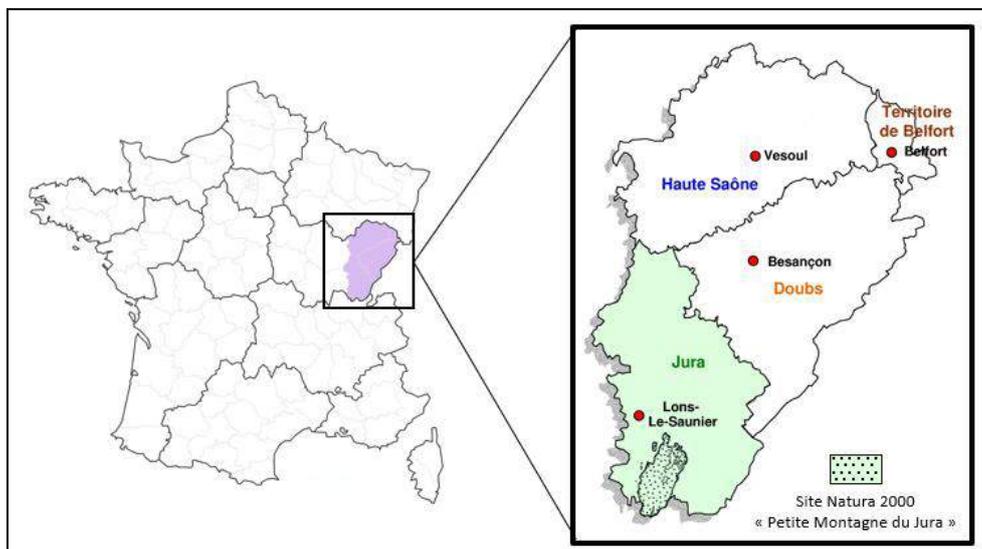


Figure 4 : Carte de localisation du site Natura 2000 de Petite Montagne du Jura en France métropolitaine

Le site de « Petite Montagne » a une superficie officielle de 38 293 ha avec une occupation du territoire de type agricole (un tiers de la surface) et forestier pour l'essentiel. Plus particulièrement, les forêts représentent 43% du territoire (environ 16 000 ha ; Figure 5) avec des peuplements forestiers d'intérêt communautaire ayant des conditions abiotiques spécifiques.

Sur ce site, le sol est caractérisé par des substrats de type calcaires, marneux et morainiques, avec des capacités drainantes. L'altitude est comprise entre 280 et 841 m, définissant ce secteur dans le domaine collinéen à montagnard. Le climat est relativement homogène sur tout le territoire et de type semi-continentale avec des influences océaniques. Les précipitations sont relativement abondantes et le site est drainé par trois bassins versant parallèles (le Suran, la Valouse et l'Ain) orientés Nord-Sud. La présence de gelées est possible de fin septembre à fin mai, pouvant affecter les peuplements forestiers. Enfin, les forêts d'intérêt concernées sont présentes majoritairement sur des chaînons pentus, et descendent plus ou moins dans le fond de vallée en fonction de l'activité agricole (ONF, 2002).

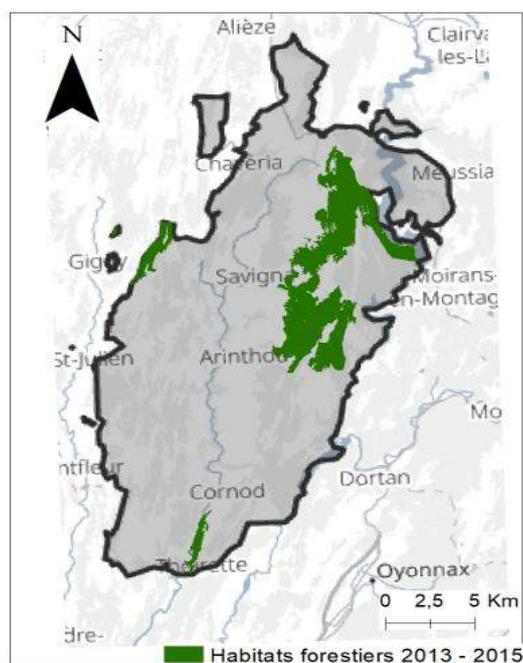


Figure 5 : Carte de localisation d'une partie des forêts (en vert) sur le site Natura 2000 de Petite Montagne, à partir d'un échantillonnage de 2013 à 2015, réalisé par le bureau d'étude ESOPE.

Le document d'objectifs (DOCOB) du site de Petite Montagne regroupe les ambitions à atteindre dans chaque domaine pour remplir les conditions d'appartenance à un site Natura 2000.

Pour les milieux forestiers, les objectifs sont de promouvoir une gestion sylvicole en préservant les habitats naturels et en favorisant le potentiel d'accueil des espèces d'intérêt communautaire, par des actions de restauration et d'entretien. Les pratiques sylvicoles (ou leur absence) vont donc fortement influencer sur les objectifs à réaliser. Ces pratiques mises en place pour atteindre ces objectifs doivent être en accord avec les enjeux de conservation des habitats et permettre de maintenir, voir d'augmenter, la superficie des habitats forestiers en bon état de conservation. Pour cela des études socio-économiques ont été réalisées par l'Office Nationale de Forêts (ONF), ainsi que des études cartographiques pour déterminer les zones à plus fort enjeux de conservation. Le site de Petite Montagne comprend un fort pourcentage de forêts privées, au sein duquel ces forêts sont fortement morcelées : 95 % des propriétaires possèdent moins de 4 hectares (CRPF, 2003). Dans un contexte général, ce morcellement peut constituer un inconvénient par rapport aux objectifs fixés par Natura 2000. Dans ces forêts privées de Petite Montagne, des structures et des types de peuplements variés peuvent être constatés tels que des futaies feuillues, des futaies résineuses, des mélanges futaie-taillis/feuillus dominants, des mélanges futaie-taillis/résineux dominants et des taillis (CRPF, 2006).

Le site Natura 2000 de Petite Montagne va regrouper plusieurs types d'habitats forestiers. Les principaux identifiés et cartographiés à ce jour sur le site Natura 2000 sont les suivants (Boucard, 2014 et 2016 ; Ferrez, 2011) :

- Chênaie pubescente (*Quercetum pubescenti - petraeae*)
- Chênaie sessiliflore thermophile (*Sorbo ariae - Quercetum petraeae*)
- Hêtraie acidophile à canche cespiteuse/ à pâturin de Chaix (*Deschampsia caespitosae - Fagetum sylvaticae*)
- Hêtraie neutrophile à aspérule (*Galio odorati - Fagetum sylvaticae*) et sa variante à buis
- Hêtraie calcicole à laîche blanche (*Carici albae - Fagetum sylvaticae*)
- Hêtraie submontagnarde à tilleul à larges feuilles (*Tilio platyphylli - Fagetum sylvaticae*)
- Tillaie mésotherme à érable à feuilles d'obier (*Aceri opali - Tiliatum platyphylli*)
- Frênaie - chênaie à primevère élevée (*Primulo elatiori - Quercetum roboris*)
- Frênaie - érable à scolopendre (*Phyllitido scolopendri - Aceretum pseudoplatani*)
- Frênaie - érable ripicole (*Fraxino excelsioris - Aceretum pseudoplatani*)
- Aulnaie - frênaie à reine des prés (*Filipendulo ulmariae - Alnetum glutinosae*)
- Aulnaie marécageuse à laîche des marais (*Carici acutiformis - Alnetum glutinosae*)
- Aulnaie blanche (*Alnus incana*)
- Saulnaie marécageuse à saule cendrée (*Frangulo alni - Salicetum cinereae*)

Parmi ces associations forestières, les suivantes sont des habitats à intérêt prioritaire selon la définition Natura 2000 : la tillaie mésotherme à érable à feuilles d'obier, la frênaie-érable à scolopendre, la frênaie-érable ripicole, l'aulnaie-frênaie à reine des prés et l'aulnaie blanche. Ces habitats n'occupent potentiellement que des petites surfaces sur le site mais ont un fort intérêt de conservation.

Au niveau économique, les types de peuplement forestier les plus productifs sont les sapinières pures et mêlées d'épicéa (10,6 m³/ha/an), les pessières (8,4 m³/ha/an) et les hêtraies (6,3 m³/ha/an) (CRPF, 2006). Concernant les forêts uniquement aménagées : 38 % sont productives, 46 % peu productives et 14 % non productives (ONF, 2002). La productivité diminue globalement du Nord-Ouest au Sud-Est et est essentiellement liée aux modes de gestion utilisés. Avant le XIX^{ème} siècle, la majorité du territoire de Petite Montagne était agricole et les forêts presque inexistantes. Avec la déprise agricole, les forêts se sont étendues sur l'ensemble de la région, et donc une gestion s'est vu nécessaire. La plupart des peuplements étaient gérés par des coupes de taillis sous futaie entre les années 1885 et 1960 (ONF, 2002). Mais cette gestion sur de longues périodes a globalement maintenu la pauvreté des forêts, en favorisant le taillis pour produire du bois d'œuvre (menuiserie, charpente...). La gestion actuelle suit les aménagements forestiers, lorsqu'ils sont présents, et un effort a été fait pour aménager les forêts les moins productives (ONF, 2002).

L'amélioration des connaissances a permis de mettre en place des méthodes de gestion plus anticipatives pour les coupes et les récoltes, et en fonction de la surface des enrésinements. Les forêts productives et moyennement productives sont gérées en conversion-transformation en futaie régulière (coupe rase sur arbres du même âge) ou irrégulière (suit les cycles naturels) par parquets (ONF, 2002). Les forêts peu ou pas productives sont, quant à elles, gérées en taillis et taillis sous futaie pour une partie, et en futaie irrégulière sur le surplus. Dans l'ensemble, la gestion se veut la plus adaptative possible en fonction de la productivité des forêts et donc de la composition des peuplements, mais aussi en fonction de la fertilité et de la composition du sol, ainsi que de l'âge des formations forestières. Les aménagements sont relativement peu ambitieux et peu contraignants du fait des difficultés pour écouler les produits (contrainte du buis, dispersion des îlots, manque de dessertes, prix du marché...).

Finalement, en plus des enjeux liés à la conservation des habitats forestiers, il y a aussi de forts enjeux socio-économiques sur ce site Natura 2000 de Petite Montagne.

3. Problématiques et objectifs

L'objet de l'étude est donc de mettre en lien le changement climatique et les peuplements forestiers du site Natura 2000 de Petite Montagne du Jura. A partir des constats sur l'impact du changement climatique sur les forêts, que ce soit à l'échelle globale ou locale, il peut être supposé que les forêts de Petite Montagne ne seront pas épargnées par ce phénomène.

A l'aide de modèles climatiques, des prédictions sur l'évolution des peuplements forestiers à différentes échelles de temps (court terme : 10-30 ans ; moyen terme : 50 ans ; long terme : 100 ans) pourront servir à mettre en place des conseils de gestion forestière sur le site de Petite Montagne, en mettant en parallèle les variations de différents facteurs liés au changement climatique et la distribution future des différentes espèces d'arbres.

Cette proposition de gestion tient compte des attentes d'un site Natura 2000, à savoir la préservation et le maintien des habitats forestiers d'intérêt communautaire, mais aussi la productivité des forêts pour maintenir un équilibre socio-économique dans la région.

II. MATERIELS ET METHODES

L'objectif de cette étude bibliographique, associée à une modélisation de l'évolution du climat du Jura sur les 100 ans à venir, est d'étudier l'impact du changement climatique sur les forêts de Petite Montagne.

La modélisation est obtenue grâce au site internet "DRIAS, les futurs du climat", qui met à disposition des projections climatiques régionalisées de la France. Les données utilisées ont été rassemblées dans l'Annexe 1.

Tableau 1 : Valeurs de la référence (1976 - 2005) pour chaque indice étudié

Indices	Référence	Indices	Référence
Température minimale	4 - 8 °C	Cumul des précipitations estivales	250 - 500 mm
Température maximale	10 - 14 °C	Indicateur sécheresse d'humidité des sols (SSWI)	Normal
Température moyenne	5 - 10 °C	Indicateur sécheresse météorologique (SPI)	Normal
Cumul des précipitations annuelles	1400 - 1600 mm	Indice feu météorologique	2 - 4
Cumul des précipitations hivernales	400 - 500 mm	Nombre de jour de gel par an	50 - 100

Trois horizons de temps ont été explorés (proche : 2021-2050 ; moyen : 2041-2070 et lointain : 2071-2100) pour lesquels des projections climatiques sont calculées par rapport à une période passée (référence : 1976-2005), dont les valeurs des indices sont connues (Tableau 1).

1. Les indices utilisés

Une dizaine d'indices a été utilisée pour prévoir les changements du climat au cours du temps :

- Les températures minimales, maximales et les moyennes annuelles (en °C).
- Les cumuls des précipitations annuelles, hivernales et estivales (en mm).
- L'indicateur sécheresse d'humidité des sols (SSWI - *Standardized Soil Wetness Index*) qui permet d'évaluer l'état de la réserve en eau d'un sol par rapport à sa réserve optimale. Quand l'indice est proche de 1 ou supérieur, le sol est humide tandis que lorsqu'il tend vers 0 ou en-dessous il y a un stress hydrique.
- L'indicateur sécheresse météorologique (SPI - *Standardized Precipitation Index*) qui repose uniquement sur les précipitations mensuelles. L'indice est négatif pour caractériser les sécheresses et positif pour des conditions humides.
- L'indice feu météorologique (IFM), qui est une estimation du risque d'occurrence d'incendie.
- Le nombre de jours de gel par an.

2. Les scénarios et les modèles

Selon les indices considérés, la modélisation s'est faite suivant différentes familles de scénarios :

a. Les RCP (*Representative Concentration Pathway*)

C'est une famille de plusieurs scénarios définis par le GIEC en 2014 et qui sont associés à des politiques d'adaptation et d'atténuation d'émission de gaz à effet de serre. Les différents scénarios sont catégorisés suivant le forçage radiatif, c'est-à-dire la différence entre l'énergie radiative reçue par le système et celle émise, au niveau de la troposphère (couche de l'atmosphère). Si cette différence est positive alors il y aura une tendance à réchauffer le système et au contraire si la différence est négative il y aura un refroidissement.

Les trois scénarios RCP ont donc été définis comme suit :

- Le RCP 2.6 correspond à un forçage radiatif de $+2,6 \text{ W/m}^2$ et fait office de scénario optimiste. Il prévoit des émissions de gaz à effet de serre modérées, avec une application de politique de réduction drastique des émissions de CO_2 .
- Le RCP 4.5 à $+4,5 \text{ W/m}^2$ est le scénario intermédiaire qui prévoit une diminution des émissions de CO_2 dans l'atmosphère d'ici 2050, mais avec des concentrations ne se stabilisant qu'en 2100.
- Le RCP 8.5 à $+4,5 \text{ W/m}^2$ correspond au scénario pessimiste et prévoit les plus fortes émissions de CO_2 avec une augmentation soutenue au cours du XXI^e siècle.

Ces scénarios ont été implémentés à l'aide du modèle ALADIN (*Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational* - Bubnova, 1995 ; Radnoti 1995) qui est alimenté par des simulations d'ARPEGE de Météo-France (modèle couvrant l'ensemble du globe, maille de 7,5 km pour l'Europe) ou de l'IFS (*Integrated Forecasting System* - modèle pour les prévisions à long terme du Centre européen de prévision météorologique à moyen terme - CEPMMT). Il est utilisé pour les prédictions de température et de précipitation.

b. Les SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*)

C'est une famille de scénarios qui a été développée par le GIEC en 2007, lors de son 4^{ème} rapport sur l'évolution des émissions de gaz à effet de serre.

Les 3 scénarios possibles peuvent être définis comme suit :

- Scénario B1 : un scénario sur une évolution socio-économique optimiste. Il modélise un monde avec une économie axée sur des services et des technologies propres et durables, avec un changement rapide dans les modes de vie. Les activités productrices de matières polluantes sont moins importantes, pour adopter

des technologies propres et une utilisation efficace de la ressource. Il prévoit une augmentation de température entre 1,1 et 2,9 °C.

- Scénario A1B : il établit un équilibre entre toutes les sources d'énergie, et équivaut à un scénario de prédiction intermédiaire. Il prévoit une augmentation de la température entre 1,4 et 3,5 °C.
- Scénario A2 : il décrit des prédictions plus pessimistes avec un monde plus hétérogène. Il n'y aurait pas de redistribution des ressources naturelles disponibles, des connaissances technologiques et du bien-être entre les régions riches et pauvres. Il prévoit une augmentation de la température entre 3 et 5 °C.

Ces scénarios ont été implémentés à l'aide du modèle V4.6 étiré du CERFACS (Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique), qui est un modèle atmosphérique global. Le modèle est appelé "étiré" car il a la capacité de basculer pour changer la position du pôle et augmenter la résolution de la zone d'intérêt. Ces scénarios permettent de modéliser les indices de sécheresse (SSWI, SPI) et de feu (IFM).

Une comparaison des prédictions entre les scénarios RCP et SRES peut être faite au cours du temps (Fig. 6).

Tous les indices précédemment cités ont permis d'élaborer des cartes prédictives du climat au niveau du département du Jura selon les différents scénarios et horizons de temps envisagés. Il est important de noter que le poids de l'incertitude lié aux modèles est important, mais il est observé, le plus souvent, des tendances évolutives de même sens.

Pour finir, les représentations cartographiques des habitats forestiers ainsi que la localisation du site d'étude ont été faites avec le logiciel ArcMap® (version v.10.2.2).

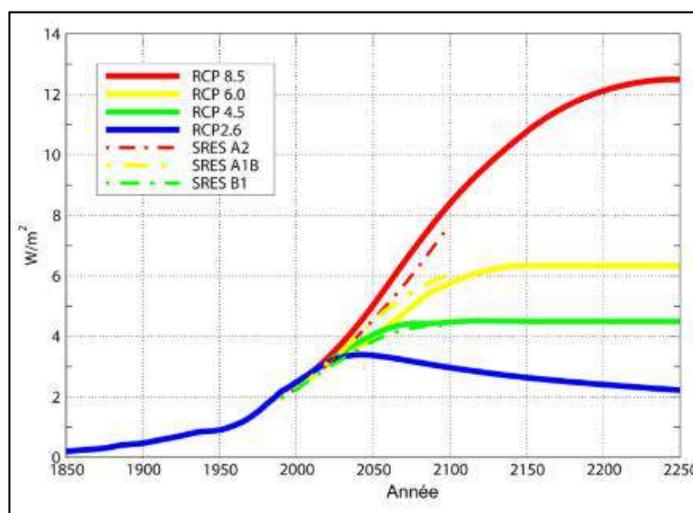


Figure 6 : Comparaison des prédictions au cours du temps des scénarios RCP (traits pleins) et SRES (tirets). (Source : DRIAS).

III. PREVISIONS DES MODELES CLIMATIQUES : évolution du climat

1. Evolution du climat

Pour chaque indice, les cartes de modélisation présentées correspondent au scénario intermédiaire RCP 4.5 du GIEC. Les cartes correspondant aux deux autres scénarios sont présentées en annexe.

a. Températures

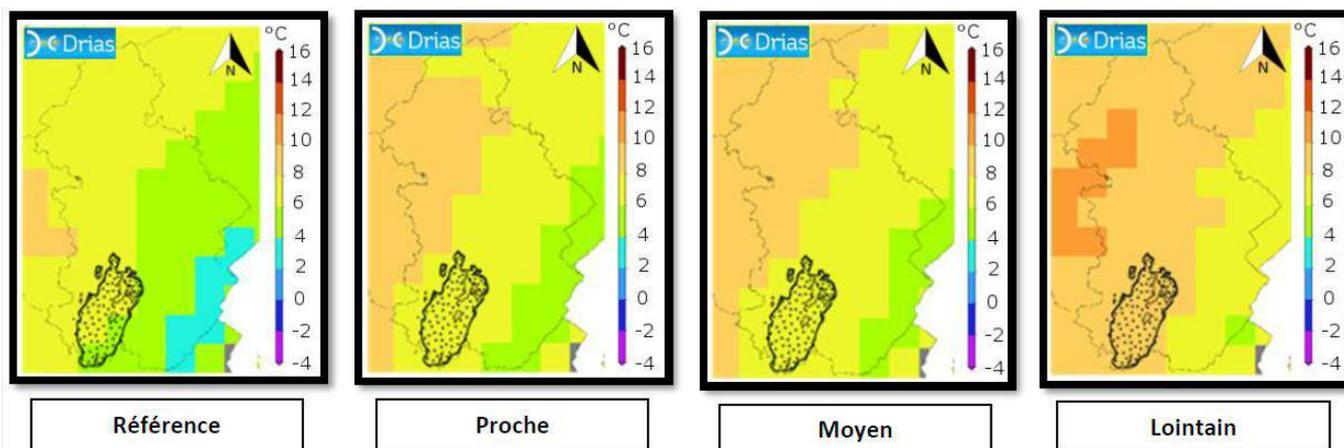
Les modèles climatiques effectués présentent tous des augmentations de température au cours du temps, plus ou moins élevées suivant le scénario modélisé (Figure 7, Tableau 2, Annexe 2).



Sur un horizon proche, quel que soit le scénario, il y a une augmentation des températures minimales de +1°C, des maximales de +1,5°C et des températures moyennes quotidiennes de +2,5°C, par rapport à la référence actuelle (Tableau 1).

Pour l'horizon moyen, les températures sont identiques pour les scénarios optimistes et intermédiaires avec une augmentation des températures maximales de +1,5°C, les minimales de +1°C et la moyenne de +3,5°C. L'augmentation des températures pour le scénario pessimiste est plus importante avec +2°C pour les minimales, +4°C pour les maximales et +4,5°C pour la température moyenne.

(a) Températures minimales



(b) Températures maximales

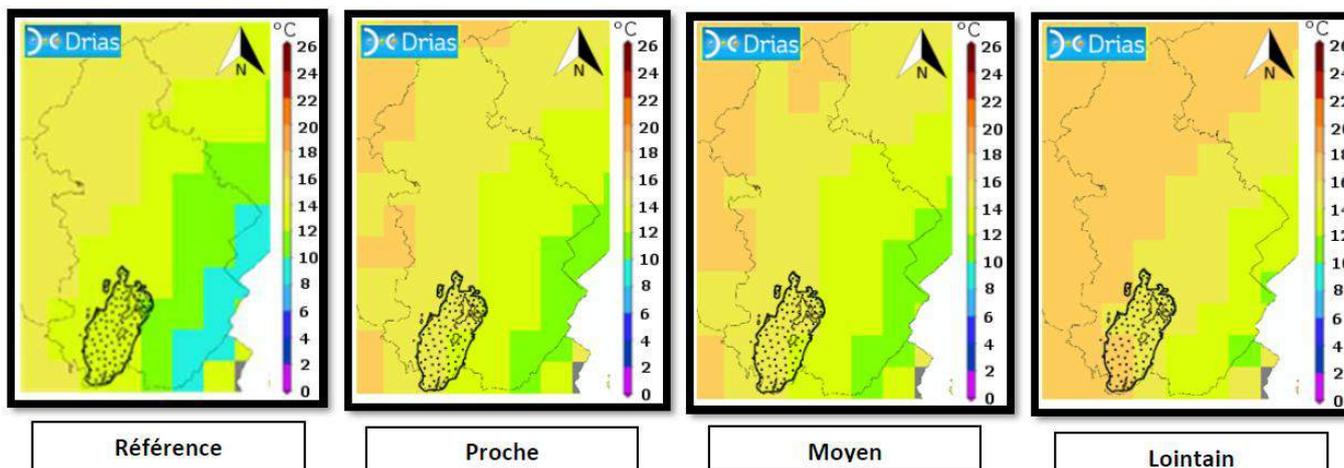


Figure 7 : Modélisation de l'évolution des températures minimales (a) et maximales (b) au cours du siècle pour le scénario intermédiaire, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : DRIAS)

Tableau 2 : Evolution des températures (°C) en fonction de 3 scénarios (optimiste, intermédiaire et pessimiste) sur 3 horizons de temps (proche, moyen et lointain) dans le site Natura 2000 de Petite Montagne du Jura.

