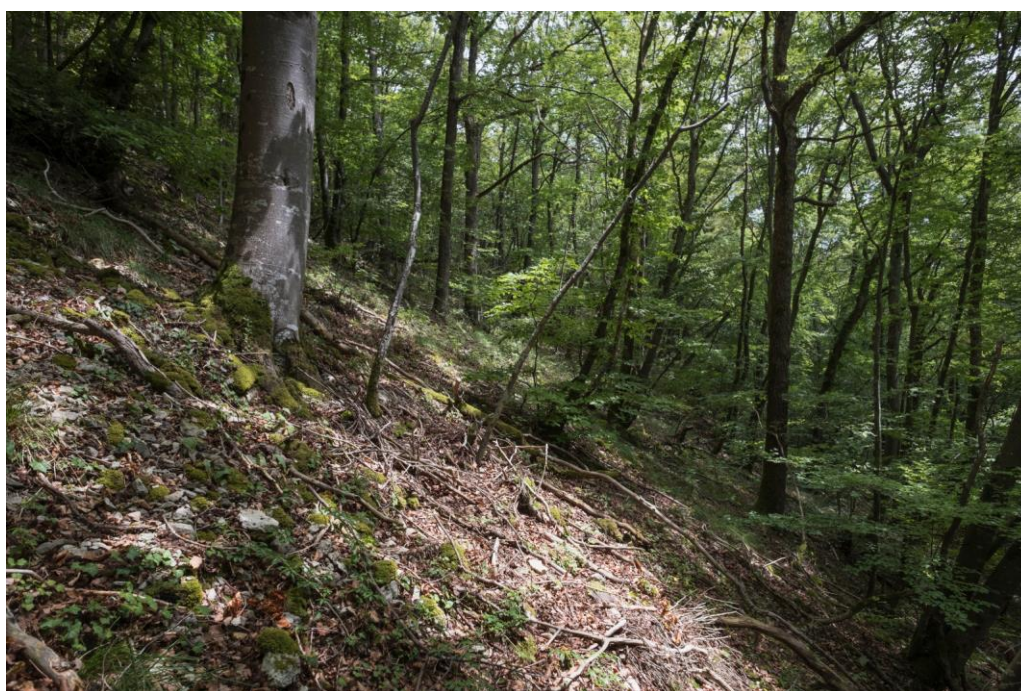


Choix des essences en contexte de changement climatique

Exemple du guide des stations forestières des plateaux calcaires du Nord-Est



Mémoire de Dominante d'Approfondissement

Gestion des Milieux Naturels

Présenté par Marine PERTHUIS

Stage effectué du 12 mars 2019 au 10 septembre 2019

Au Centre National de la Propriété Forestière de Châlons-en-Champagne

Maître de stage : Sylvain GAUDIN

Enseignant référent : Paulina PINTO

Soutenu le 18 octobre 2019

Hêtraie-Chênaie de versant sud sur éboulis fin sous dérochoir

Crédit photo : Sylvain Gaudin © CNPF

Fiche signalétique d'un mémoire

rédigé dans le cadre d'études à AgroParisTech

Titre : Choix des essences en contexte de changement climatique : exemple du guide des stations forestières des plateaux calcaires du Nord-est

Auteur : Marine PERTHUIS

Mots clés : autécologie, changement climatique, station, choix d'essences, cèdre de l'Atlas

Stage assistant ingénieur

☐

Date de fin de rédaction : 09/12/2019

Dominante d'approfondissement

☒

CEI

☐

Autre

☐

Caractéristiques : 1 volume(s) ; 131 pages ; 39 figures ; 21 annexes ; bibliographie.

Organisme d'accueil : CNPF Centre régional de la propriété forestière Grand Est

Nom du maître de stage : Sylvain GAUDIN

Fonctions dans l'organisme : Ingénieur expérimentation et développement

Nom du référent AgroParisTech : Paulina PINTO

Résumés français et en d'autres langues :

L'étude a porté sur l'élaboration des préconisations de choix d'essences pour le futur guide des stations forestières des plateaux calcaires du Nord Est. Ces préconisations doivent dépendre de la station et du climat actuel ou futur. Une première phase de recherche bibliographique a permis de construire un tableau de synthèse sur l'autécologie des principales essences de la sylvoécologie et d'autres essences plus exotiques. Il permet d'avoir une vision rapide de leurs exigences écologiques et leurs facteurs limitants et est utile pour juger de l'adaptation d'une essence à une station et un climat. Ensuite, plusieurs méthodes ont été testées pour découper climatiquement la zone d'étude afin de faire varier les choix d'essences par climats. La synthèse de ces méthodes a permis de diviser la sylvoécologie en 5 climats actuels et 3 climats futurs. À partir du tableau de synthèse autécologique et d'autres sources de données selon que les climats soient actuels ou futurs, les préconisations de choix d'essences ont été élaborées pour un nombre réduit de stations. La présentation de ces résultats a été étudiée pour offrir à l'utilisateur du guide l'information la plus complète et la plus ergonomique possible sur les choix d'essences en contexte de changement climatique. Ces résultats serviront de référence pour la construction des recommandations de choix d'essences des autres stations du guide. En parallèle, une étude sur les potentialités de croissance du cèdre de l'Atlas sur toute la sylvoécologie des plateaux calcaires du Nord Est a été menée, afin de mieux connaître son écologie et d'affiner les préconisations de stations et de climat pour cette essence.