	Température quotidienne (°C)	Horizon proche (2021 - 2050)	Horizon moyen (2041 - 2070)	Horizon lointain (2071 - 2100)
RCP 2.6 (optimiste)	Minimale	6-8	6-8	6-8
	Maximale	12-15	12-15	12-15
	Moyenne	8-12	10-12	10-12
RCP 4.5 (intermédiaire)	Minimale	6-8	6-8	8-10
	Maximale	12-15	12-15	12-20
	Moyenne	8-12	10-12	10-14
RCP 8.5 (pessimiste)	Minimale	6-8	6-10	10-12
	Maximale	12-15	12-20	15-20
	Moyenne	8-12	10-14	12-16

Enfin, pour l'**horizon lointain**, les 3 scénarios se distinguent clairement. En effet, le scénario optimiste reste constant avec une augmentation de température stable à tous les horizons de temps et pour tous les indices. Le scénario pessimiste montre une forte augmentation des températures de +5°C pour les minimales à +5,5°C pour les maximales, et en moyenne +6,5°C. A cet horizon de temps, le scénario pessimiste se rapproche des tendances actuellement observées dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Annexe 3) qui est sous influence d'un climat méditerranéen. Quant au scénario intermédiaire, il montre une augmentation des températures comprises entre les scénarios optimistes et pessimistes.

Ces résultats signifient que les arbres vont devoir s'adapter à de plus fortes températures dans tous les cas dans le département du Jura, par rapport aux valeurs enregistrées actuellement.

b. Précipitations



Pour l'**horizon de temps proche**, le scénario optimiste est similaire à la référence pour les moyennes annuelles des précipitations tandis que pour les scénarios intermédiaires et pessimistes, une légère hausse de +50 mm est observée en moyenne (Figure 8, Tableau 3, Annexe 4). Pour tous les scénarios, le cumul des précipitations hivernales varie avec une plus grande amplitude que celui de la référence (250-500 mm). Enfin, le cumul des précipitations estivales diminue pour tous les scénarios, avec une réduction plus marquée pour les scénarios intermédiaires et pessimistes.

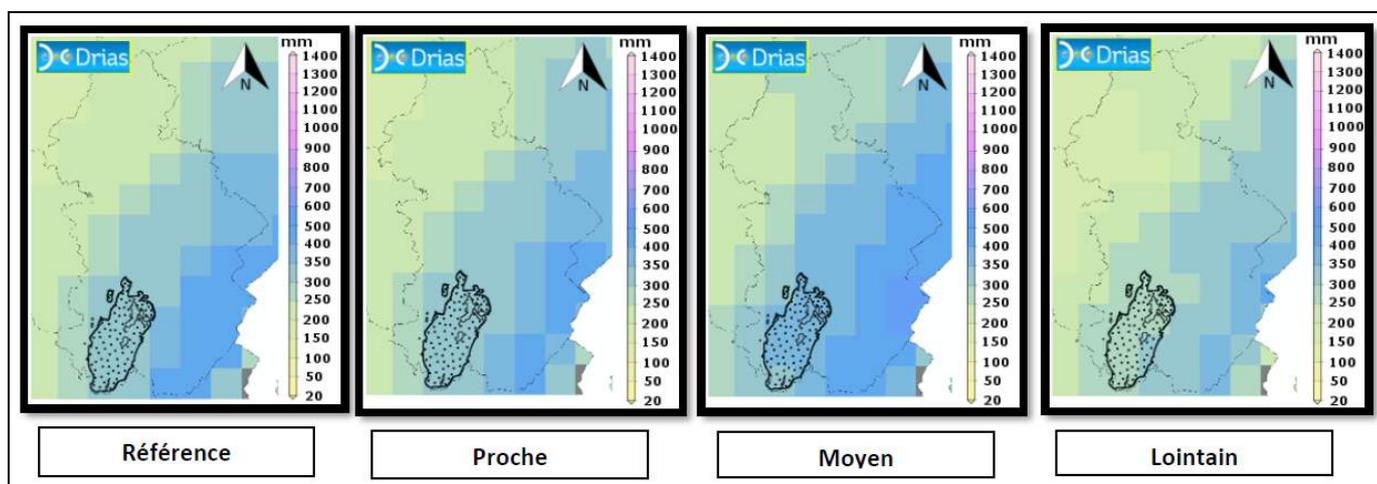


Figure 8 : Modélisation de l'évolution cumulée des précipitations estivales au cours du siècle pour le scénario intermédiaire, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : DRIAS)

Tableau 3 : Evolution des précipitations (en mm) en fonction de 3 scénarios (optimiste, intermédiaire et pessimiste) sur 3 horizons de temps (proche, moyen et lointain) dans le Jura.

	Cumul des précipitations (mm)	Horizon proche (2021-2050)	Horizon moyen (2041-2070)	Horizon lointain (2071-2100)
RCP2.6 (optimiste)	Hivernale	300-500	300-500	300-500
	Estivale	250-500	250-400	250-400
	Annuelle	1400-1600	1400-1600	1500-1600
RCP4.5 (intermédiaire)	Hivernale	300-550	300-500	300-480
	Estivale	250-400	250-400	250-300
	Annuelle	1550-1700	1550-1700	1400-1500
RCP8.5 (pessimiste)	Hivernale	300-550	300-500	300-500
	Estivale	250-400	250-300	200-250
	Annuelle	1550-1700	1450-1600	1300-1400

Pour l'horizon de temps moyen, les scénarios optimistes et pessimistes sont plutôt similaires à la référence pour les moyennes annuelles des précipitations, tandis que pour le scénario intermédiaire une légère hausse de +50 mm est observée. Pour tous les scénarios, le cumul des précipitations hivernales a légèrement diminué, de -50 mm, par rapport à la situation de référence. Enfin, les cumuls des précipitations estivales sont en légère diminution de -50 mm pour les scénarios optimistes et intermédiaires et de -100 mm pour le scénario pessimiste. Pour l'horizon de temps lointain, le scénario optimiste est similaire à la référence tandis que les deux autres scénarios présentent une diminution des cumuls des précipitations hivernales, avec -100 mm pour l'intermédiaire et -150 mm pour le pessimiste. Enfin, les cumuls des précipitations estivales diminuent également : de -50 mm pour le scénario optimiste, de -100 mm pour le scénario intermédiaire et de -150 mm pour le scénario pessimiste.

En comparant ces résultats avec la référence de la moyenne annuelle des précipitations prise dans la région PACA (Annexe 3), le scénario le plus pessimiste de l'horizon lointain dans le Jura tend vers le climat méditerranéen de cette région. Cela peut laisser sous-entendre qu'il y aura une remontée du climat méditerranéen jusque dans le Jura à la fin du siècle, si aucune mesure n'est prise en matière d'émissions de gaz à effet de serre.

De manière générale, les précipitations vont diminuer au cours des 100 prochaines années au niveau des forêts de Petite Montagne. Il est très probable que ce phénomène induise une réduction de la disponibilité en eau pour les espèces forestières et donc impacte leur croissance ou leur survie. Les espèces résistantes à un manque d'eau seront potentiellement mieux adaptées que les espèces sensibles à la déshydratation.

c. Sécheresse

Pour les prévisions par rapport à la sécheresse, deux indicateurs ont été utilisés : un indicateur sécheresse d'humidité des sols (SSWI) et un indicateur de sécheresse météorologique (SPI).

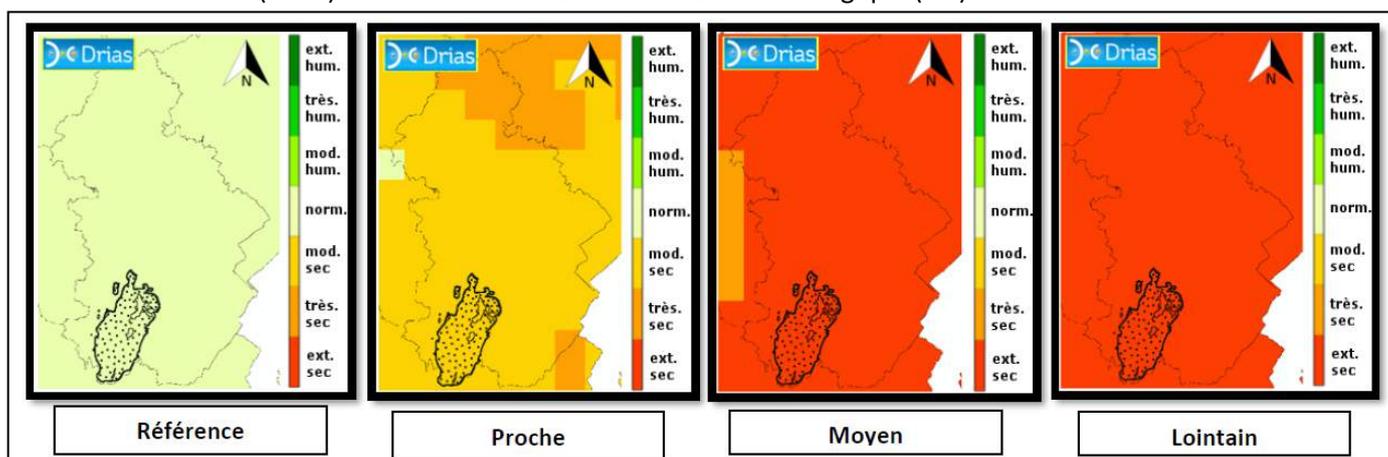


Figure 9 : Modélisation de l'évolution de la sécheresse des sols (SSWI) au cours du siècle pour le scénario intermédiaire, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : DRIAS)

Tableau 4 : Evolution de la sécheresse en fonction de 3 scénarios (optimiste, intermédiaire et pessimiste) sur 3 horizons de temps (proche, moyen et lointain) dans le Jura.

	Sécheresse	Horizon proche (2021-2050)	Horizon moyen (2041-2070)	Horizon lointain (2071-2100)
B1 (optimiste)	SSWI	Modérément sec à normal	Modérément sec	Extrêmement sec
	SPI	Normal	Normal	Normal
A1B (intermédiaire)	SSWI	Modérément sec	Extrêmement sec	Extrêmement sec
	SPI	Normal	Normal	Très sec
A2 (pessimiste)	SSWI	Modérément sec	Extrêmement sec	Extrêmement sec
	SPI	Normal	Normal	Très sec

Le sol tend à devenir plus sec à l'horizon proche, de façon moins marqué pour le scénario optimiste que pour le scénario pessimiste (Figure 9, Tableau 4, Annexe 5). L'assèchement du sol est beaucoup plus important sur les horizons de temps moyen et lointain pour les 3 scénarios. Selon le scénario optimiste, le phénomène serait moindre par rapport aux deux autres scénarios pour l'horizon moyen, mais il rejoint les mêmes prédictions à l'horizon lointain. Concernant la sécheresse météorologique, celle-ci reste moyenne à l'horizon proche et moyen dans le secteur de Petite Montagne, mais devient sec à l'horizon lointain, surtout pour les scénarios pessimistes et intermédiaires.

Ces prédictions indiquent que l'atmosphère et le sol deviendront de plus en plus secs au cours du temps, avec un assèchement progressif, mais beaucoup plus marqué pour les scénarios intermédiaires et pessimistes. Ce phénomène aura des conséquences négatives sur les espèces d'arbres non résistantes à la sécheresse et les mettrait en situation de stress hydrique. Cela pourrait également accroître la vulnérabilité de certaines espèces à d'autres perturbations comme le feu ou les vents (Schnitzler-Lenoble, 2002). Les épisodes de sécheresse provoqueraient donc une diminution de la production de bois (Roman-Amat 2007), ce qui impacterait, de façon non négligeable, l'économie de la région.

2. Risques liés au changement climatique



a. Gels

Au fil des années, le nombre de jour de gel par an diminuera de plus en plus, de manière plus importante pour le scénario pessimiste par rapport aux autres scénarios (Tableau 5). Cette diminution coïncide avec les hausses de températures attendues. Potentiellement, les espèces sensibles aux gelées pourront mieux se maintenir dans ces nouvelles conditions. En effet, le froid pouvant entraîner de fortes destructions en fonction de son intensité (blocage de la feuillaison, de la croissance, de la photosynthèse...), son impact sera moins important avec le réchauffement. En revanche, l'impact du gel, même s'il deviendra de moins en moins fréquent, est variable suivant la période à laquelle il arrive et il pourra toujours avoir des effets négatifs sur les essences forestières. Il peut y avoir des gelées précoces (en automne) et/ou tardives (au printemps), avec des impacts différents. Pour les gelées précoces, les mécanismes de préparation au gel ne sont pas encore mis en place quand elles arrivent, et donc s'il y a un coup de froid brutal, les arbres peuvent subir des lésions voir des nécroses cambiales au niveau du tronc (INRA). Les espèces qui seront les plus sensibles sont les espèces à écorces fines, comme le hêtre. Ces lésions pourraient favoriser l'installation de champignons lignivores ou des suintements attirant les insectes xylophages. Pour les gelées tardives, c'est le mécanisme de débourrement, et par conséquent la croissance de l'arbre, qui est le plus affecté. Elles ont pour conséquences de détruire les jeunes pousses déjà formées mais pas encore lignifiées (INRA).

Au final, avec le réchauffement du climat et la diminution du gel, le débourrement sera plus précoce et donc la croissance des arbres pourrait être favorisée.

Tableau 5 : Evolution du nombre de jour de gel par an en fonction de 3 scénarios (optimiste, intermédiaire et pessimiste) sur 3 horizons de temps (proche, moyen et lointain) dans le Jura.

	Horizon proche (2021-2050)	Horizon moyen (2041-2070)	Horizon lointain (2071-2100)
RCP2.6 (optimiste)	50-90	50-80	40-80
RCP4.5 (intermédiaire)	50-80	50-80	20-60
RCP8.5 (pessimiste)	40-80	30-60	25-45

b. Incendies

Dans la région de Petite Montagne les feux de forêt sont actuellement peu fréquents. En modélisant la probabilité d'avoir des feux de forêt au cours du temps, il peut être constaté que sur un horizon proche cette occurrence reste faible (Figure 10, Tableau 6, Annexe 6).

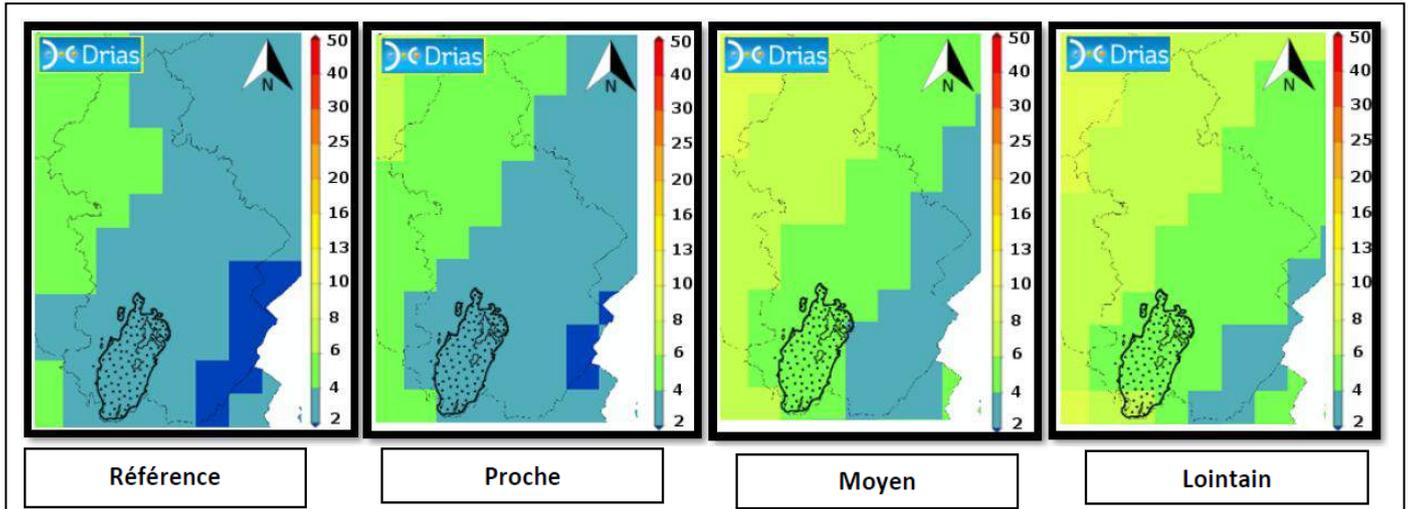


Figure 10 : Modélisation de l'évolution de l'indice feu météorologique (IFM) au cours du siècle pour le scénario intermédiaire, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : DRIAS)

Tableau 6 : Evolution de la fréquence des incendies en fonction de 3 scénarios (optimiste, intermédiaire et pessimiste) sur 3 horizons de temps (proche, moyen et lointain) dans le Jura.

	Horizon proche (2021-2050)	Horizon moyen (2041-2070)	Horizon lointain (2071-2100)
B1 (optimiste)	2-4	2-4	2-6
A1B (intermédiaire)	2-4	4-6	4-8
A2 (pessimiste)	2-4	4-6	4-8

En revanche à un horizon de temps moyen, les risques d'incendies augmentent pour les scénarios intermédiaires et pessimistes, et deviennent beaucoup plus fréquents. Cette augmentation devient plus forte à l'horizon lointain avec une forte augmentation de l'occurrence des feux par rapport à la référence. Même pour le scénario optimiste cette augmentation est aussi significative sur le long terme.

L'augmentation d'occurrence des feux peut entraîner une accélération du cycle des nutriments pour les arbres, ainsi qu'une augmentation de leur mortalité avec des pertes de banque de graine et des dommages directs sur les individus (Dale, 2001). Le feu peut potentiellement stimuler la germination des graines et la multiplication végétative s'il arrive après une longue période sans perturbation mais, si des feux se succèdent, les impacts sur les arbres sont beaucoup plus sévères avec des taux de mortalité plus élevés (Schnitzler-Lenoble, 2002). De plus, cette augmentation des feux est étroitement liée à la diminution des teneurs en eau des arbres, ce qui entraîne une augmentation de leur inflammabilité et combustibilité (Roman-Amat, 2007). Les feux vont donc modifier le paysage et la composition des forêts car, ici encore, les arbres les moins résistants aux incendies disparaîtront au profit des plus résistants.



©Justin Sullivan

c. Pathogènes et ravageurs

L'arrivée de pathogènes ou de ravageurs est une des conséquences indirectes liées au changement climatique. De ce fait, une synthèse bibliographique a pu être faite sur leur présence ou leur possible apparition en Petite Montagne en réponse au changement climatique (Annexe 7).

En situation sans perturbation, les arbres sont capables de mettre en place des défenses contre les pathogènes et les ravageurs et peuvent se maintenir face aux attaques (De Profit, 2007). Mais, avec les perturbations amenées par le changement climatique, les arbres ne pourront pas faire face de la même manière aux invasions et seront beaucoup plus sensibles à l'arrivée de nouveaux pathogènes. Les impacts des pathogènes et des ravageurs vont être variés suivant leur origine et leur cible, mais ils sont les plus souvent négatifs sur le développement des arbres, pouvant aller jusqu'à un dépérissement massif des peuplements forestiers (Gillmann, 2010).

De nombreux facteurs liés au changement climatique comme la sécheresse, l'augmentation des températures, les incendies ou encore la pluviométrie peuvent permettre l'arrivée de nouveaux pathogènes et ravageurs (Schvester, 1985 ; Marçais, 2000) et peuvent favoriser leur migration vers le Nord. Celle-ci se ferait plus rapidement que la migration des arbres (Nageleisen, 2010), ce qui va donc affecter des espèces natives d'arbres, pas forcément adaptées à ces nouveaux arrivants (Dale, 2001). La fréquence et l'intensité des maladies amenées par ces pathogènes vont dépendre des conditions environnementales, et suivant l'intensité du changement climatique (Gillmann, 2010). Ces pathogènes sont d'origine variée et peuvent aussi bien être des insectes défoliateurs, des coléoptères xylophages ou encore des champignons et des scolytes.

Les longues périodes de chaleurs, alliées à de fortes sécheresses, vont provoquer des accroissements dans les populations de ces pathogènes, ce qui impacterait fortement les peuplements forestiers.

Exemples spécifiques d'essences forestières

- **Epicéa**

Des coléoptères ravageurs ou scolytes (*Ips typographus*, *Dendroctonus milans*, *Corthylus*) peuvent déclencher une importante sécrétion résineuse, entraînant la formation de cône de résine (Lévieux, 1985). Ces ravageurs peuvent proliférer et détruire de nombreux ensembles d'Epicéa, surtout pendant les étés secs (De Profit, 2007). Sur le long terme, cela favoriserait la disparition des peuplements d'Epicéa en Petite Montagne du Jura. Un des ravageurs les plus fréquents est le scolyte curvidenté (*Pityokteines curvidens*), qui a déjà été signalé dans le Jura (Beenken-Heft, 2018).



©P.Falatico
Scolyte curvidenté
(*Pityokteines curvidens*)

- **Chênes**

Des dépérissements massifs peuvent être constatés par la présence de champignons (*Armillaria mellea*, *Collybia fusipes*) qui vont dégrader le système racinaire, sans aucun symptôme aérien (Delatour, 1990). D'autres champignons (*Ophiostoma* et *Ceratocystis*) provoquent des maladies vasculaires. Ces pathogènes sont donc difficilement détectables d'un point de vue extérieur et ils nécessitent une surveillance accrue des individus pour détecter une potentielle invasion. De même, cette surveillance est conseillée pour la processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*), qui a été signalée ponctuellement en Franche-Comté, mais dont les dégâts ne peuvent pas être négligés (DSF, 2017).



©Laurent Francini
Collybie à pied en fuseau

Exemples spécifiques d'essences forestières

- **Hêtres**

L'orchestre du hêtre (*Orchestes fagi*) a été observée localement dans les premiers plateaux du massif jurassien, mais son incidence reste actuellement minime. Son impact négatif sur la croissance des arbres pourrait augmenter si ses attaques sont répétées sur plusieurs années, provoquant des pertes de vitalité chez les hêtres (DSF, 2017). Le chancre du hêtre (*Nectria ditissima*) et d'autres pathogènes (*Nectria coccinea*, *Botryosphaeria dothidea* ...) sont notés dans la région et leur développement vont s'accroître avec le changement climatique.

Chancre du hêtre
© Patrick Hodge



- **Frênes**

La chalarose du frêne (*Chalara fraxinea*) a colonisé toute la région et elle continue de s'étendre sur l'ensemble du territoire (DSF, 2017). Ce pathogène va avoir un impact plus important sur les jeunes peuplements que sur les adultes, même si la situation est difficile à évaluer car les connaissances actuelles sont limitées. Il pourra être attendu à une forte expansion de ce pathogène avec le changement du climat et donc à une augmentation des arbres affectés, pouvant aller jusqu'à la mort d'un nombre conséquent d'individus.

Nécrose au collet du à la chalarose
© C. Husson



Un second problème soulevé par les ravageurs est leur capacité de reproduction rapide, avec parfois plusieurs générations successives dans une même année (multi-voltinisme ; Nageleisen, 2010), ce qui augmente le nombre de ravageurs présents et affecte les arbres en plus grand nombre (De Profit, 2007). Les dégâts causés par les ravageurs et les pathogènes vont laisser des vides dans de nombreux peuplements, ce qui est favorable à d'autres espèces d'arbres colonisatrices, pouvant s'installer à la place de celles infectées (De Profit, 2007). La conséquence sur le long terme serait un remodelage des compositions des peuplements forestiers. Mais ces vides peuvent aussi exposer les autres espèces végétales présentes à d'autres facteurs climatiques comme le vent, et limitent ainsi le type d'essences pouvant s'installer dans ces zones.

Ce type de situation est constaté actuellement en Petite Montagne du Jura pour le buis (*Buxus sp.*), qui a été dévasté par la pyrale du buis (*Cydalima perspectalis*). Cet insecte ravageur s'attaque en particulier aux feuilles et entraîne des défoliations extrêmes et massives sur tous les peuplements de buis. Toutefois, la ressource alimentaire pour cette pyrale deviendra limitée au fil des années et leur population diminuera (DSF, 2017).

Cydalima perspectalis
© Hélène Rival



Cependant, il ne faut pas oublier les parasites qui ont des effets positifs sur le développement des arbres comme les champignons mycorhiziens. Ceux-ci pourraient être dans l'incapacité de s'adapter face au changement climatique, et impacterait donc indirectement la productivité forestière en ralentissant ou en stoppant la croissance des arbres (Marçais, 2000). C'est donc un facteur indirect à prendre en compte dans le contexte du changement climatique. Ces arrivées de pathogènes et de ravageurs dues au changement de climat pourraient avoir un impact significatif sur la productivité forestière (Marçais, 2000), et la gestion forestière devra s'adapter à ces nouvelles conditions.

Il est donc primordial d'essayer de prédire les comportements des peuplements dans ce contexte de changement global.

3. Prévisions de la répartition des essences forestières et évolution des peuplements en Petite Montagne

a. Constats en Petite Montagne

Une étude de 2017 sur la santé des forêts fait la synthèse des perturbations subies par les groupements forestiers dans la région de Franche-Comté (DSF, 2017) et tend à appuyer les prédictions climatiques ci-dessus. Des conditions de stress climatique défavorables, des gelées tardives, des épisodes de sécheresse-canicule et des débourrements précoces ont bien été constatés dans la région.

De même, des dépérissements ont été constatés pour le chêne pédonculé (*Quercus robur*), le sapin pectiné (*Abies alba*), les pins (*Pinus sp.*) et les douglas (*Pseudotsuga menziesii*), ainsi qu'une augmentation d'attaques de pathogènes (scolytes, chararoses, pyrales, champignons...). Les frênes et le buis sont les espèces qui ont le plus souffert en 2017. Par rapport aux conditions climatiques, il y a eu un déficit pluviométrique de 15% en moyenne et une augmentation de la température de 1°C en moyenne sur la région. L'étude a aussi mis en avant les différentes causes possibles de mortalité des arbres et la sécheresse est le principal facteur de dégâts avec 64 % des arbres touchés (Figure 11).



Scolyte du pin
© Pomares Thierry Sarl

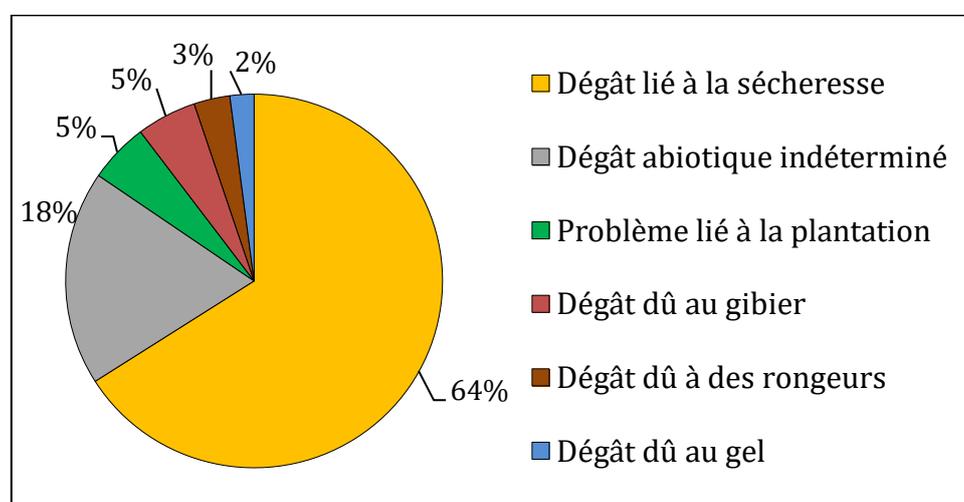


Figure 11 : Principales causes de mortalité des plants d'arbres en Bourgogne-Franche-Comté à l'automne 2017. (Source : Département de la Santé des Forêts DSF, 2017).

b. Prédictions sur l'évolution des espèces

Ainsi, parmi les espèces d'arbres présentes sur le site de Petite Montagne, plusieurs pâtiront des modifications du changement climatique, en particulier celles situées en limite de leur aire de répartition (Keller, 2000 ; Piedallu, 2009 ; Thuillier, 2005). C'est le cas d'une grande partie des résineux présents sur le site en basse altitude comme l'épicéa (*Picea abies*) et le sapin pectiné (*Abies alba*). Les fortes températures et surtout les sécheresses estivales, qui ne feront que s'accroître au fil du siècle, accompagnées d'une augmentation de ravageurs et de pathogènes, entraîneront le dépérissement puis le déclin de ces espèces. Ces prédictions tendent déjà à se confirmer en basse altitude, puis les essences seront affectées de plus en plus haut.

Au contraire, certaines espèces auront une aire de répartition qui va augmenter et notamment les espèces méridionales qui remonteront vers le Nord. Sur le très long terme, de nouvelles espèces actuellement présentes dans la partie Sud de la France (Méditerranée, Aquitaine) sont attendues en Petite Montagne.

Les espèces de feuillus très demandeuses en eau ne seront pas non plus épargnées par le changement climatique. Ce sera le cas du hêtre (*Fagus sylvatica*), du chêne pédonculé (*Quercus robur*), du merisier (*Prunus avium*), de l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), du tilleul à feuilles cordées (*Tilia cordata*), du frêne (*Fraxinus excelsior*) ou encore de l'orme des montagnes (*Ulmus glabra*), qui risquent de souffrir de la diminution des précipitations lors de leur période de végétation, ralentissant leur régénération. Les crises de dépérissement risquent d'être plus nombreuses, surtout si ces arbres se trouvent sur des sols en limite de capacité hydrique. Localement, ces arbres pourront persister si les caractéristiques du site correspondent à leur optimum écologique, notamment sur des sites avec des sols ayant de bonnes capacités de rétention hydrique et/ou moins exposés au soleil. Cependant, d'autres espèces pourront mieux s'adapter et résister aux changements comme le chêne sessile (*Quercus petraea*), le tilleul à grandes feuilles (*Tilia platyphyllos*), le charme (*Carpinus betulus*), l'érable champêtre (*Acer campestre*) et plane (*Acer platanoides*), l'alisier torminal (*Sorbus torminalis*), le bouleau verruqueux (*Betula pendula*), le châtaignier (*Castanea sativa*), ou encore le mélèze d'Europe (*Larix decidua*). Il sera d'ailleurs probable que le chêne sessile remplace le chêne pédonculé si ce dernier vient à régresser, en raison d'une plus grande résistance à la sécheresse.

Concernant les incendies, les feux vont modifier le paysage et la composition des forêts et les arbres les moins résistants finiront par disparaître au profit des plus résistants. Les conifères seront les plus touchés comme l'épicéa (*Picea abies*) et le sapin pectiné (*Abies alba*) car ils flambent beaucoup plus facilement que les feuillus (Schnitzler-Lenoble, 2002). Certaines espèces seront quant à elles plus résistantes au feu, comme le chêne pubescent (*Quercus pubescens*).

Au vu des prédictions du climat et des différentes espèces d'arbres présentes sur le site, la question se pose de savoir si les adaptations actuelles de ces espèces seront suffisantes pour leur conférer une résilience aux nouvelles conditions climatiques (Dale, 2001).

c. Prédiction sur l'évolution des peuplements

Plus généralement, les habitats prioritaires et communautaires du site Natura 2000 seront très probablement en forte diminution ou menacés. Ainsi, les hêtraies neutrophiles, qui composent 89 % des habitats communautaires, seront très probablement soumis aux régressions du hêtre (*Fagus sylvatica*), du chêne pédonculé (*Quercus robur*) et du frêne (*Fraxinus excelsior*), particulièrement si la pluviométrie est inférieure à 700 mm/an. Les chênes sessiles et les charmes seront avantagés par leurs exigences écologiques plus tolérantes aux sécheresses et au déficit hydrique.

En ce qui concerne les associations prioritaires de Petite Montagne :

- La frênaie-érablaie à scolopendre risque de voir ses frênes régresser mais les autres espèces qui la compose devraient résister au changement climatique et pourront donc les remplacer naturellement.
- Le même constat peut être fait pour la frênaie-érablaie ripicole.
- L'aulnaie-frênaie à reine des prés et l'aulnaie blanche risquent de subir des assèchements qui affecteraient sa flore et pourraient conduire à la transformation du peuplement.
- La tillaie mésotherme à érable à feuilles d'obier sera sûrement un des peuplements les moins menacé car il est composé d'essences plutôt résistantes au changement climatique envisagé.

La majorité des paysages forestiers subira des modifications importantes, d'autant plus que le buis, composante importante des sous-bois des forêts de Petite Montagne, meurt en grand nombre sous la pression de la pyrale du buis (*Cydalima perspectalis*). Les espaces laissés vacants pourront alors être colonisés par d'autres arbres et arbustes, qui modifieront potentiellement les associations forestières. La gestion de ces forêts devra donc évoluer pour assurer la conservation de la biodiversité et accompagner au mieux les changements.

III. CONSEILS DE GESTION

1. Généralités

Les forêts rendent de nombreux services écosystémiques. Le plus connu est la production de bois, qui par exemple en 2011, a représenté environ 2,2 millions de m³ de bois rond récoltés en Franche Comté (Source : Agreste). La filière bois représente 4,13 emplois pour 1000 m³/an de bois récolté. Les forêts protègent également un grand nombre d'activités anthropiques en montagne. Elles sont par exemple utiles contre les avalanches, les chutes de rochers ou encore l'érosion. Les forêts d'altitude contribuent grandement à l'identité culturelle des territoires montagnards ainsi qu'au tourisme de région. Enfin, il ne faut pas oublier son rôle de réservoir de biodiversité dû à des étendues peu morcelées et une gestion moins intensive, différente des zones de plaines (Courbaud, 2010).

Afin d'atténuer au maximum les effets des modifications environnementales sur la dynamique forestière, l'adaptation de la gestion sylvicole en fonction du diagnostic semble essentielle pour la préservation des écosystèmes concernés (Mérian et Lebourgeois, 2011 dans Lebourgeois, 2011). Face à la rapidité du changement climatique, les forêts risquent de ne pas pouvoir continuer à s'adapter de manière autonome. Afin de minimiser les obstacles à cette adaptation, il est conseillé de minimiser la fragmentation de l'habitat et de maintenir la connectivité (Noss, 2001 dans Spittlehouse et Stewart, 2003).

Enfin, il serait nécessaire de mettre l'accent sur les zones à caractère prioritaire, celles à haute valeur économique ou sociale (Parker et al., 2000 dans Spittlehouse et Stewart, 2003). Les résineux sont très sensibles face aux extrêmes de températures et risquent de subir une mortalité importante, au terme de fréquentes variations, alors que chez les feuillus les prédictions quant à leur survie pour les années futures ne sont pas encore arrêtées de manière certaine (SFCC, 2012).

En Annexe 9, le site Natura 2000 Petite Montagne du Jura a été cartographié et des conseils de gestion ont été proposés pour chaque peuplement forestier présent.

2. Gestion du stress hydrique

a. Sylviculture économe en eau

Les mesures de gestion qui pourraient être envisageables contre ces phénomènes climatiques seraient de mettre en place une sylviculture économe en eau (Boutte, 2008). Cette pratique consiste à favoriser la ressource en eau et à la rendre plus disponible par un travail du sol spécifique (Nageleisen, 2010). Parallèlement, il est conseillé de diminuer la densité végétale sur les stations sensibles au déficit hydrique (SFCC, 2012). Limiter les pertes en eau serait aussi une mesure à prendre (Papadopol, 2000 dans Spittlehouse et Stewart, 2003) en favorisant un certain ombrage au sol, avec le maintien ou la création de sous-étage, mais aussi en mettant du paillis ou encore en semant en godet, pour les plantations récentes.

Le maintien de la végétation accompagnatrice est aussi important pour lutter contre la dessiccation (Frochot, 2002), car elle permet d'éviter une luminosité trop importante sur les plants, de même que la réalisation de futaies irrégulières. Cela est d'autant plus vrai pour les plantations des versants sud et celles qui se trouvent dans les zones les plus exposées, où il est préférable d'éviter de planter à découvert.

Pour les peuplements anciens, il est possible d'intégrer des bouquets de feuillus parmi les peuplements résineux, pour permettre une meilleure pénétration des pluies à travers le couvert jusqu'au sol, afin d'améliorer le bilan hydrique (Legay et Ladier, 2008).

Il est aussi possible de créer des éclaircies qui aura pour incidence de diminuer la surface foliaire (SFCC, 2012). Il existe différentes techniques d'éclaircies, qui peuvent se faire de manière pré-commerciale ou alors en éliminant sélectivement les individus (Smith et *al.*, 1997 dans Spittlehouse et Stewart, 2003). Ces techniques permettent aussi d'éliminer la végétation indésirable et concurrente (Barrette et *al.*, 2016), ce qui limite également le stress hydrique. Attention cependant à ne pas réaliser de trop fortes éclaircies, de même que des dépressages ou élagages trop sévères, notamment sur les essences à écorces fines (comme le bouleau, le frêne ou le hêtre ; SFCC, 2012). Il est également recommandé d'utiliser des méthodes d'exploitation respectueuses du sol, et cela particulièrement sur les stations fragiles durant les périodes de sécheresse, car le tassement des sols par les engins affecte négativement le système racinaire (Legay et Ladier, 2008).

b. Utilisation d'espèces tolérantes ou adaptées à la sécheresse

Il est envisageable de remplacer les espèces qui ne pourront pas survivre à ces nouvelles conditions climatiques par des espèces résistantes à une faible disponibilité en eau, telles que certaines espèces méridionales. Le pin noir (*Pinus nigra*), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et le pin à crochets (*Pinus uncinata*) se caractérisent par leur capacité à éviter un dessèchement important grâce à une régulation stomatique précoce et efficace (Aussenac G. et Valette J.C., 1982). Il serait également possible de travailler avec des espèces davantage tolérantes au stress hydrique comme le chêne sessile (*Quercus petraea*) ou l'alisier blanc (*Sorbus aria*) (SFCC, 2012). Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), quant à lui, limite ses pertes de transpiration en fermant progressivement ses stomates, ce qui lui permet de mieux résister à des dessèchements importants. Le cèdre (*Cedrus*), le chêne pubescent (*Quercus pubescens*) et le chêne vert (*Quercus ilex*) sont, à l'inverse des pins, capables de maintenir une activité de transpiration et photosynthétique jusqu'à un niveau important de dessèchement du sol de leur rhizosphère.

Malgré des fonctionnements très différents entre feuillus et résineux, les comportements hydriques sont voisins. La capacité de développer un enracinement important et profond susceptible d'exploiter des réserves en eau importantes intervient aussi dans l'adaptation de l'espèce aux longues périodes de sécheresse, donc prendre en compte cette partie de l'arbre est essentiel. Les essences sensibles à la sécheresse et au stress hydrique (sapin pectiné (*Abies alba*), hêtre (*Fagus sylvatica*), chêne pédonculé (*Quercus robur*), épicéa commun (*Picea abies*)) devraient être installées dans les zones correspondant le mieux à leurs besoins écologiques en prenant en compte la réserve en eau du sol, l'humidité atmosphérique et le risque de sécheresse estivale.

3. Gestion des incendies

Afin de réduire les risques et l'ampleur des incendies, provoqués par les périodes de forte sécheresse, il est conseillé de modifier la structure des forêts (Dale et *al.*, 2001 dans Spittlehouse et Stewart, 2003) en développant des paysages « intelligents pour le feu » (Hirsch et Kafka, 2001 dans Spittlehouse et Stewart, 2003). Des mesures contre les incendies peuvent se faire au sens vertical ainsi qu'au sens horizontal. Concernant le sens vertical et ainsi éviter les feux de cimes, des peuplements réguliers à une strate avec élagage des branches basses est à privilégier (SFCC, 2012). Pour ce qui est du sens horizontal, il est préférable d'entretenir en débroussaillant régulièrement les pares-feux et d'implanter des zones moins combustibles, capables d'arrêter les feux, et afin d'interrompre la continuité végétale (Loupe, 1992).

Ainsi, planter des essences adultes peu combustibles pourrait être une solution comme par exemple les cèdres (utiliser pour reboiser certaines crêtes/pentes dans le Lubéron, Ventoux, Aigoual ou Lauragais), le cyprès d'Arizona (*Cupressus arizonica*) présent dans les paysages des régions méditerranéennes ou encore le sapin de Céphalonie (*Abies cephalonica*). Dans le cas de Petite Montagne, le chêne pubescent (*Quercus pubescens*) semble être le mieux adapté au changement du climat et résistant aux incendies. Gérer la propagation des incendies, passe également par les moyens mis en œuvre pour rétablir la forêt après les perturbations (Hirsch et Kafka, 2001 dans Spittlehouse et Stewart, 2003).

4. Gestion des maladies

Afin d'empêcher une augmentation trop importante des ravageurs dans les forêts, il est préconisé, à court terme, d'abattre les arbres malades, de nettoyer les forêts (par exemple en sortant les grumes et les chablis en dehors des parcelles) ou encore de mettre en place des arbres pièges avec des phéromones (SFCC, 2012). Sur le long terme, il serait préférable d'approfondir les connaissances sur les pathogènes, sur leur mode d'infestation et sur leur influence, ainsi que sur l'usage de phéromones, et il sera aussi probablement nécessaire d'apporter des modifications sur les techniques sylvicoles actuelles (Lévieux, 1985).

La diversité intra et interspécifique ainsi que le maintien de la végétation accompagnatrice, jouent aussi un rôle important contre l'augmentation des effectifs de ravageurs, en rendant plus difficile l'accès d'un parasite à son hôte et en abritant également des ennemis naturels des parasites (Lévieux, 1985). Si une possible nuisance de ravageurs, insectes xylophages ou champignons lignivores, est détectée contre des espèces prioritaires, il serait recommandé d'intervenir en amont des attaques afin de sauver au maximum les essences. Il serait alors nécessaire de réadapter les programmes de coupe ainsi que le plan de gestion (SFCC, 2012).

Une autre mesure à considérer pour réduire les risques d'attaques est de procéder à des éclaircies partielles et à des coupes d'assainissement, afin de favoriser la vigueur du peuplement (Gottschalk, 1995 dans Spittlehouse et Stewart, 2003).

L'utilisation de génotypes résistants aux parasites serait également envisageable (Namkoong, 1984 dans Spittlehouse et Stewart, 2003), tout comme l'utilisation d'insecticides ou de fongicides, lorsque les activités sylvicoles de lutte sont inefficaces ou inappropriées (Parker et al., 2000 dans Spittlehouse et Stewart, 2003). Attention cependant à rester vigilant, car ces pratiques peuvent aussi entraîner des effets négatifs sur les essences, comme par exemple accroître leur vulnérabilité à d'autres parasites (Smith et al., 1997 dans Spittlehouse et Stewart, 2003) et sur l'environnement en règle général.

5. Réalisation de peuplements mixtes

a. Diversification des essences et régénération naturelle

Pour faire face aux perturbations de manière générale, il est conseillé d'opter pour une gestion dite "réversible", qui permet de s'adapter aux évolutions ainsi qu'aux différentes réactions des espèces. Dans un premier temps, l'importance d'une diversité intra et interspécifique n'est plus à démontrer. En effet, une certaine diversité permet une répartition des risques dûs à la capacité des peuplements à réagir de manière tamponnée face aux perturbations et à leur capacité à la fois de résistance et de résilience (Nageleisen, 2010). La diversité d'un peuplement permet entre autre de garder un couvert forestier partiel après un dépérissement (Legay et Ladier, 2008). Ainsi, afin d'améliorer la résilience des forêts, il serait conseillé d'une part de favoriser au maximum le mélange d'essences et ce d'autant plus dans les zones où une espèce prioritaire à de forts risques de disparaître, et d'autre part, de renforcer l'étagement en strate de la végétation (SFCC, 2012). Ces mesures seront donc à envisager pour les hêtraies neutrophiles à aspérules ou les plantations de résineux.

Aux vues des modifications climatiques et de leurs répercussions attendues sur certaines essences, un renouvellement des peuplements vulnérables peut être envisagé (Roman-Amat 2007), notamment par le mode de la régénération naturelle (Boutte, 2008). La reconstitution des peuplements suit plusieurs étapes et nécessite de prendre certaines précautions. D’abord, il est recommandé de choisir le matériel végétal selon leurs réponses et leurs exigences écologiques, par rapport au type de sol, de sa réserve en eau, de l’humidité atmosphérique ou encore selon les risques de chaleur estivale et de déterminer les limites de leur transférabilité (Spittlehouse et Stewart, 2003).

Le choix des essences à planter doit alors se faire de manière adaptée en fonction des conditions du milieu et en privilégiant aussi les sites les moins exposés aux perturbations (Nageleisen, 2010). Ainsi, il est important de procéder au cas par cas pour vérifier la bonne adéquation entre les essences et les stations. La régénération naturelle, s’inscrit quant à elle le plus fréquemment dans le sens de la dynamique locale de la végétation, laissant ainsi libre cours à la nature d’agir sur les peuplements et autorisant des actions anthropiques seulement si ces dernières sont nécessaires. Cependant, il est conseillé d’accompagner ce renouvellement en plantant des essences adaptées au nouveau milieu. De plus, avec ce mode de renouvellement, les espèces non menacées par les impacts du changement climatique, connaîtront également des avantages (SFCC, 2012).

b. Îlots de sénescences

Afin de participer au maintien de la biodiversité forestière, il serait également envisageable de favoriser des îlots de sénescence, ou îlots de vieux bois, qui peuvent jouer le rôle de micro-habitats et de niches écologiques (Nageleisen, 2010), favorables aux espèces dépendantes du vieux bois et du bois mort. Ils permettent aussi de dynamiser la sylviculture. La surface de ces îlots peut aller de quelques arbres à une quinzaine d’hectares et possède une durée de vie indéterminée, basée sur le rythme naturel des essences (Friedli et *al.*, 2008).

6. Suivis réguliers et gestion adaptée au cours du temps

Des bilans fréquents seront nécessaires pour la bonne mise en œuvre des plans de gestion et permettront éventuellement la réorientation des mesures. En effet, la règle sylvicole qui semble être la plus importante est de développer les réseaux de surveillance et d’observation de la santé des forêts (Boutte, 2008). Ainsi, en accroissant les stratégies de surveillance phytosanitaire, un suivi efficace de l’évolution des effets des changements globaux en cours est possible (SFCC, 2012), et cela permettra d’adapter au mieux les mesures de gestion. En restant attentif, par exemple, à la gestion des lisières et en privilégiant des interventions humaines précoces et ciblées, la stabilité des peuplements sera augmentée (SFCC, 2012).

Par ailleurs, les mesures de gestion pourraient s’organiser en deux grandes phases. Tout d’abord, il serait préférable de prendre des mesures de gestion dès aujourd’hui pour les essences déjà existantes pour les 30 prochaines années (Tableau 7, Annexe 8).

Tableau 7 : Tableau des mesures de gestion pouvant être appliquées face aux conséquences du changement climatique.

Mesures de gestion	
Limiter les obstacles à l'adaptation	Minimiser la fragmentation de l'habitat
	Maintenir la connectivité
Contre les phénomènes de sécheresse	Mettre en place une sylviculture économe en eau
	Limiter les pertes en eau
	Maintenir la végétation accompagnatrice
	Réaliser des futaies irrégulières
	Eviter de planter à découvert
	Intégrer des bouquets de feuillus parmi des résineux
	Créer des éclaircies
	Utiliser des méthodes d'exploitation respectueuses des sols
Contre les risques d'incendie	Modifier la structure des forêts
	Rétablir la forêt après les perturbations
Face aux perturbations en général	Diversifier les peuplements
	Améliorer la résilience des forêts
	Renouveler les peuplements vulnérables
	Maintenir la biodiversité forestière
	Développer les réseaux de surveillance
Contre les pathogènes	Abattre les arbres malades
	Nettoyer les forêts
	Approfondir les connaissances sur les pathogènes
	Apporter des modifications sur les techniques sylvicoles actuelles
	Favoriser la diversité intra et interspécifique
	Maintenir la végétation accompagnatrice
	Favoriser la vigueur du peuplement
	Utiliser des génotypes résistants
	Utiliser des insecticides ou des fongicides

Ensuite, il serait conseillé de prendre des mesures de gestion plus drastiques en introduisant des espèces plus méridionales adaptées au territoire (déjà présentes dans le Sud et Sud-Ouest de la France), à partir de la moitié du siècle. Ces dernières sont référencées dans le Tableau 8. Sur cette deuxième partie, il faudra également considérer avec précaution l'introduction d'essences exotiques, surtout lors de plantation massive, et il est nécessaire de connaître leur écologie et la sylviculture qui leur est associée avant toute procédure d'introduction (SFCC, 2012).

Tableau 8 : Caractéristiques et utilisation de différentes espèces d'arbres favorables en vue d'une introduction en Petite Montagne du Jura.

Espèces	Caractéristiques favorable à l'introduction	Utilisations possibles
Charme commun (<i>Carpinus betulus</i>)	Besoin d'étés chaud, exigeant à la lumière, mais possible en demi-ombre. Sur sol sec à frais, argileux, pas trop riche en matière organique.	Bois de chauffage
Charme houblon (<i>Ostrya carpinifolia</i>)	Tolère la sécheresse. Exigeant à la lumière. Températures chaudes. Sur sol pauvre en matière organique et calcaire.	Alignement et haies
Chêne kermès (<i>Quercus coccifera</i>)	Espèce plastique. Climat semi-aride, sub-humide, humide à tempéré, voir froid. Supporte les lieux secs et aride aussi bien que froid et humide. Indifférent au type de substrats.	Bois de chauffage, tannage
Chêne pubescent (<i>Quercus pubescens</i>)	Résiste au froid, à la sécheresse et aux incendies. Héliophile. Sur sol profond.	Reboisements artificiels
Pin d'Alep (<i>Pinus halepensis</i>)	Résistant à la sécheresse. Espèce résineuse la plus productive (1 à 4 kg/arbre/an). Régénération aisée. Associé au chêne pubescent et chêne vert. Mais très fragile au froid (-6°C).	Reboisement
Pin noir (<i>Pinus nigra</i>)	Résiste au sec, à la sécheresse, au froid. Sol pas trop riche en matière organique et nutriments, un peu sec, argilo-calcaire.	Pour la fabrication de papier et la construction en générale
Sapin pectiné (<i>Abies alba</i>)	Résiste au froid et au vent, supporte l'ombre, peu exigeant en chaleur. Exige une humidité atmosphérique élevée et constante toute l'année.	Bois de menuiserie, charpente et papeterie
Pin sylvestre (<i>Pinus sylvestris</i>)	Résiste au froid, aux gelées et à la sécheresse. Exigeant en lumière. Sur sols secs à humides. Substrat calcaire-marneux.	Reboisement en plaines pour reconstituer des chênaies acidiphiles et parfois des hêtraies dégradées.
Erable de montpellier (<i>Acer monspessulanum</i>)	Feuillage caduc. Exigeant en lumière. Supporte bien la sécheresse. Résistante au froid. Sol argileux, calcaire, sableux, caillouteux.	Arbres d'alignement, de rideaux pare-feu. Bois de chauffage, menuiserie.

Les différentes caractéristiques spécifiques à chaque espèce d'arbre mentionnées dans cette étude sont consultables en détail dans l'Annexe 10, pour permettre aux gestionnaires de sélectionner les arbres les mieux adaptés suivant le type de milieu où l'introduction est envisagée.

IV. CONCLUSION

L'étude de l'impact du changement climatique sur les forêts de Petite Montagne du Jura a permis d'aboutir à plusieurs constats et de proposer des solutions de gestion adaptées au contexte. Tout d'abord, une augmentation constante des températures se fera ressentir au cours du temps, en parallèle d'une diminution des précipitations. Dans l'ensemble, le sol tendra à s'assécher sur le long terme. Ces modifications du climat favoriseront l'apparition d'autres perturbations, comme l'augmentation des incendies et l'arrivée de nouveaux pathogènes et ravageurs.

Au vu de ces prédictions climatiques, les habitats prioritaires et communautaires du site Natura 2000 de Petite Montagne seront probablement menacés ou en forte diminution. Plus généralement, la majorité des paysages forestiers subiront des modifications importantes. La question sera de savoir si les adaptations actuelles des espèces forestières seront suffisantes pour leur conférer une résilience aux nouvelles conditions climatiques, ou si elles auront des difficultés à s'adapter.

Il ne faut pas oublier que ces prédictions sont très incertaines et qu'elles dépendent essentiellement des politiques environnementales qui seront mises en place dans le futur. Elles permettent essentiellement de mettre en place un principe de précaution, pour pouvoir anticiper les éventuels impacts dû au changement climatique sur les forêts. C'est pourquoi une gestion dite "réversible" peut être choisie pour pouvoir s'adapter et se préparer à ces changements, tout en accompagnant au mieux l'évolution des peuplements forestiers, pour pouvoir préserver et maintenir leur diversité.

Les mesures de gestion pourront se présenter en deux étapes : la première sur des mesures à prendre dès aujourd'hui pour les essences déjà existantes et pour les 30 prochaines années, et la seconde sur des mesures à plus long terme (une centaine d'années) par l'introduction d'espèces adaptées au climat futur.

L'enjeu principal est de mettre en place une sylviculture qui sache gérer la demande en eau, une ressource de plus en plus limitante au fil des années. Cette gestion peut passer par un aménagement du paysage, en mettant en place par exemple des ombrages au sol, du paillis, des semis en godets ou encore la création de sous-étages arbustifs : le but étant de favoriser une meilleure pénétration des pluies au travers du couvert et améliorer le bilan hydrique des plants. Cette gestion peut aussi se faire par un renforcement de l'étagement en strate de la végétation en favorisant un mélange d'espèces et en maintenant la végétation accompagnatrice pour protéger efficacement le sol. La mixité d'essences permet d'améliorer la résilience des forêts, en particulier dans les zones où les espèces sont prioritaires, en leur permettant de se maintenir. Toutefois, il faut prendre garde à ne pas créer de fragmentation et à conserver une connectivité entre les milieux. Cette gestion pourra également prévenir contre les incendies en développant un paysage dit "intelligent pour le feu".

Associée à cette méthode, une régénération naturelle est préconisée pour garder une dynamique naturelle de la végétation, avec si nécessaire des actions anthropiques légères, tant qu'elles n'affectent pas de façon drastique les peuplements forestiers. Il pourra être envisagé d'ajouter ou d'augmenter le nombre d'îlots de sénescence.

Enfin, pour anticiper les changements possibles à venir, des remplacements d'espèces peuvent être prévus, notamment par des espèces plus résistantes à la chaleur et à la dessiccation, comme certaines espèces plus méridionales. Mais le choix des essences à introduire devra se faire de manière adaptée aux conditions du milieu et des différentes caractéristiques et préférences écologiques des espèces. Ce sera donc une étude au cas par cas, pour des espèces pour lesquelles il y a de bonnes connaissances scientifiques, afin d'éviter les problèmes des espèces invasives et exotiques envahissantes. Pour conclure, la mesure la plus importante à mettre en place est une surveillance forestière renforcée et des suivis fréquents et constants de la santé des arbres, pour permettre une meilleure anticipation des évolutions des peuplements face au changement climatique. Les plans de gestions devront s'adapter et des bilans fréquents seront nécessaires pour permettre la réorientation des mesures selon les changements constatés au fil des années.

BIBLIOGRAPHIE

Abras S., Fassotte C., Chandelier A. et Cavalier M., 2008, *Guide visuel des principales maladies et ravageurs des essences ligneuses des milieux rivulaires en Wallonie*, CRAW - DGRNE.

Alexandre S., 2011. *Réflexion sur le triptyque "forêt, biodiversité et changement climatique" sur la période 2006-2010.*

Aussenac G. et Valette J.C., 1982, *Comportement hydrique estival de Cedrus atlantica Manetti, Quercus ilex L. et Quercus pubescens Willd. et de divers pins dans le Mont Ventoux.*

Badeau V., Dupouey J.L., Cluzeau C., Drapier J. et Le Bas C., 2004. *Projet CARBOFOR. Séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France. Tâche D1. Modélisation et cartographie de l'aire climatique potentielle des grandes essences forestières françaises.* Rapport Final ECOFOR, (2002-17).

Badeau V., Dupouey J.L., Cluzeau C., Drapier J. et Le Bas C., 2010. *Climate change and the biogeography of French tree species: first results and perspectives.* *Forests, carbon cycle and climate change*, 231-252.

Barengo N., 2001. *Tilleul à petites feuilles Tilia cordata Mill. ; fiche signalétique*

Barrette M., Gravel J. et Tremblay S., 2016, *L'éclaircie précommerciale par puits de lumière de peuplements résineux*, MFFP, Traitements sylvicoles, Fiche d'aide à la décision n°F-004.

Beenken L., 2018, *Protection des forêts, vue d'ensemble 2017*, Heft 68, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL.

Boisvenue C. et Running S., 2006, *Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century*, *Global Change Biology*.

Bolli J.C., Rigling A. et Bugmann H., 2007, *The Influence of Changes in Climate and Land-Use on Regeneration Dynamics of Norway Spruce at the Treeline in the Swiss Alps*, *Silva Fennica* 41(1): 55-70.

Boucard E. et Voirin M., 2014, *Etude et cartographie de la végétation des milieux forestiers du site Natura 2000 de la Petite Montagne du Jura (FR 4301334-FR4312013)*, Mosaïque environnement, Esope et la Communauté de commune de Petite Montagne, Rapport final.

Boucard E., Ballaydier A. et Chenaux L., 2015, *Etude et cartographie de la végétation des milieux forestiers du site Natura 2000 « Petite Montagne du Jura » (FR4301334-FR4312013)*, Mosaïque Environnement et la Communauté de communes de Petite Montagne, Rapport final, 166.

Boucard E. et Ballaydier A., 2016, *Etude et cartographie de la végétation des milieux forestiers sur le site Natura 2000 de la Petite Montagne du Jura (FR 4301334-FR4312013) - Campagne 2015*, Mosaïque environnement et Communauté de communes de Petite Montagne, Rapport final.

Boutte B., 2008, *Quelle gestion forestière dans la perspective du changement climatique?*, Forêt méditerranéenne, tome 29, n°2, p. 213 - 219.

Bréda N., Garnier A. et Aussenac G., 2000, *Evolution possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres*, *Revue Forestière Française*, n° 52, 73-90.

Bubnova R., Hello G., Bénard P. et Geleyn J.-F., 1995, *Integration of the fully elastic equations cast in the hydrostatic pressure terrain - following coordinate in the framework of the ARPEGE/Aladin NWP system*, *American Meteorological Society*, 515-535.

Camarero J.J. et Gutierrez E., 2004, *Pace and pattern of recent treeline dynamics: response of ecotones to climatic variability in the Spanish Pyrenees*, *Climatic Change*, 63: 181-200.

- Coello J., Becquey J., Ortisset J.-P., Gonin P., Baiges T. et Piqué M.**, 2011, *Les tilleuls (Tilia platyphyllos et T. cordata) à bois*. POCTEFA 93/08, Pirinoble.
- Courbaud B., Kunstler G., Morin X. et Cordonnier T.**, 2010, *Quel futur pour les services écosystémiques de la forêt alpine dans un contexte de changement climatique ?*, Journal of Alpine Research, revue de géographie alpine, Vol. 98 n° 4, 1-13.
- Coutin R.**, 1996, *Insectes et Acariens du Frêne*, Fiche pédagogique, Insectes, N°100.
- CRPF (Centre National de la Propriété Forestière)**, 2003, *La forêt privée dans le site Natura 2000 de la Petite Montagne - Site n° FR 4301334*, Association jurassienne de développement forestier, ADEFOR 39.
- CRPF de Franche-Comté**, avril 2006, *Schéma Régional de Gestion Sylvicole (SRGS), Fascicule de Petite Montagne*, forêt privée française.
- Dale V., Joyce L., McNulty S., Neilson R., Ayres M., Flannigan M. et Simberloff D.**, 2001, *Climate Change and Forest Disturbances*, BioScience, Vol.51, n° 9, 723-734.
- Delatour C.**, 1990, *Dépérissement des chênes et pathogènes*, Laboratoire de pathologie forestière, INRA, Revue Forestière Française, n°2.
- DSF (Département de la santé des Forêts)**, 2017, *Synthèse de l'actualité sylvo-sanitaire en Bourgogne Franche-Comté*, Ministère de l'agriculture et de l'alimentation.
- De Proft M. et Grégoire J.C.**, 2007, *Attention scolytes, canicule en juillet 2006 et tempête en janvier 2007 : les ingrédients de la menace Ips typographys pour cet été*, Silva Belgica, n° 114, 28-31.
- DOCOB**, 2015, *Document d'objectifs du site Natura 2000 Petite Montagne du Jura « FR4301334 » et « FR4312013 »*, ADAPEMONT.
- Fabre J.P., Du Merle P. et Benhalima S.**, 1999, *Le point sur certaines ravageurs du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord, en France et en Europe*, Forêt méditerranéenne, tome 20, n°4.
- Ferrez Y., Bailly G., Beaufile T., Collaud R., Caillet M., Fernez T. et Schmitt A.**, 2011, *Synopsis des groupements végétaux de Franche-Comté*, Conservatoire National de Franche-Comté/Société Botanique de Franche-Comté, Les Nouv. Arch. Flore jura NE Fr, N° spécial 1, 282.
- Friedli J.M. et al.**, 2008. *Conservation d'îlots de vieux bois (îlots de sénescences)*. Rapport explicatif. 15.
- Frochot H., Gama A., Nouveau M., Wehrlen G., et Armand G.**, 2002, *La gestion de la végétation accompagnatrice : état et perspective*, Rev. For. Fr. LIV-6.
- GIEC**, 2007, *Bilan 2007 des changements climatiques*. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- Gillmann M.**, 2010, *Impact des pathogènes sur le fonctionnement des arbres et leur importance dans les processus de dépérissement et de mortalité*, Mémoire de M2 Écologie Fonctionnelle, Comportementale et Évolutive à l'Université de Rennes 1 et l'INRA.
- Jullien J.**, 2013. *Maladies et ravageurs du saule*. DGAI-SDQPV
- Keller T., Édouard J.L., Guibal F., Guiot J., Tessier L., et Vila, B.**, 2000, *Impact d'un scénario climatique de réchauffement global sur la croissance des arbres*, Académie des sciences Paris, Life Sciences, n° 323, 913-924.
- Labonne S., Cordonnier T., Kunstler G., Fuhr M.**, 2018, *Forêts de montagne et changement climatique : impacts et adaptation*. Sciences Eaux et Territoires, n°48, 7-.

- Lebourgeois F., Mérian P.**, 2011, *La sensibilité au climat des arbres forestiers a-t-elle changé au cours du 20^e siècle ?*, Revue Forestière Française, n° 63, 17-32.
- Legay M. et Ladier J.**, 2008, *La gestion forestière face aux changements climatiques : premières orientations d'adaptation en forêt publique (le cas des forêts méditerranéennes)*, Forêt méditerranéenne, t. 29, n°2, 221-234.
- Lévieux J., Lieutier F., Deplanque A.**, 1985, *Les Scolytes ravageurs de l'épicéa*, Revue Forestière Française, vol. 37, n° 5, INRA, centre de recherches forestières.
- Lexer M.J., Hönninger K., Scheifinger H., Matulla C., Groll N., Kromp-Kolb H. et Englisch M.**, 2002. *The sensitivity of Austrian forests to scenarios of climatic change: a large-scale risk assessment based on a modified gap model and forest inventory data*. Forest Ecology and Management, 162(1), 53-72.
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo J. et Lexer, M. J.**, 2010, *Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems*. Forest ecology and management, 259(4), 698-709.
- Louppe D.**, 1992, *Le feu : mieux le comprendre pour mieux lutter*, IDEFOR, Institut des forêts.
- Marçais B., Bouhot-Delduc L. et Le Tacon F.,** 2000, *Effets possibles des changements globaux sur les micro-organismes symbiotiques et pathogènes et les insectes ravageurs des forêts*, Revue Forestière Française, vol 52, n° spécial.
- Malphettes C.B. et Perrin R.**, 1981, *La maladie de l'écorce de Hêtre in. Le Hêtre*, Paris: I.N.R.A., 480-491.
- Mitchell T. D., Carter T. R., Jones P. D., Hulme M. et New M.**, 2004, *A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901–2000) and 16 scenarios (2001–2100)*, Tyndall Centre for Climate Change Research, n°55.
- Menzel A. et Fabian P.**, 1999, *Growing season extended in Europe*, Nature 397.
- Moss R., Edmonds J., Hibbard K., Manning M., Rose S., Van Vuuren D. et Meehl G.**, 2010, *The next generation of scenarios for climate change research and assessment*. Nature, 463, 747-756.
- Nageleisen L-M., Saintonge F-X. et Piou D.**, 2010, *La santé des forêts: Maladies, insectes, accidents climatiques... Diagnostic et prévention*, Forêt privée française, 608.
- Natura 2000**, *Habitats forestier, connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire*, Tome 1, "Cahiers d'habitats".
- ONF**, 2002, *Etude socio-économique dans le domaine forestier du site Natura 200 "Petite Montagne du Jura"*.
- Piedallu C., Perez V., Gégout J. C., Lebourgeois F. et Bertrand R.**, 2009, *Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'épicéa, du sapin, du hêtre et du chêne sessile en France*, Revue Forestière Française, n° 61, 567-593.
- Quezel P.**, 1979, *La région méditerranéenne française et ses essences forestières. Signification écologiques dans le contexte Circum-Méditerranéen*, forêt méditerranéenne, tome 1, n°1.
- Radnoti G.**, 1995, *The spectral limited area model ARPEGE/ALADIN*, Monthly Weather Review, n° 123.
- Riou-Nivert P.**, 2010. *La forêt face au changement climatique: menaces et stratégies d'adaptation*, La Jaune et la Rouge, 20-25.
- Roman-Amat B.**, 2007, *Préparer les forêts françaises au changement climatique*, Rapport à MM. les Ministres de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, 125.

Schnitzler-Lenoble A., 2002, *Ecologie des forêts naturelles d'Europe – Biodiversité, sylvigénèse, valeur patrimoniale des forêts primaires*, Editions Tec et Doc.

Schvester D., 1985, *Les insectes et la forêt française*, Revue Forestière Française, vol. 37, n°spécial.

SFCC (Société Forestière de Franche-Comté), 2012, *Les forêts de Franche-Comté face au changement climatique*

Spittlehouse D.L. et Stewart R.B., 2003, *Adaptation to climate change in forest management*, BC Journal of Ecosystems and Management, vol. 4, n° 1.

Silberfeld T., 2013. Plantes mellifères. Le châtaignier. Abeilles et Fleurs n° 750

Skvarenina J., Krizova E. et Tomlain J., 2004. *Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation stages in Slovakia*. Ekologia Bratislava 23, 13–29.

Thuiller W., Lavorel S., Sykes M. T. et Araújo M. B., 2005, *Using niche-based modelling to assess the impact of climate change on tree functional diversity in Europe*, Biodiversity research - Diversity and Distributions, n° 12, 49–60.

Villar M., Forestier O., Amagar M. et Charpentier J. P., 2011, Peuplier noir et développement rural au Maroc : inventaire, usages et préservation, Revue des Arts de l'Oralité, n°-3.

Wu D., Zhao X., Liang S., Zhou T., Huang K., Tang B. et Zhao W., 2015, Time-lag Effects of Global Vegetation Responses to Climate Change, Global Change Biology.

SITOGRAPHIE

Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) : <http://www.umr-cnrm.fr>

DRIAS : <http://www.drias-climat.fr>

Ephytia de l'INRA : <http://ephytia.inra.fr/fr/Home/index>

INRA : <http://www.inra.fr>

Institut français de l'éducation : <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/paleo>

INPN : <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>

Météo France : <http://www.meteofrance.fr>

Tela Botanica : <https://www.tela-botanica.org/>

Fiche technique de reconnaissance du chêne pédonculé et du chêne sessile : <http://www.cfbl.fr/espace-pro-doc/document/fiche-technique-crpf-reconnaissance-chene-sessile-chene-pedoncule.pdf>

Fiche de description du chêne champêtre : <http://pepinierbrown.com>

ANNEXES

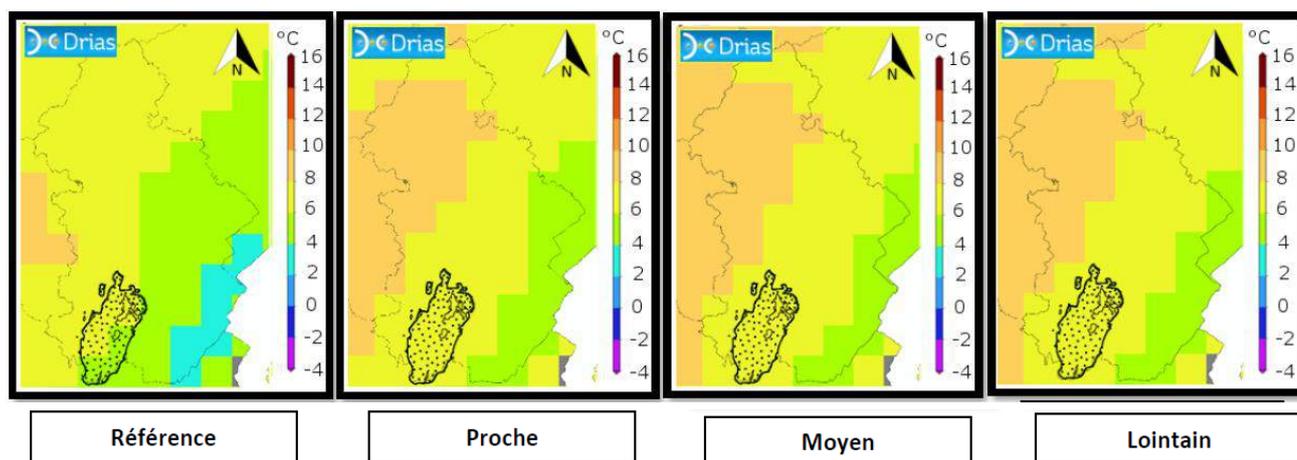
Annexe 1 : Modèles et scénarios de changement climatique utilisés pour différents indices

Indices	Facteurs	Scénarios	Scénarios d'émission	Expériences / modèles
Température minimale	Atmosphérique	RCP (GIEC AR5, 2014)	RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5	Météo-France - France CRNR : modèle Aladin
Température maximale	Atmosphérique	RCP (GIEC AR5, 2014)	RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5	Météo-France - France CRNR : modèle Aladin
Indicateur sécheresse d'humidité des sols (SSWI) du modèle ISBA	Sécheresse	SRES (GIEC AR4, 2007)	A1B / A2 / B1	CERFACS - FRANCE CNRM : modèle V4.6 étiré de Météo France
Indicateur sécheresse météorologique (SPI)	Sécheresse	SRES (GIEC AR4, 2007)	A1B / A2 / B1	CERFACS - FRANCE CNRM : modèle V4.6 étiré de Météo France
Précipitations quotidiennes	Atmosphérique	RCP (GIEC AR5, 2014)	RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5	Météo-France - France CRNR : modèle Aladin
Cumul des précipitations hivernales	Atmosphérique	RCP (GIEC AR5, 2014)	RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5	Météo-France - France CRNR : modèle Aladin
Cumul des précipitations estivales	Atmosphérique	RCP (GIEC AR5, 2014)	RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5	Météo-France - France CRNR : modèle Aladin
Indice feu météorologique	Feux de forêt	SRES (GIEC AR4, 2007)	A1B / A2 / B1	CERFACS - FRANCE CNRM : modèle V4.6 étiré
Nombre de jour de gel	Atmosphérique	RCP (GIEC AR5, 2014)	RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5	Météo-France - France CRNR : modèle Aladin
Température moyenne	Atmosphérique	RCP (GIEC AR5, 2014)	RCP2.6 / RCP4.5 / RCP8.5	Météo-France - France CRNR : modèle Aladin

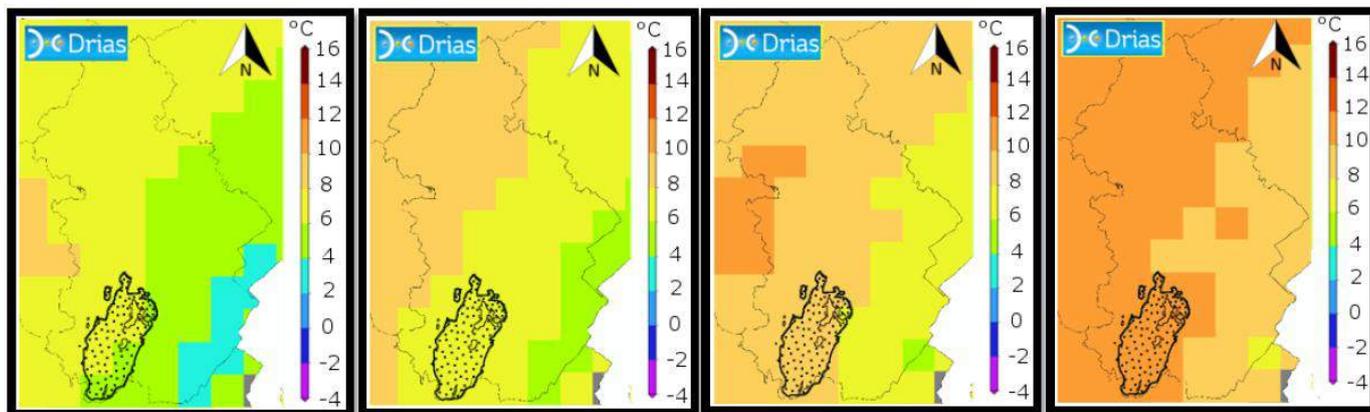
Annexe 2 : Modélisation de l'évolution des températures minimales (a), maximales (b) et moyennes (c) au cours du siècle pour les scénarios optimistes, intermédiaires et pessimistes, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : DRIAS)

1. Températures minimales

Scénario optimiste (RCP 2.6)



Scénario pessimiste (RCP 8.5)



Référence

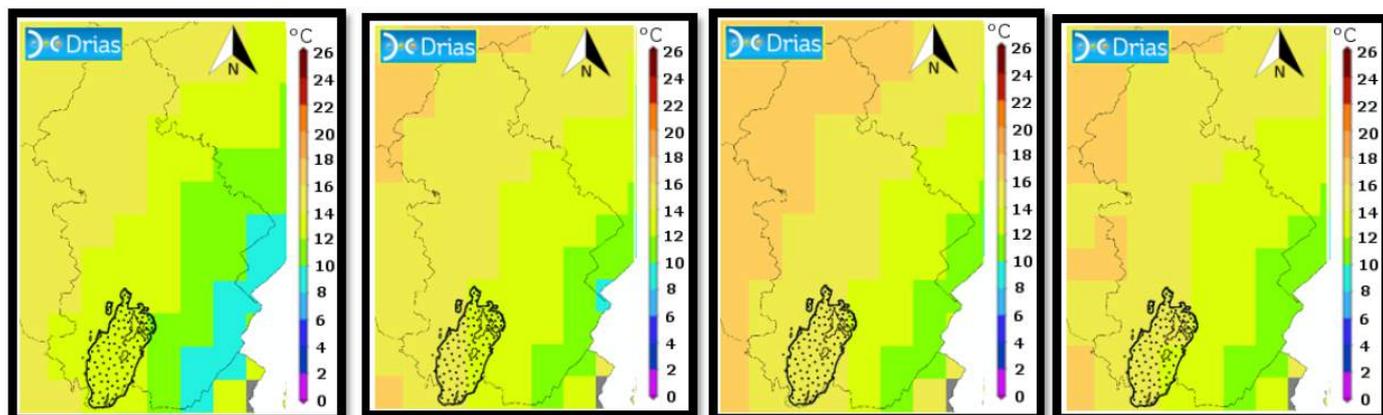
Proche

Moyen

Lointain

2. Températures maximales

Scénario optimiste (RCP 2.6)



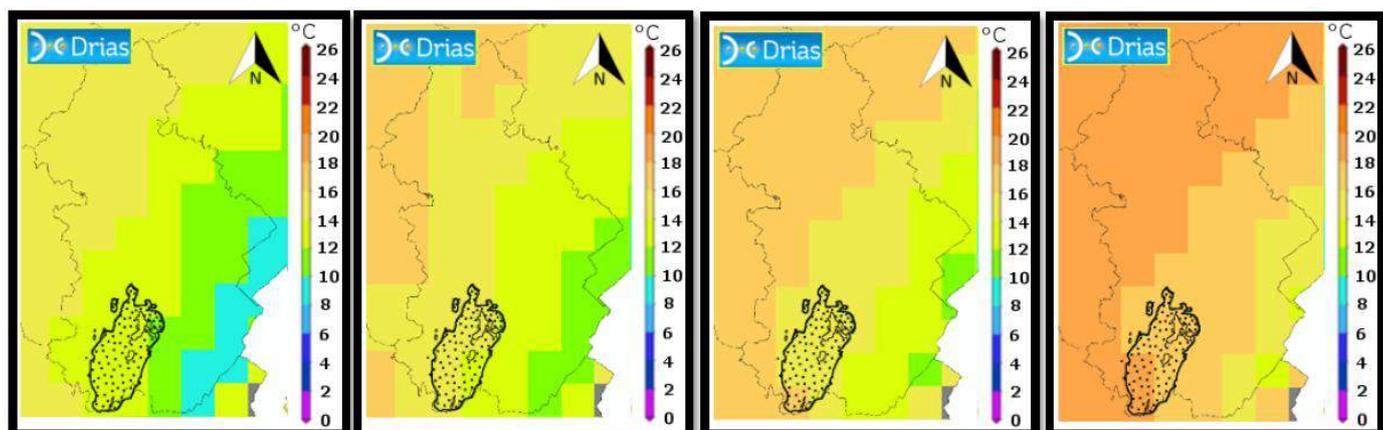
Référence

Proche

Moyen

Lointain

Scénario pessimiste (RCP 8.5)



Référence

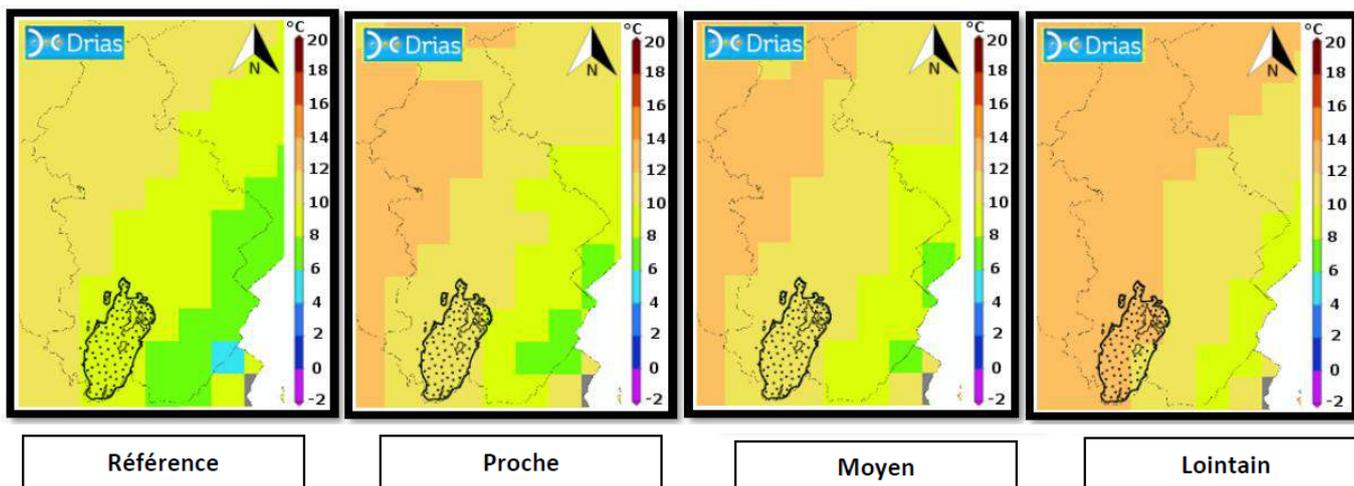
Proche

Moyen

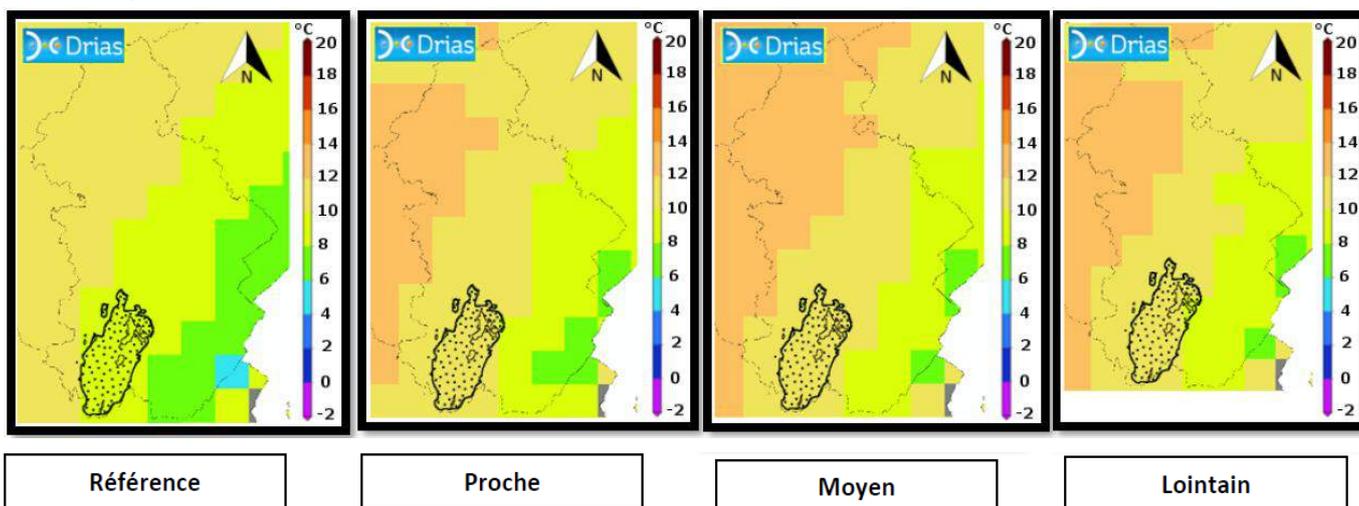
Lointain

3. Températures moyennes

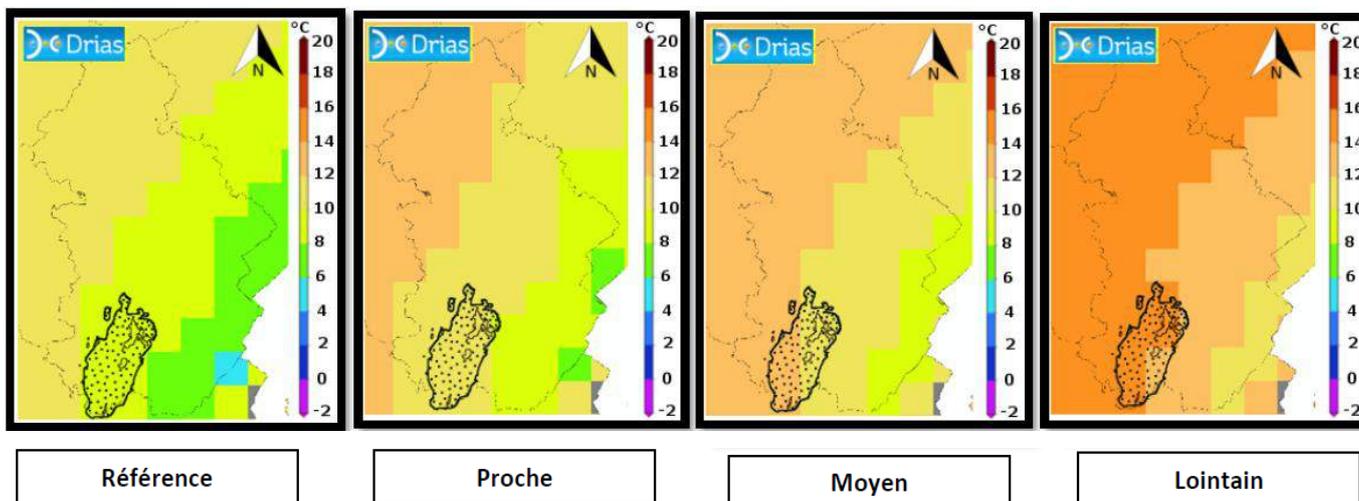
Scénario intermédiaire (RCP 4.5)



Scénario optimiste (RCP 2.6)



Scénario pessimiste (RCP 8.5)



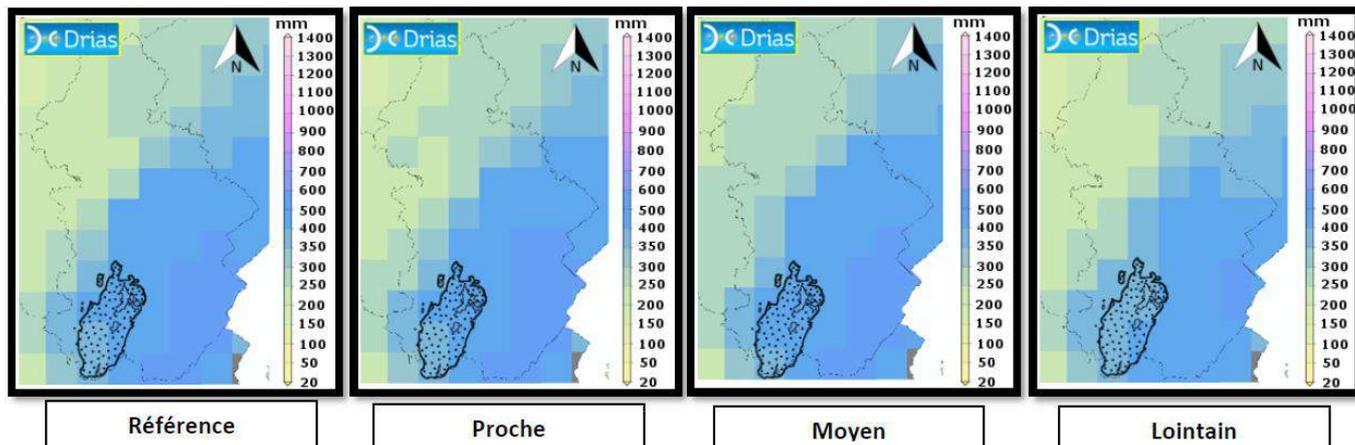
Annexe 3 : Valeurs des différents indices liés au changement climatique pour la référence en Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA).

Indices	Référence PACA (1976 - 2005)
Température minimale quotidienne	4 - 14°C
Température maximale quotidienne	10 - 20°C
Température moyenne quotidienne	7 - 15°C
Cumul des précipitations annuelles	600 - 1200 mm
Cumul des précipitations hivernales	100 - 400 mm
Cumul des précipitations estivales	60 - 300 mm
Indicateur sécheresse humidité des sols	Normal
Indicateur sécheresse météo	Normal
Indice feu météo	10 - 16

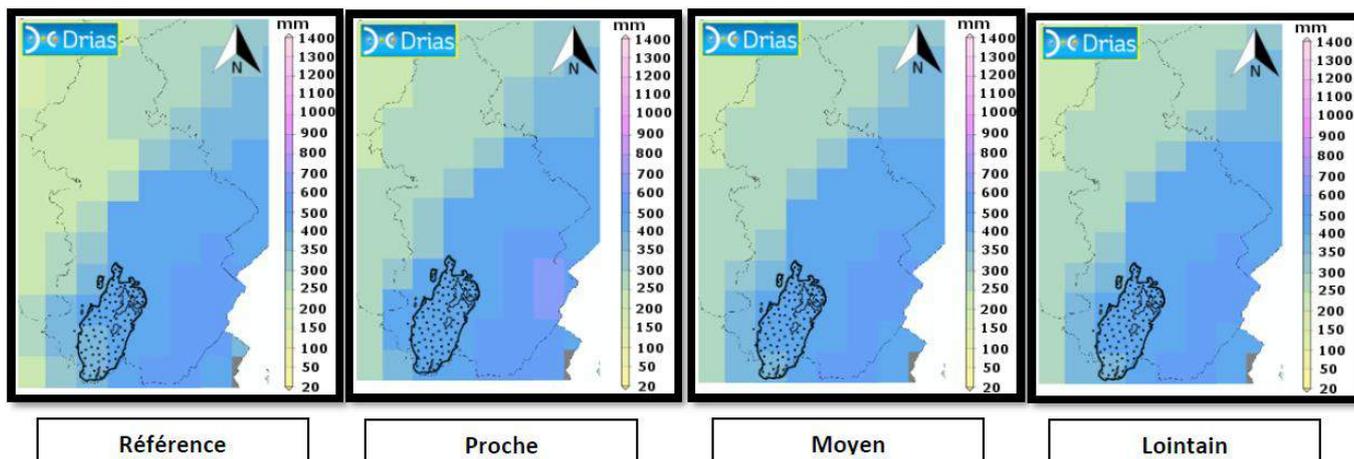
Annexe 4 : Modélisation de l'évolution du cumul des précipitations hivernales (a), estivales (b) et annuelles (c) au cours du siècle pour les scénarios optimistes, intermédiaires et pessimistes, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : DRIAS)

a) Cumul des précipitations hivernales

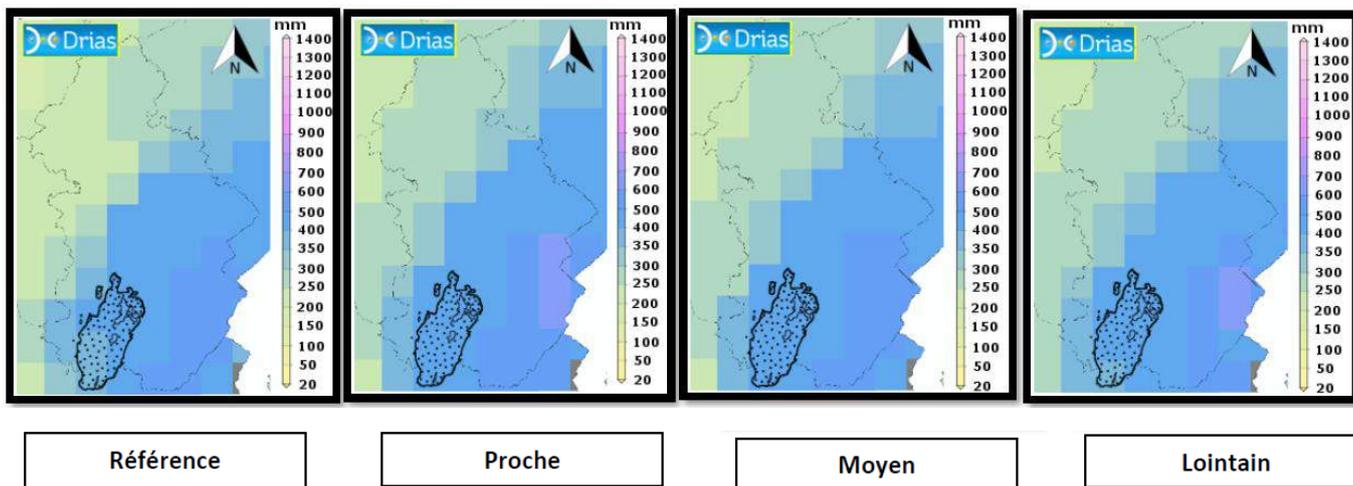
Scénario optimiste (RCP 2.6)



Scénario intermédiaire (RCP 4.5)

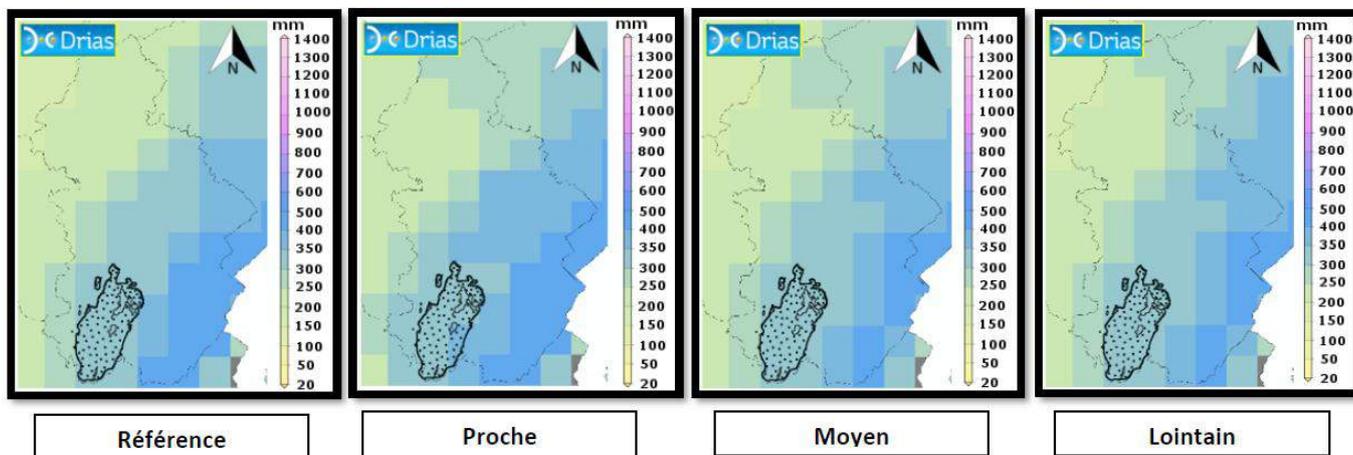


Scénario pessimiste (RCP 8.5)

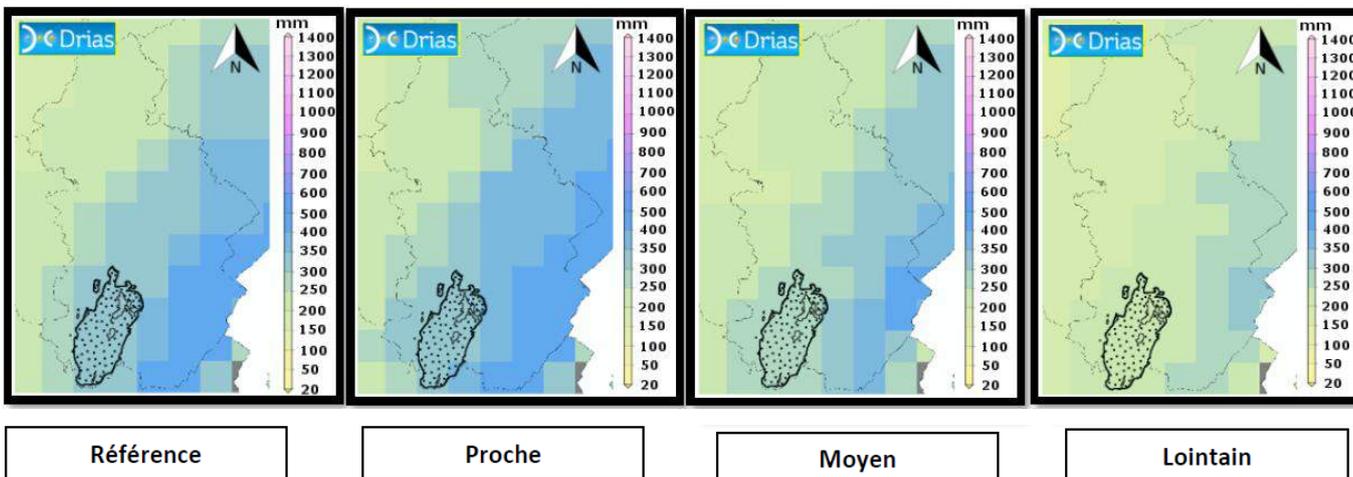


b) Cumul des précipitations estivales

Scénario optimiste (RCP 2.6)

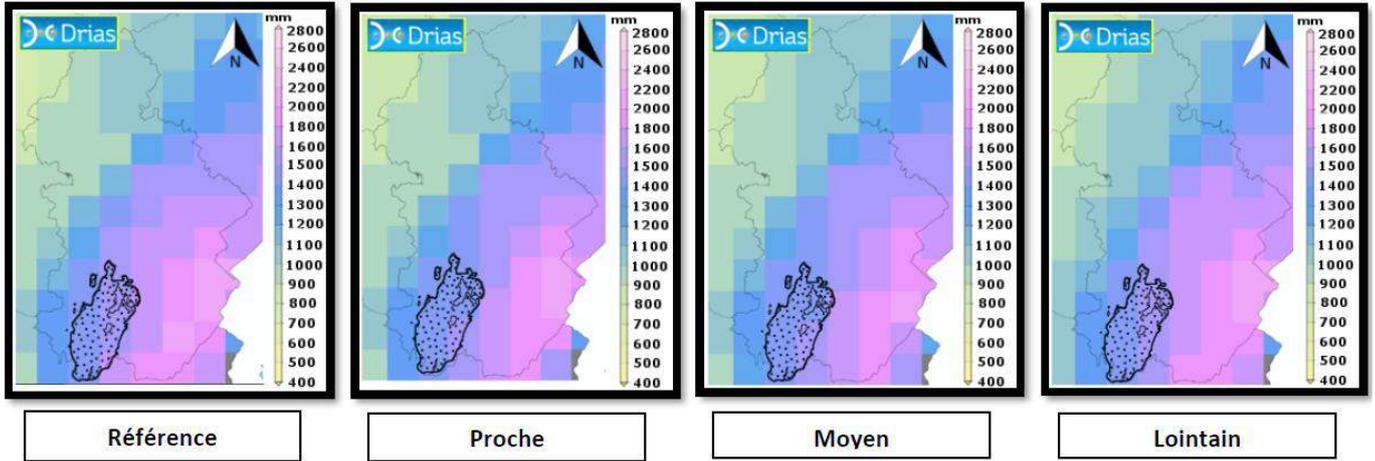


Scénario pessimiste (RCP 8.5)

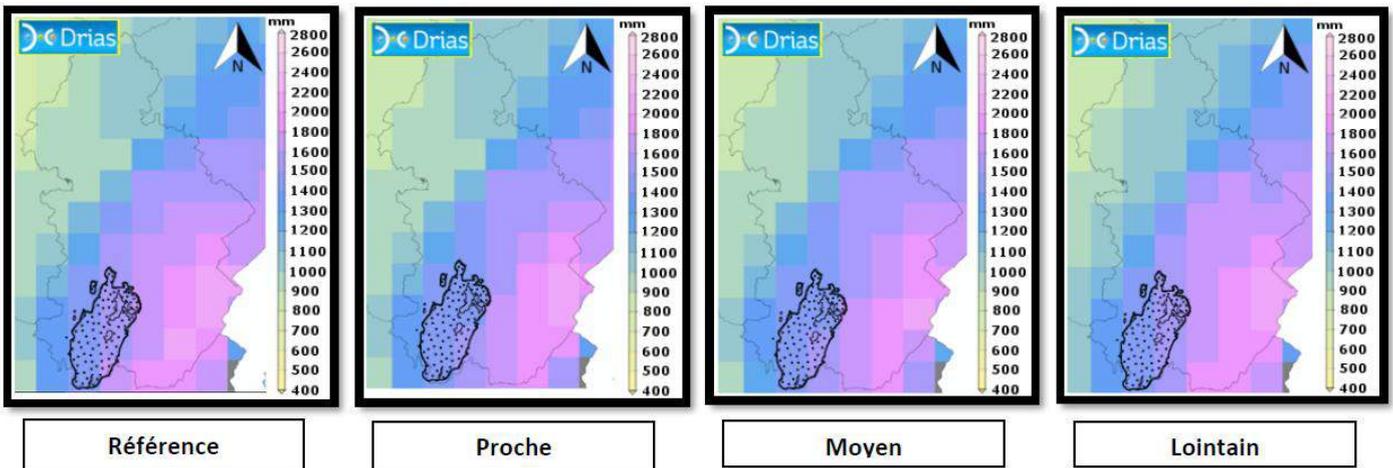


c) Cumul des précipitations annuelles

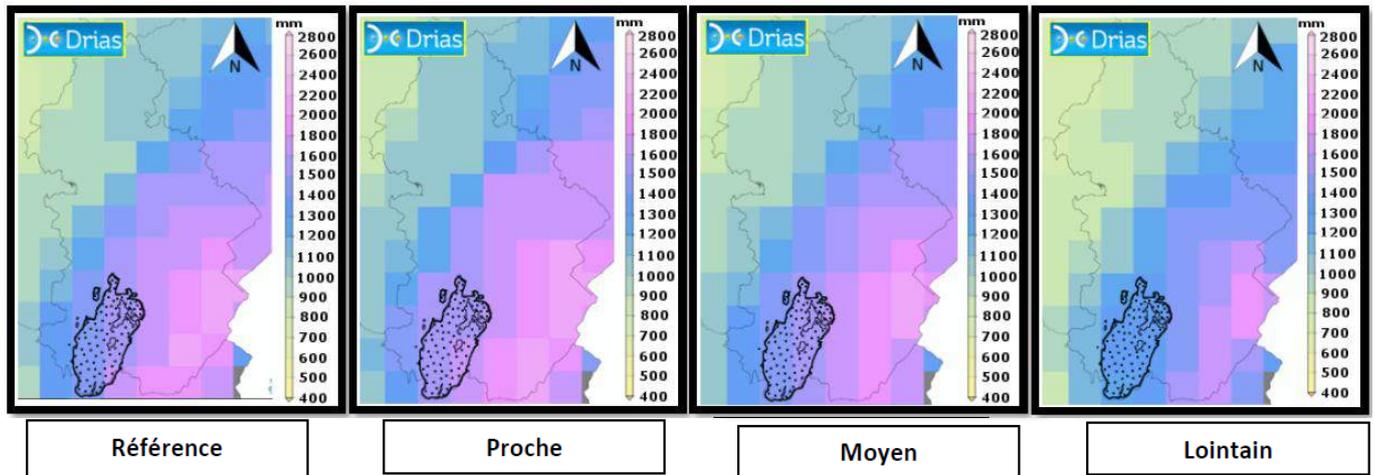
Scénario optimiste (RCP 2.6)



Scénario intermédiaire (RCP 4.5)



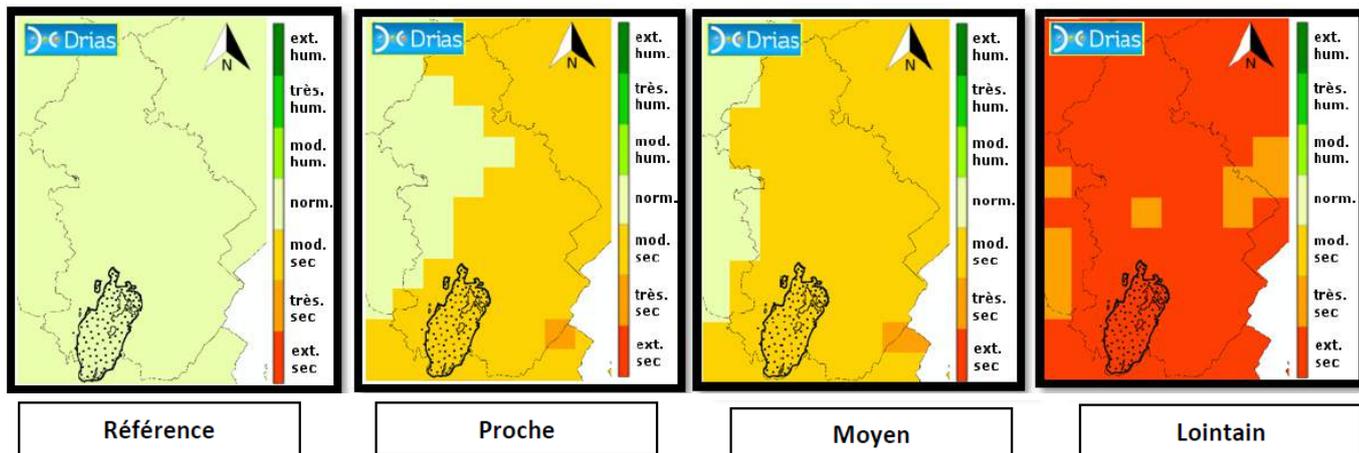
Scénario pessimiste (RCP 8.5)



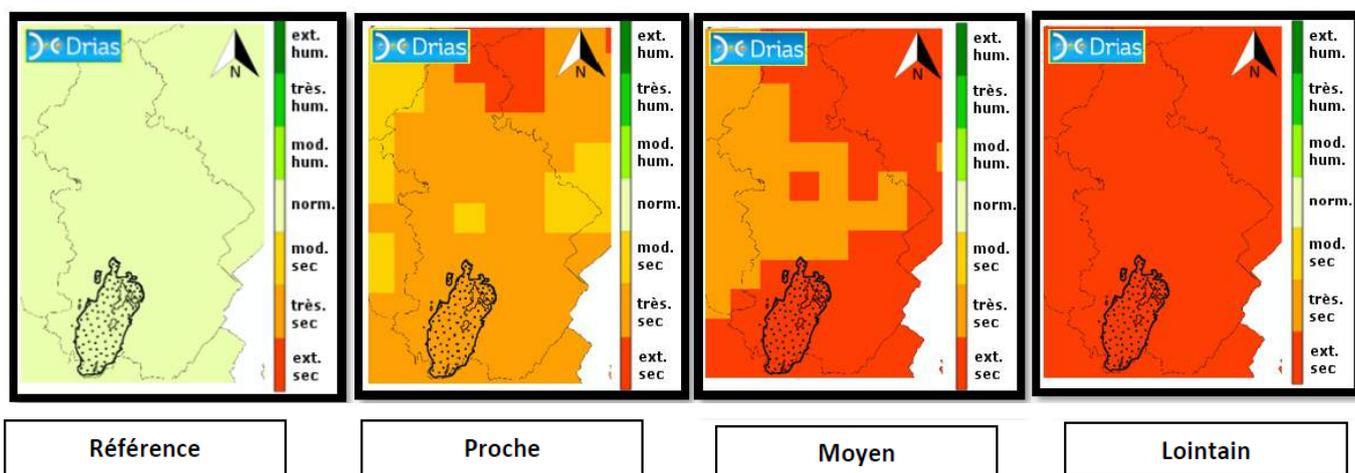
Annexe 5 : Modélisation de l'évolution de la sécheresse des sols (SSWI) (a) et de la sécheresse météorologique (SPI) (b) au cours du siècle pour les scénarios optimistes, intermédiaires et pessimistes, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : DRIAS)

(a) Indice de sécheresse des sols (SSWI)

Scénario optimiste (RCP 2.6)

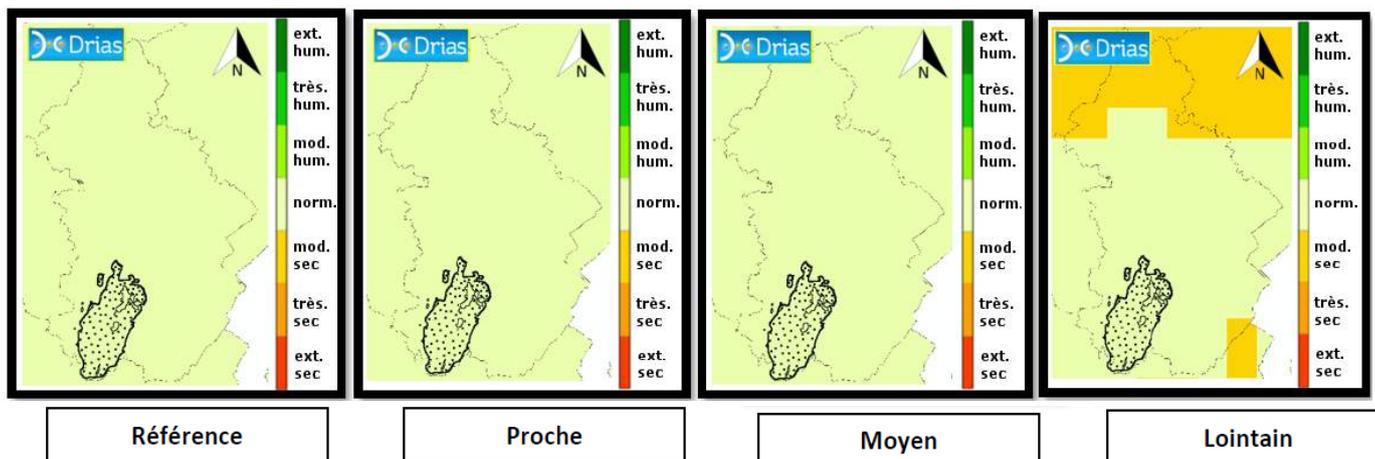


Scénario pessimiste (RCP 8.5)

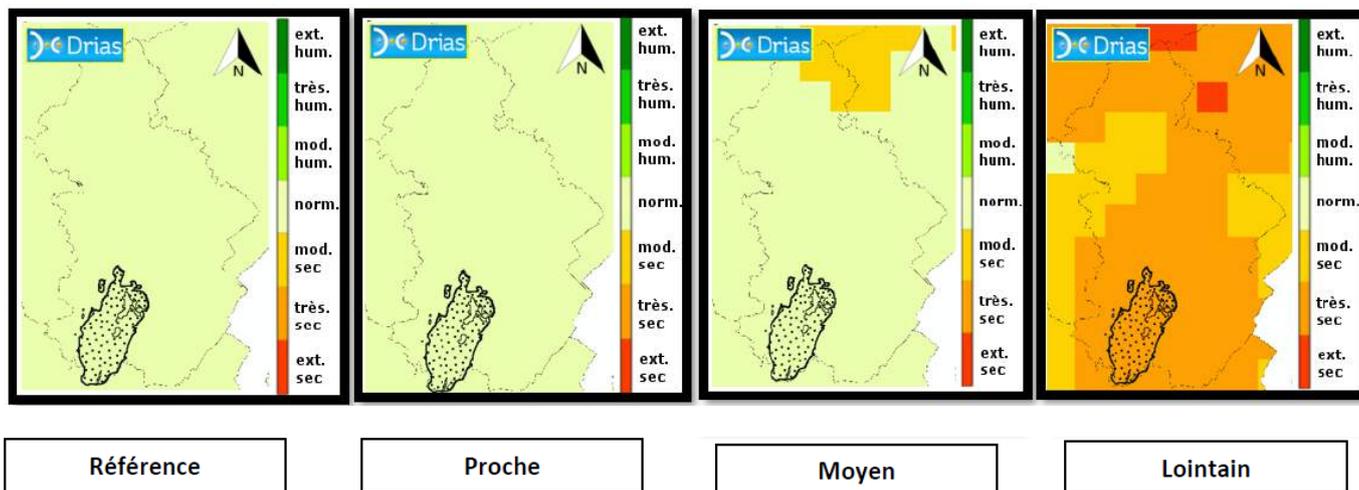


(b) Indice de sécheresse météorologique (SPI)

Scénario optimiste (RCP 2.6)

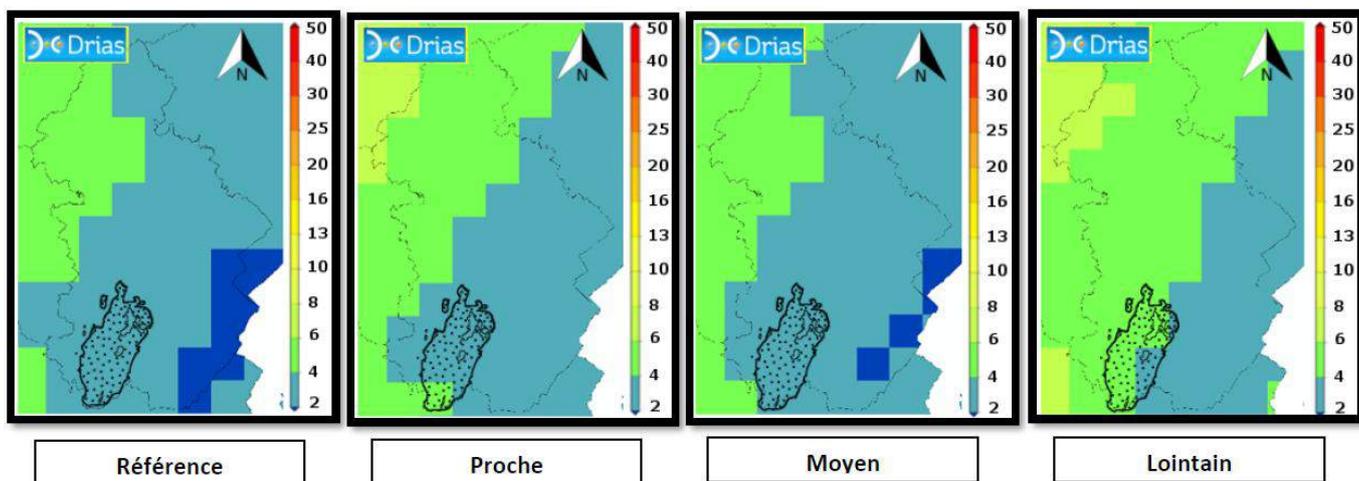


Scénario pessimiste (RCP 8.5)

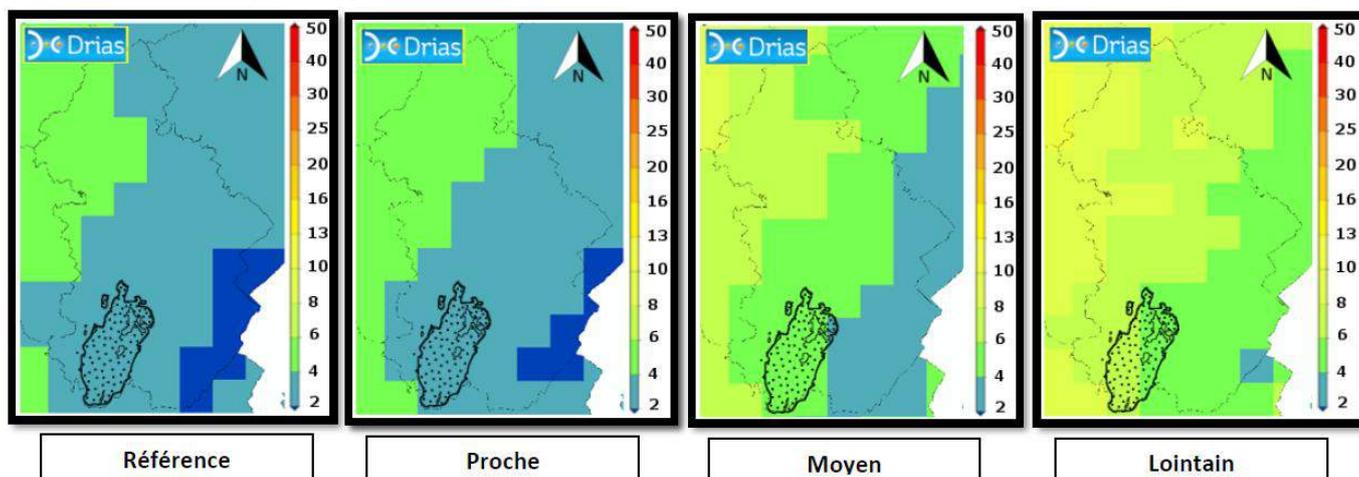


Annexe 6 : Modélisation de l'évolution de l'indice feu météorologique (IFM) au cours du siècle pour les scénarios optimistes, intermédiaires et pessimistes, dans le Jura. En surface pointillée : Site Natura 2000 de Petite Montagne (source : DRIAS)

Scénario optimiste (RCP 2.6)



Scénario pessimiste (RCP 8.5)



Annexe 7 : Tableau des espèces de ravageurs et leurs impacts selon les espèces d'arbres.

Espèces d'arbres	Ravageurs	Impacts
<i>Abies alba</i> (sapin pectiné)	<i>Choristoneura murinana</i> (Tordeuse du sapin)	Chute d'aiguilles, Défoliation, Affaiblissement, augmentation de la mortalité
<i>Acer pseudoplatanus</i> (érable sycomore)	Cynips des érables (<i>Pediaspis aceris</i>)	Déformation des feuilles, chute prématurée des feuilles atteintes, ralentissement de la croissance
<i>Alnetum glutinosae</i> (aulne marécageux)	Galéruque des aulnes (<i>Agelastica alni</i>), Psylle des aulnes (<i>Psylla alni</i>), Cécidomyie des feuilles des aulnes (<i>Dasineura tortilis</i>)	Dévore les feuilles, affecte la croissance des arbres (ralentissement), chute prématurée des feuilles atteintes, détérioration des jeunes pousses, Brunissement et déformation des folioles atteintes
<i>Alnus incana</i> (aulne blanc)		
<i>Fagus sylvatica</i> (Hêtre commun)	<i>Mikiola fagi</i> , <i>Hartigiola annulipes</i>	Fabrication de galle sur les feuilles et consommation des feuilles
<i>Fraxinus excelsior</i> (frêne)	Grand Scolyte de l'orme, Scolyte du frêne, Tordeuse du noisetier (<i>Pandemis corylana</i>), Tordeuse du chèvrefeuille (<i>Archips xylosteana</i>) et la tordeuse des bourgeons (<i>Hedya dimidioalba</i>)	Mange le bois / les feuilles / les fruits, creuse des galeries sous l'écorce, dépérissement des arbres, vecteur de champignons, défoliations
<i>Picea abies</i> (Épicéa commun)	<i>Corthylus</i> , <i>Dendroctonus</i> , <i>Ips</i> , <i>Scolytus</i> , <i>Lymantria</i> , Famille des Typographes	Mange les feuilles et l'écorce, vecteur de champignons, creuse des galeries dans l'écorce
<i>Pinus halepensis</i> (Pin d'Alep)	<i>Corthylus</i> , <i>Dendroctonus</i> , <i>Ips</i> , <i>Scolytus</i> , <i>Neodiprion</i> , <i>Bupalus</i> , <i>Lambdina</i> , <i>Selidosema</i> , <i>Choristoneusa</i> , <i>Cedrobium laportei</i> , <i>Cinara cedri</i>	
<i>Pinus pinaster</i> (Pin maritime)	<i>Corthylus</i> , <i>Dendroctonus</i> , <i>Ips</i> , <i>Scolytus</i> , <i>Neodiprion</i> , <i>Bupalus</i> , <i>Lambdina</i> , <i>Selidosema</i> , <i>Choristoneusa</i>	
<i>Pinus sylvestris</i> (Pin sylvestre)		
<i>Quercus</i> (Chêne kermès)	<i>Agrilus</i> , <i>Cedrobium laportei</i> , <i>Cinara cedri</i>	Se nourrissent et se développent dans le bois mort/jeunes rameaux, consomme les fleurs/feuilles/aiguilles, dessèchements de l'arbre, pourriture du bois par des champignons apportés par l'insecte
<i>Quercus ilex</i> (Chêne vert)		
<i>Quercus petraea</i> (Chêne sessile)	<i>Agrilus</i>	Les larves se nourrissent et se développent dans le bois mort, les adultes consomment les fleurs
<i>Quercus pubescens</i> (chêne pubescens)	<i>Coroebus florentinus</i>	Mange l'écorce, creuse des galeries entravant la circulation de la sève
<i>Quercus robur</i> (Chêne pédonculé)	<i>Agrilus</i>	Les larves se nourrissent et se développent dans le bois mort, les adultes consomment les fleurs
<i>Quercus suber</i> (Chêne liège)	<i>Agrilus</i>	
<i>Tilietum platyphylli</i> (Tilleul à grandes feuilles)	Chenille du Sphinx du tilleul, Caliroa annulipes et les Pucerons	Mange les feuilles, défoliation, ronge l'épiderme des feuilles, formation de galles, vecteurs de bactéries et champignons

Annexe 8 : Synthèse des mesures de gestions pouvant être prise face au changement climatique

Constats	Mesures à prendre	But des mesures
Le changement climatique entraîne un changement géographique	Déterminer les réponses des espèces et des génotypes et les limites de leur transférabilité	Maintenir une diversité génétique et une résilience
	Sélection pour la résistance aux parasites et pour une plus grande tolérance à une gamme de stress climatiques et d'extrêmes dans des génotypes spécifiques	Développer des zones de semences basées sur le climat qui changeront avec le temps
	Réévaluer les emplacements des vergers à graines	
	Planter un mélange de provenances sur un site	
	Réévaluer les programmes de conservation et de récupération	
Changements potentiels dans les régimes des feux de forêt	Mettre l'accent sur la protection des zones à haute valeur économique ou sociale	Protection des forêts
	Modification de la structure de la forêt	Réduire les risques et l'ampleur des perturbations
	Favoriser l'utilisation croissante du brûlage	Minimiser les charges de combustible
	Développer des paysages «intelligents pour le feu» en utilisant des activités de récolte, de régénération et d'entretien des stands	Gérer les combustibles afin de contrôler la propagation des incendies de forêt
	Améliorer le rétablissement de la forêt après des perturbations causées par le feu	
Actions adaptatives de protection contre les insectes et les maladies	Couper ou éclaircir partiellement	Augmenter la vigueur du peuplement et réduire les risques d'attaque
	Réaliser des coupes d'assainissement (éliminer les arbres infectés)	Réduire les pertes de maladies Des précautions seront nécessaires car ces pratiques peuvent accroître la vulnérabilité à d'autres parasites
	Réduire la durée de rotation	Réduire la période de vulnérabilité du peuplement aux insectes et aux maladies nuisibles
	Utiliser des insecticides et des fongicides dans des situations où les activités sylvicoles de lutte contre les insectes nuisibles sont inefficaces ou inappropriées	Faciliter le passage à des espèces mieux adaptées

	Utilisation de géotypes élevés	Renforcer une résistance accrue aux parasites
Les essences non commerciales et la végétation du sous-étage devront migrer sans intervention intentionnelle	Identifier les géotypes tolérants à la sécheresse	
	Faire de la régénération artificielle	Assister la migration des essences commerciales de leurs aires de peuplement actuelles vers les années à venir
Les espèces indésirables deviennent + compétitives dans un climat modifié	Réaliser des traitements de gestion de la végétation	Contrôler des espèces végétales indésirables
Les esp des sites chauds peuvent voir leur potentiel d'accroissement limité => systèmes sylvicoles pour gérer peuplements en déclin et perturbés	Éclaircir de manière pré-commerciale ou éliminer sélectivement les individus supprimés, endommagés ou de mauvaise qualité	Accroître la disponibilité de la lumière, de l'eau et des éléments nutritifs pour les arbres restants
	Gérer la densité des arbres, la composition des espèces, la structure de la forêt, ainsi que l'emplacement et le calendrier des activités de gestion	Réduire la vulnérabilité aux perturbations futures
	Faire des sous-plantation avec d'autres espèces ou géotypes où la régénération avancée actuelle est inacceptable	Prévoir une source pour la future forêt
	Réduire l'âge de rotation suivi de plantation	Accélérer l'établissement de types de forêts mieux adaptés
Le changement climatique aura une incidence sur la qualité et la disponibilité de l'habitat pour la faune	Minimiser la fragmentation de l'habitat et maintenir la connectivité	Minimiser les obstacles à l'adaptation autonome
	Maintenir des types de forêts représentatifs sur les gradients environnementaux et protéger les forêts primaires	
	Maintenir la diversité des groupes fonctionnels et des espèces au sein des groupes	
Nouvelle stratégie de surveillance de la santé des forêts est nécessaire (3 niveaux complémentaires)	CO (correspondants-observateurs)	Collecter ensemble des infos de terrain pour l'établissement de l'état de la santé des forêts + assurer diagnostic-conseil auprès des propriétaires/gestionnaires de leur territoire + analyser risques phytosanitaires
	RSSDF (réseau systématique de de suivi des dommages forestiers)	Évaluer et suivre l'état sanitaire des forêts au cours du temps
	RENECOFOR (réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers)	Détecter d'éventuels changements à long terme dans le fonctionnement d'une grande variété d'écosystèmes et de déterminer les raisons de ces changements
	Travailler à plusieurs échelles, en croisant les approches	Evaluer les risques encourus par les

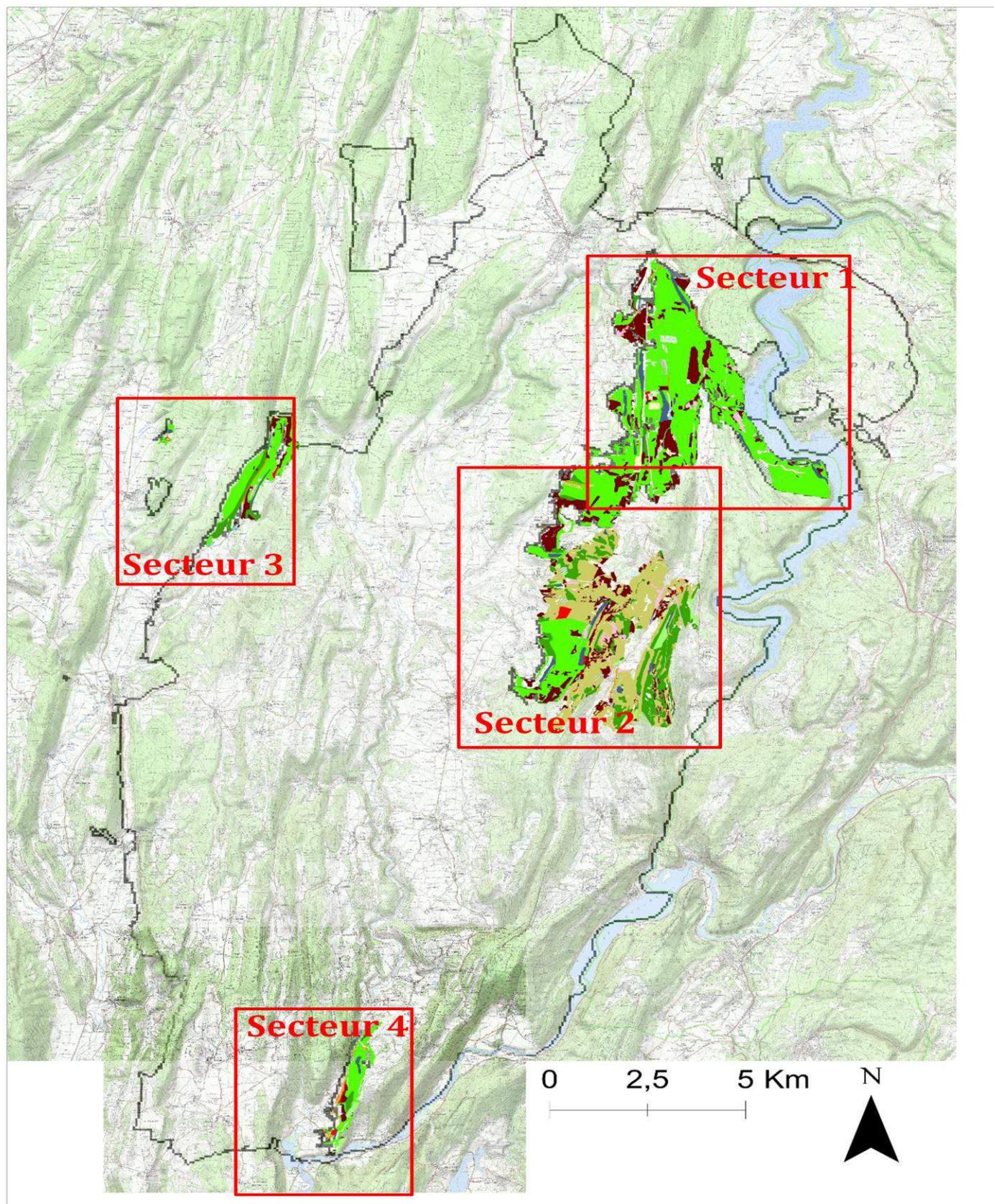
	Développer les approches analytiques quantitatives pour la caractérisation des stations forestières	différentes essences : indispensable
	Limiter les facteurs de risques sur lesquels on peut agir (limiter facteurs d'affaiblissement des peuplements)	
	Choisir le matériel végétal (essences et provenance)	
	Choisir le bon mode de renouvellement et mettre à profit les atouts de la régénération naturelle	
	S'adapter à l'augmentation de la productivité	
	Mettre au point des sylvicultures économes en eau	
	Conserver la biodiversité	
	Développer les réseaux de surveillance et d'observation, gérer les crises	
	Développer la culture du risque et de la gestion des crises	

Pages suivantes :

Annexe 9 :

- Cartographie générale du site Natura 2000 Petite Montagne du Jura et identification des différents secteurs échantillonnés de 2013 à 2015 p. 46
- Cartographie des peuplements forestiers du secteur 1 et conseils de gestion p.47
- Cartographie des peuplements forestiers du secteur 2 et conseils de gestion p.48
- Cartographie des peuplements forestiers du secteur 3 et conseils de gestion p.49
- Cartographie des peuplements forestiers du secteur 4 et conseils de gestion p.50

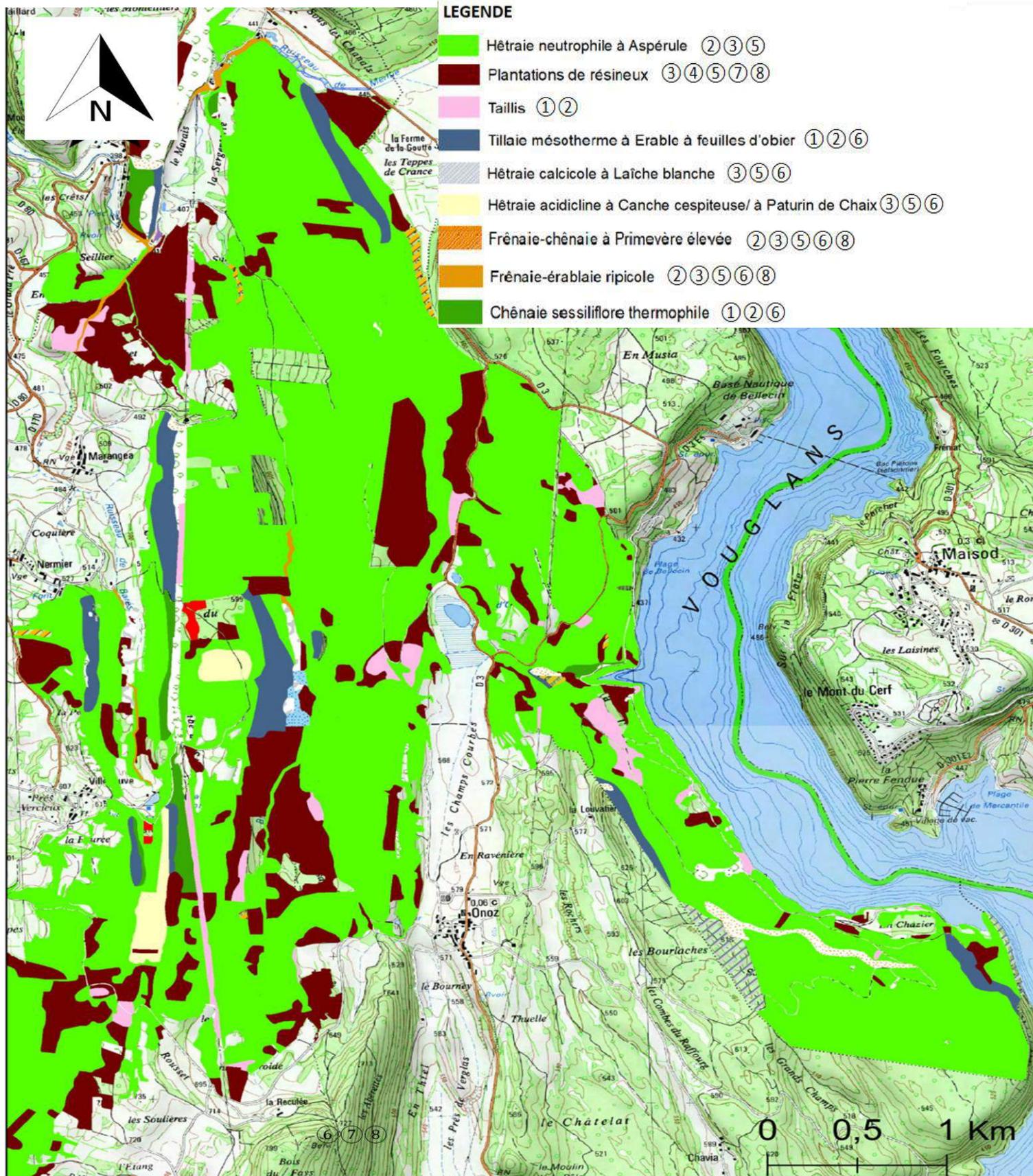
Cartographie du Site Natura 2000 de "Petite Montagne du Jura"



Le secteur d'étude est divisé en quatre secteurs pour lesquels des conseils de gestion sont proposés, de manière spécifique à chaque peuplement forestier présent.

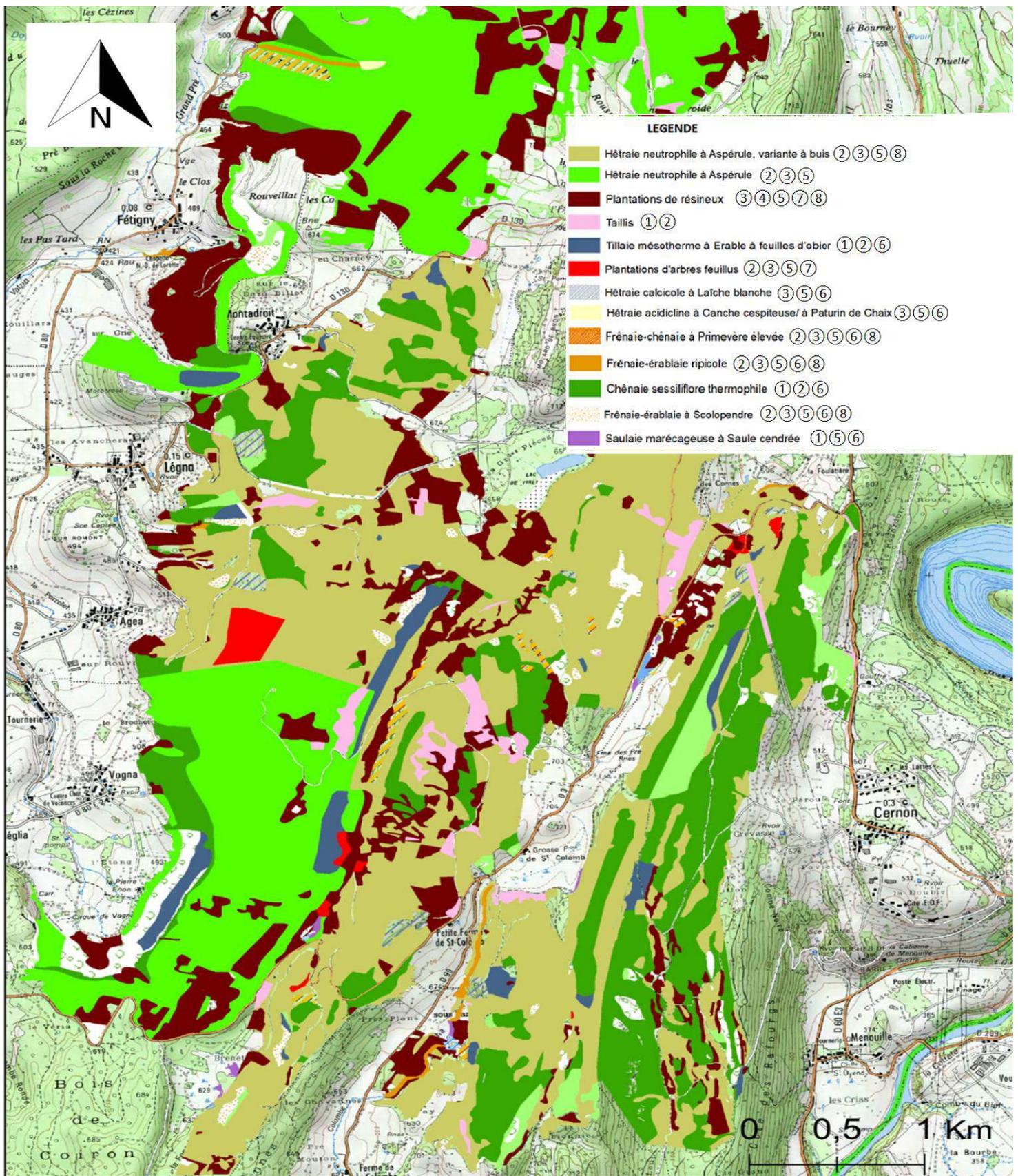
Cartographie du Site Natura 2000 de "Petite Montagne du Jura" - Secteur 1

Conseils de gestion



Cartographie du Site Natura 2000 de "Petite Montagne du Jura" - Secteur 2

Conseils de gestion

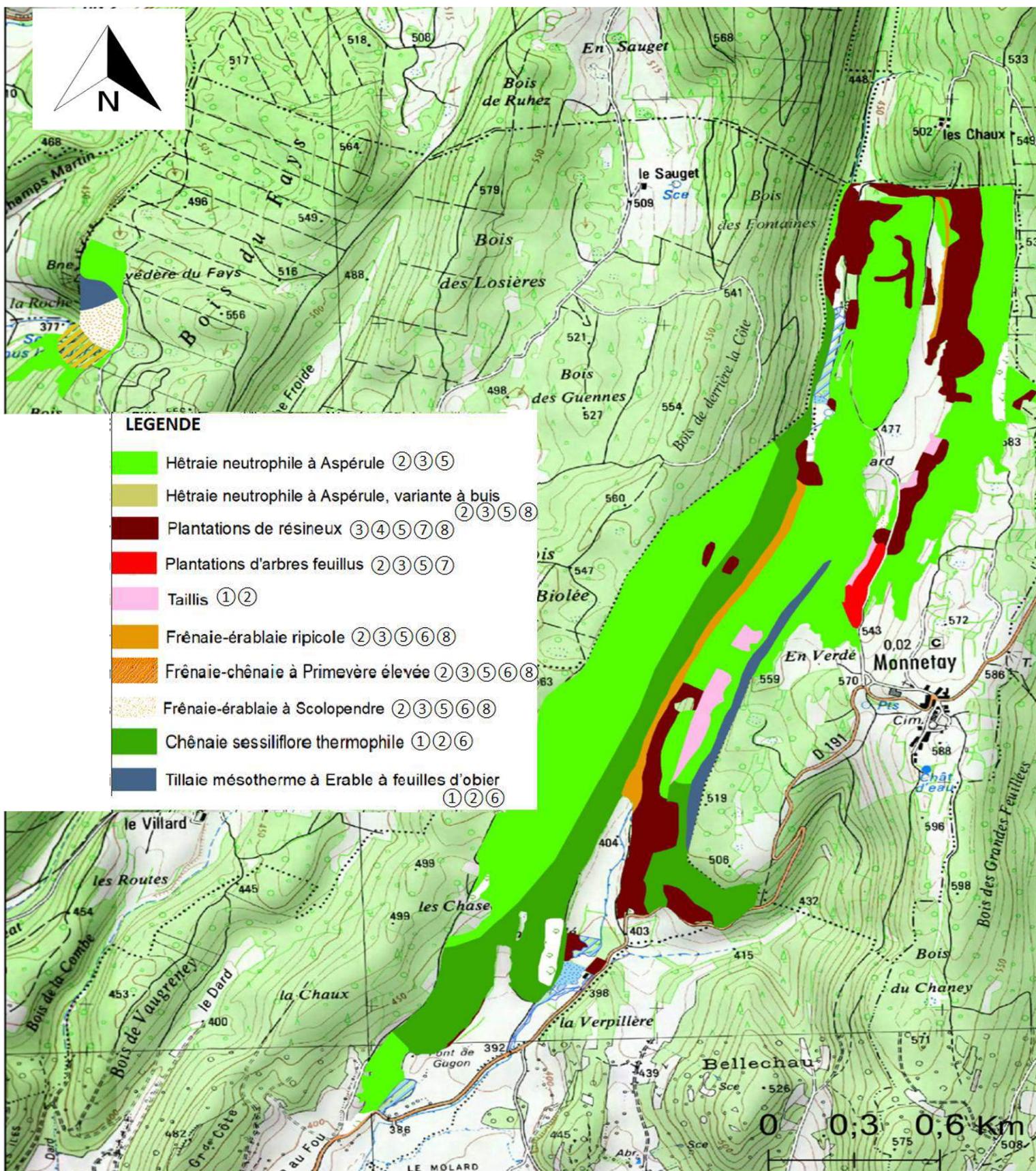


Exemple de propositions de gestion par type de peuplement :

- ① : Renouvellement naturel
- ② : Gestion en futaie irrégulière
- ③ : Renouveler les peuplements vulnérables
- ④ : Intégrer des bouquets de feuillus
- ⑤ : Limiter les pertes en eau
- ⑥ : Maintenir la population accompagnatrice
- ⑦ : Eviter de planter à découvert
- ⑧ : Surveillance accrue contre les pathogènes

Cartographie du Site Natura 2000 de "Petite Montagne du Jura" - Secteur 3

Conseils de gestion

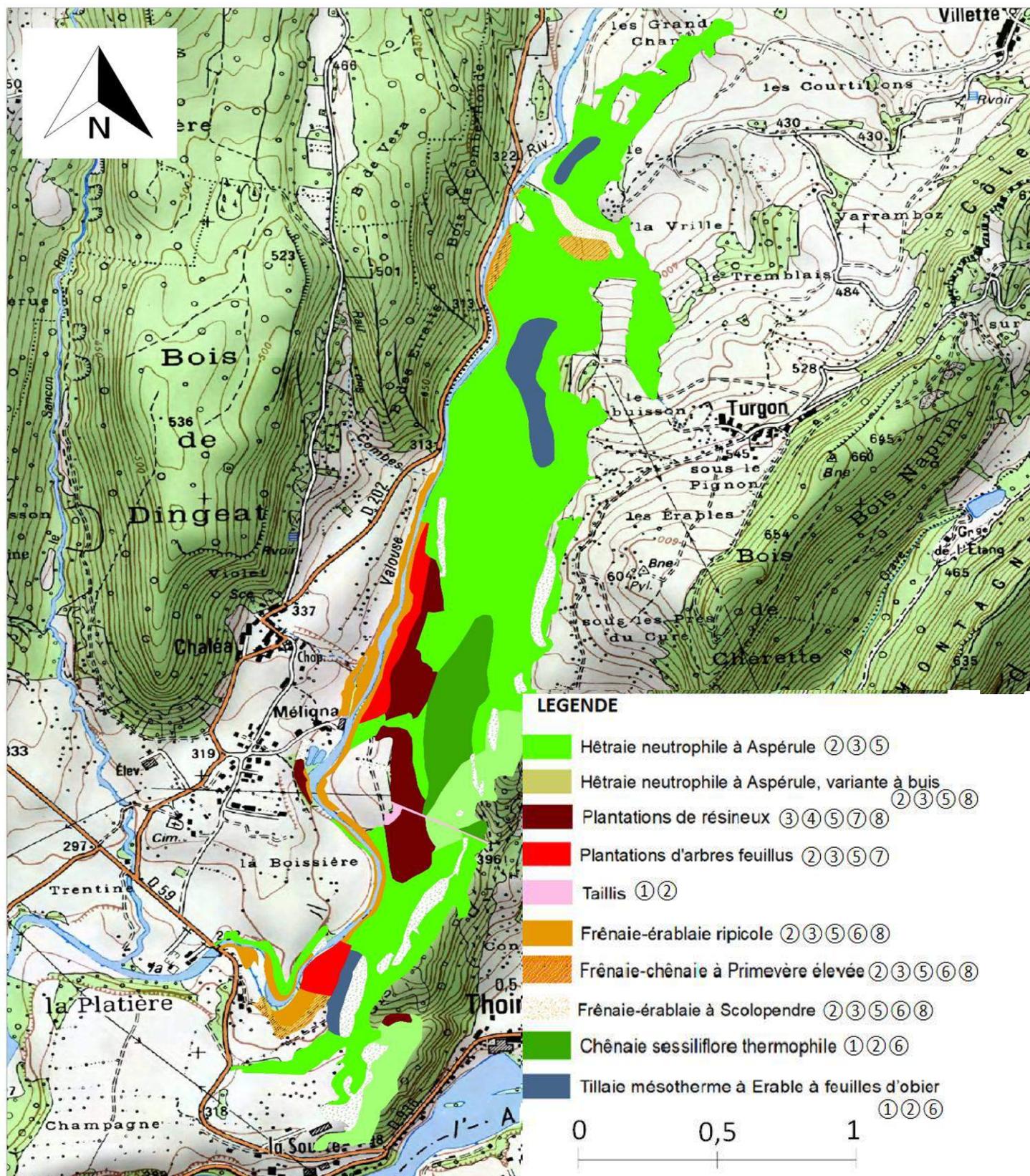


Exemple de propositions de gestion par type de peuplement :

- | | |
|--|---|
| ① : Renouveau naturel | ⑤ : Limiter les pertes en eau |
| ② : Gestion en futaie irrégulière | ⑥ : Maintenir la population accompagnatrice |
| ③ : Renouveler les peuplements vulnérables | ⑦ : Eviter de planter à découvert |
| ④ : Intégrer des bouquets de feuillus | ⑧ : Surveillance accrue contre les pathogènes |

Cartographie du Site Natura 2000 de "Petite Montagne du Jura" - Secteur 4

Conseils de gestion



Exemple de propositions de gestion par type de peuplement :

- | | |
|--|---|
| ① : Renouveau naturel | ⑤ : Limiter les pertes en eau |
| ② : Gestion en futaie irrégulière | ⑥ : Maintenir la population accompagnatrice |
| ③ : Renouveler les peuplements vulnérables | ⑦ : Eviter de planter à découvert |
| ④ : Intégrer des bouquets de feuillus | ⑧ : Surveillance accrue contre les pathogènes |

Annexe 10 : Autécologie des espèces présentes, potentiellement attendues ou utilisable pour le reboisement des peuplements forestier de Petite Montagne du Jura.

Espèce	Étage, Aire et altitude	Conditions climatiques	Conditions hydriques	Physiologie, sols et substrats	Utilisations	Autres
<i>Abies alba</i> (Sapin blanc ou pectiné)	Etage montagnard moyen et supérieur, Préalpes, 400 à 1800m	Climat humide et froid, peu plastique à l'égard du climat. Résiste au froid mais craint les gelées de printemps sur les pousses et sur les fleurs, supporte l'ombre pendant plusieurs années, craint les étés secs, résiste mieux au vent, peu exigeant en chaleur	Exige une humidité (>1000 mm de pluie) atmosphérique élevée et constante toute l'année	Début de croissance lente, enracinement profond si la roche est fissurée, sol calcaire à argileux, pauvre s'ils sont frais, aime les sols riches, peut venir sur les roches fissurées, craint les sols compact hydromorphe	Bois de menuiserie, charpente, caisserie, coffrage, papeterie	Sylviculture facile dans son aire normale, régénération naturelle aisée et facile
<i>Acer campestre</i> (Erable champêtre)	Plaines et collines à montagnard inférieur, jusqu'à 1000m d'altitude	Bonne résistance au froid, préfère la pleine lumière, héliophile ou de demi-ombre, supporte bien la sécheresse	Demande moyenne en eau	Sol calcaire, marneux, ne craint pas le sol humide, jusqu'en pH acide	Dans les haies de bocage, menuiserie et ébénisterie, bois de chauffage	
<i>Acer opalus</i> (Erable à feuille d'obier)	Basses et moyennes montagnes	Résistance au froid, mésoxérophile, besoin de lumière, résiste à la sécheresse et à la chaleur	Demande moyenne en eau	Sol basique, argileux, relativement pauvre en matière organique Craint l'acidité et l'hydromorphie, plus neutrophile, calcicole, argile de décarbonatation, limons, sol frais et aéré	Bois de chauffage, sculpture	
<i>Acer platanoides</i> (érable plane)	Montagnard, collinéen, plaine, jusqu'à 1500 m d'altitude	Espèce de lumière, de demi-ombre, supporte un peu la sécheresse	Apprécie l'humidité		Objets ménagers, meuble, manches d'outils, bon combustible	
<i>Acer pseudoplatanus</i> (Erable sycomore)	Entre 600 et 1000 m d'altitude	Climat frais et humide, résiste au froid intense et gel de début de printemps, supporte mal les chaleurs estivales extrêmes	Forts besoins en eau, tolère faible pluviosité estivale si forte humidité de l'air	Croissance rapide pour les feuillus producteur de bois de qualité ; Sols profonds, bien drainés, frais, riche, calcaire	Menuiserie, ébénisterie	Compagnon du hêtre et du sapin, peu souffrir des gelées de printemps pour ces floraisons
<i>Alnus glutinosa</i> (Aulne glutineux)	Ripisylves, jusqu'à 1000-1200 m d'altitude	Très résistant au froid, peu exigeant en lumière, sensible à la sécheresse. Bonne résistance au gel.	Exigeant en eau, besoin constant	Croissance rapide, enracinement sinueux et très ramifié, Sol frais, pauvre, n'aime pas trop calcaire	Sert à retenir les berges des rivières, renforce rives, bois construction	
<i>Alnus incana</i> (Aulne blanc)	Montagnard, forêt ripicole Alpes et Jura, altitude maximale de 1800 m	Climat tempéré, résistant au froid et apprécie les températures froides à moyennes, Héliophile, résiste peu à la sécheresse.	Mésohygrophile, exigeant en eau	Sur sols variables, basiques à neutres, inondable de préférence	Pour végétaliser des sols infertiles par son association avec des bactéries fixatrices d'azote, fixation des sols, reboisement de terrains calcaires et ancrage contre les glissements de terrain	Espèce pionnière, Résiste aux avalanches

<i>Betulus pendula</i> (Bouleau verruqueux)	Se situe en lisière ou dans clairières en milieu forestier, bois montagneux	Résiste jusqu'à -15 °C, très exigeant en lumière, température intermédiaire jusqu'à 18°C, climat sec	Peu exigeant en eau,	Sol acide, sec, argileux, frais	En papeterie, comme arbre d'ornement, herboristerie et alimentation (sève, vinaigre...)	
<i>Carpinus betulus</i> (Charme commun)	Etage collinéen, jusqu'à 1000 m d'altitude	Exigeant à la lumière, de demi-ombre ou ombre, N'apprécie pas les trop fortes chaleurs, surtout en sol séchant, besoin d'un été chaud pour la maturation des graines	Besoin en eau moyen	Sur sol sec à frais, argileux, pas trop riche en matière organique	Bois de chauffage	
<i>Castanea sativa</i> (Chataignier)	Bois des basses montagnes siliceuses	Sensible aux grands froids, résiste jusqu'à -7 °C, très exigeant à la lumière, ne supporte pas une sécheresse trop prolongée, climat chaud	Supporte le manque d'eau	Croissance rapide. Sol acide, sec à frais, assez pauvre	Bois de charpente, menuiserie, tonnellerie, chauffage	
<i>Fagus sylvatica</i> (Hêtre commun)	Large répartition : aussi bien en plaine qu'en montagne, jusqu'à 2000 m d'altitude	Climat océanique et montagnard, bonne résistance au froid, fragile aux gelées de printemps	Exigeant en humidité	Sols drainé, tous types de roches	Conversion en futaie. Mobiliers, bois courbés, chauffage, pâte à papier...	Fructification irrégulière
<i>Fraxinus excelsior</i> (frêne élevé)	Large répartition : aussi bien en plaine qu'en montagne, jusqu'à 1500 m d'altitude	En versant ombragé, demi-ombre, héliophile, affectionne les conditions hygro-sciaphiles, craint les gelées printanières, sensible à la sécheresse	Exigeant en humidité	Croissance rapide avec de la lumière. Sols calcaires, peu acides, drainées	Arbre d'alignement et de reboisement, bois de déroulage (placage) ou de chauffage	Espèces post-pionnières nomades
<i>Ostrya carpinifolia</i> (Charme houblon)	Montagnes d'Europe centrale et méditerranéenne, entre 300-1000 m d'altitude	Exigeant à la lumière, préfère les températures chaudes, tolère la sécheresse	Besoin d'une bonne humidité atmosphérique	Sur sol calcaire, pas trop sec et pauvre en matière organique	Utiliser en alignement, pour former des haies	
<i>Picea abies</i> (Épicéa commun)	Montagnard supérieur, aire Boréalo-montagnarde, altitude de 400 m et plus	Très résistant au froid, ne craint pas les gelées de printemps, exigeant à la lumière / Héliophile, sensible à la sécheresse et au vent	Exigeant en eau, préfère les milieux humides	Croissance rapide dès la 3ème année, enracinement superficiel, décomposition lente des aiguilles qui donne un humus épais et acide. Sur tout type de sol	Bois de menuiserie, lutherie, charpente, caisserie, fibres, papeterie...	
<i>Pinus halepensis</i> (Pin d'Alep)	En Méditerranée, étages du Chêne vert	Climat humide tempéré, sensible dès -5°C sur plusieurs jours, très exigeant à la lumière, bonne résistance à la sécheresse, préfère la chaleur, ne résiste pas aux incendies	Subhumides à humides	Substrat rocailleux. Préfère le calcaire à calcaire-marneux, sol superficiel et plutôt sec	Reboisements, esp résineux la + productive (1-4kg/arbre/an)	Régénération aisée
<i>Pinus nigra</i> (Pin noir)	Supra et montagnard méditerranéen, altitude entre 250-1600 m	Climat subhumide, résistant au froid, exigeant à la lumière, résiste à la sécheresse, préfère les températures moyennes à chaudes	Résiste au sec, abondance en eau moyenne	Sol pas trop riche en MO, un peu sec, argileux, calcaire	Combustible, fabrication papier, construction générale	Résiste au sel routier et polluants industriels

<i>Pinus pinaster</i> (Pin maritime)	Bassin Méditerranéen	Climat maritime/très tempérés, semi-aride, craint le froid prolongé (< -15°C), craint les gelées, exigeant à la lumière, supporte les fortes températures, préfère les températures douces et régulières, ne résiste pas aux incendies	Abondance d'eau moyenne, humidité indispensable	Croissance rapide sur sols profonds, décomposition lente des aiguilles, forme une épaisse litière. Sur sols acides. Accepte les sols pauvres, pas trop secs et marneux	Fixation des dunes littorales et Landes. Production de bois à hauts rendements. Bois d'œuvre et de chauffage	
<i>Pinus pinea</i> (Pin parasol)	Bassin Méditerranéen	Climat subhumide à humide tempéré, résistance moyenne au froid, exigeant à la lumière, résiste à la sécheresse et à la chaleur	Présence d'eau moyenne à sec	Substrat gréseux, sol sec et calcaire	Pour assainir des zones marécageuses et fixer des dunes, menuiserie et charpentes, fruits	
<i>Pinus sylvestris</i> (Pin sylvestre)	Boréalo-montagnarde, altitude : 600-700 et 1200-1400 m	Résiste au froid, ne craint pas les gelées de printemps, exigeant à la lumière, résiste à la sécheresse, préfère les températures moyennes	Humidité, abondance d'eau moyenne, résiste au sec	Sur sol secs et humide, siliceux et accepte une forte acidité. Substrat calcaro-marneux	Espèce de reboisement en plaine pour reconstituer chênaies acidiphiles et parfois hêtraies dégradées.	Espèce pionnière
<i>Populus canescens</i> (peuplier grisard)	Jusu'à 600 m	En milieu ensoleillé à mi-ombre, très sensible à la sécheresse, résiste au vent	Mésophile à mésohygrophile, demandant une alimentation en eau régulière, aime l'humidité atmosphérique	Développement rapide. Sol acide à légèrement basique, frais, argileux, limoneux, assez drainant, relativement profond, supporte les sols lourds ou assez sec	Coupe-vent, bois de déroulage, ornement, caissettes utilisées sur les marchés	En zone forestière humide ou en bordure de cours d'eau
<i>Populus nigra</i> (Peuplier noir)	Rivières et lieux humides	Rustique, résiste jusqu'à -34 °C, exigeant en lumière, tolère la sécheresse, résiste au vent, climat chaud	Besoin en humidité	Argileux, riche en nutriments/MO, frais	Pour faire du charbon végétal, pour le placage	
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Sapin de Douglas)	Etage collinéen-montagnard, altitude < 900 m	En climat tempéré, résiste plutôt bien au froid, apprécie les températures froides à moyennes, très exigeant à la lumière, supporte légèrement la sécheresse mais pas sur de longue période, sensible au vent	Abondance d'eau et humidité moyenne	Bonne décomposition et rapide des aiguilles. Sur sol neutres, faiblement acides	Pour le reboisement, en alimentation, bois d'œuvre et de construction, décoration	Vient d'Amérique du Nord
<i>Quercus coccifera</i> (Chêne kermès)	Région méditerranéenne	Climat semi-aride, résiste au froid, exigeant à la lumière, préfère les températures chaudes	Besoin en humidité faible à moyen	Sur sol calcaire, argileux	Bois de chauffage, tannage	
<i>Quercus ilex</i> (Chêne vert)	Bassin Méditerranéen, altitude de 0 à 1000 m	Résistant au froid, exigeant à la lumière, xérophile / résiste à la sécheresse, Thermophile, Résiste aux incendies	Présence d'eau moyenne à faible, résiste au sec	Sur substrat non calcaire	Stabilise les dunes, Reboisement artificiels, utilisé en Trufficulture	Espèce post-pionnière

<i>Quercus petraea</i> (Chêne sessile)	Régions tempérées, hémisphère Nord	Climat Atlantique doux, craint gel, supporte légèrement la sécheresse, préfère les températures régulières entre 8 et 13°C	Exigence moyenne en eau, craint les sols gorgés	Croissance de 2 à 8 m ³ /ha/an, enracinement pivotant et profond	Ebénisterie, fabrication de merrains pour le tonnelage et le tranchage, bois d'œuvre, pâte à papier	
<i>Quercus pubescens</i> (Chêne pubescent)	Collinéen/Méditerranéen, altitude : 300-400 et 900-1000 m	Résistant au froid, Héliophile, résistant à la sécheresse et incendies, préfère les températures chaudes	Exigeant en eau, humidité moyenne à sec	Sur sol profond, pH basique et ne tolère pas la salinité	Reboisements artificiels	Espèces post-pionnières
<i>Quercus robur</i> (Chêne pédonculé)	Ripisylve, altitude 1200 - 1300 m	Climat océanique doux, accepte les climats continentaux, résiste aux gelées de printemps, exigeant à la lumière, sensible à la sécheresse si elle perdure, température entre 8 et 13°C	Nécessite un bon approvisionnement en eau	Sur des sols fertiles. Craint l'acidité. Accepte les sols argileux et compacts, Croissance de 2 à 8 m ³ /ha/an, enracinement pivotant et profond	Espèce sous taillis/sous-futaie	Régénération difficile et soumis à la concurrence
<i>Quercus suber</i> (Chêne liège)	Bassin Méditerranéen	Climat Méditerranéen, peu résistant au froid, exigeant à la lumière, très résistant à la sécheresse, Thermophile, Résiste aux incendies	Peu exigeant en eau, de moyen à sec	Sur sol non calcaires, friables, arénacés, secs	Son écorce fournit du liège, Bois de chauffage	Classement Natura 2000
<i>Salix alba</i> (saule blanc)	Vallée des plaines et collines, très peu en montagne, jusqu'à 1300 m	Héliophile, craint l'aridité estivale	Mésohygrophile, bord des eaux	Sol léger et humide, basique à neutre/légèrement acide, alluviaux, argilo-limoneux, graveleux, affectionne les sols carbonatés	Pour la production d'osier, vannerie, bois de sculpture	
<i>Salix eleagnos</i> (Saule drappé)	Plaines et montagnes	Résiste jusqu'à -15 °C, très exigeant en lumière, supporte un peu la sécheresse, températures froides	Très résistant à l'humidité, bords d'eau	Croissance lente. Sol humide, pauvre en matière organique, neutre	Pour les haies et les massifs	
<i>Salix purpurea</i> (Saule pourpre)	Bords d'eau	Climat frais/tempéré/Froid, résiste jusqu'à -15 °C, exigeant en lumière, tolère la sécheresse et le vent	Résiste à de forte humidité	Sol humide, pauvre en matière organique, frais	En vannerie, restauration des berges et en génie végétale (bouturage)	
<i>Sorbus aria</i> (alisier blanc)	Collinéen, montagnard, jusqu'à 1000-1600 m d'altitude	Milieus secs chauds, ne craint pas le froid, résiste jusqu'à - 15 degrés, supporte l'ensoleillement, héliophile, résistant à la sécheresse et à la chaleur/ thermophile, xérophile	Peu exigeant en eau	Croissance assez rapide, plateau calcaire, crête ventée, grès sableux, sols secs/pauvres/acides	Bois de décoration, bon combustible	Favorisé par le régime du taillis-sous-futaie
<i>Tilia cordata</i> (tilleul à feuille cordées)	En plaine, plateau, s'élève peu en montagne, jusqu'à 1500 m d'altitude	Ne craint pas le froid, espèce de demi-ombre, grande résistance à la sécheresse	Tolérant à l'humidité de l'air	Sol argileux, marneux, calcaire, bon approvisionnement en eau mais assez large gamme de station, sol non acide	Sculpture, tournerie, moulage, ébénisterie légère, anneaux	Donne un humus de qualité, concurrence redoutable pour les semis de chênes

<p><i>Tilia platyphyllos</i> (Tilleul à grande feuille)</p>	<p>Ravins de basses et moyenne montagne, jusqu'à 1800 m d'altitude</p>	<p>Climat tempéré d'Europe, frais, tolère le froid, faible tolérance à la sécheresse</p>	<p>Humide, bon approvisionnement, besoin moyen en eau</p>	<p>Croissance moyenne à rapide. Sur tous types de sols, frais et humide</p>	<p>Bois pour la sculpture, en pharmaceutique, pour faire du charbon de bois</p>
<p><i>Ulmus glabra</i> (Orme des montagnes)</p>	<p>Amérique du Nord et Europe occidentale et centrale</p>	<p>Supporte bien jusqu'à -20 °C, supporte gel, supporte la sécheresse, exigeant à la lumière, préfère les températures intermédiaires, bonne résistance au vent</p>	<p>Résistant aux longues inondations, Exigeant en humidité</p>	<p>Croissance moyenne, enracinement superficiel. Sol frais et bien drainé, plutôt riche, argileux, plutôt sec, calcicole</p>	<p>En menuiserie, grandes charpentes, ornemnt</p>