RÉSUMÉ

L'étude a porté sur l'élaboration des préconisations de choix d'essences pour le futur guide des stations forestières des plateaux calcaires du Nord Est. Ces préconisations doivent dépendre de la station et du climat actuel ou futur. Une première phase de recherche bibliographique a permis de construire un tableau de synthèse sur l'autécologie des principales essences de la sylvoécორégion et d'autres essences plus exotiques. Il permet d'avoir une vision rapide de leurs exigences écologiques et leurs facteurs limitants et est utile pour juger de l'adaptation d'une essence à une station et un climat. Ensuite, plusieurs méthodes ont été testées pour découper climatiquement la zone d'étude afin de faire varier les choix d'essences par climats. La synthèse de ces méthodes a permis de diviser la sylvoécორégion en 5 climats actuels et 3 climats futurs. À partir du tableau de synthèse autécologique et d'autres sources de données selon que les climats soient actuels ou futurs, les préconisations de choix d'essences ont été élaborées pour un nombre réduit de stations. La présentation de ces résultats a été étudiée pour offrir à l'utilisateur du guide l'information la plus complète et la plus ergonomique possible sur les choix d'essences en contexte de changement climatique. Ces résultats serviront de référence pour la construction des recommandations de choix d'essences des autres stations du guide. En parallèle, une étude sur les potentialités de croissance du cèdre de l'Atlas sur toute la sylvoécორégion des plateaux calcaires du Nord Est a été menée, afin de mieux connaître son écologie et d'affiner les préconisations de stations et de climat pour cette essence.

ABSTRACT

The aim of this study was to work on the tree species recommendations for the new forest sites handbook for the Limestone plateaux of the North-Est of France. These suggestions depend on both the forest site and the current or future climate. First a synthetic table of the ecology of this region's most common species was established due to a bibliographic research. It helps understand the ecological limits of a species and allows to know if this species is adapted to the forest site and the climate. Then several methods were tested to split the territory so that the tree species recommendations could be distinguished for every climate-type. The area was divided into five current climates and three future climates due to the synthesis of these methods. Finally tree species recommendations were submitted for seven forest sites using the synthetic table of ecology and several data sources depending on the future or current considered climate. The ergonomics of the presentation of these results was studied to bring the most complete information to the forest managers in context of climate change. All these results will be used to build the other recommendations in the guide. Meanwhile the potentialities of atlas Cedar on the Limestone plateaux area was investigated in order to understand its ecological preferences and identify where it could grow at best.

Engagement de non-plagiat

1.1 ❶ PRINCIPES

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive ; recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

1.2 ❷ CONSIGNES

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

❸ Sanctions

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

❹ Engagement

Je soussigné (e) Marine Perthuis, reconnais avoir lu et m'engage à respecter l'engagement de non-plagiat.

À Châlons en Champagne le 29/08/2019.

Signature :



Cet engagement de non-plagiat doit être inséré en début de tous les rapports, dossiers, mémoires.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, merci à tous ceux qui m'ont accompagnée sur le terrain pour me montrer des peuplements, m'aider à creuser des fosses pédologiques ou encore mesurer des circonférences entre les ronces, les buis morts et les aubépines.

Merci à Bernard Bouchet pour m'avoir montré mes premiers cormiers.

Merci à Lilian Duband pour ses remarques et conseils avisés sur le changement climatique.

Merci à Yves Gadrey qui a dû réquisitionner un régiment entier pour me fournir les renseignements nécessaires à mon étude sur le cèdre de l'Atlas et merci à Stéphane Martin pour m'avoir fait découvrir tous ces peuplements.

Merci à François Courbet d'avoir pris le temps de partager ses connaissances sur cette essence et pour m'avoir fourni des données sur sa croissance en région méditerranéenne.

Merci à tous mes collègues de la maison régionale de la forêt et du bois de Châlons en Champagne, pour toutes les connaissances que vous m'avez apportées et les bons moments partagés à la pause café.

Merci à Paulina Pinto qui a accepté de relire ce rapport et merci à François Lebourgeois, qui a consenti à assister à ma soutenance.

Et enfin, merci à Sylvain Gaudin, pour toutes ces heures consacrées à mon encadrement malgré ton emploi du temps déjà surchargé. Merci pour tes conseils en botanique, en pédologie, en sylviculture et en bien d'autres choses encore, toujours énoncés dans la bonne humeur ! Merci aussi à Sabine Barets, qui m'a si bien accompagnée tout au long de mon stage. Ces quelques mois à vos côtés m'ont apporté beaucoup, tant d'un point de vue professionnel que personnel.

2 TABLE DES MATIÈRES

Table des figures	4
Table des tableaux	6
Index alphabétique des sigles	7
1. Introduction	8
1.1. Bref historique des catalogues de stations.....	8
1.2. Le projet CalClim	9
1.2.1. Un guide de stations novateur.....	9
1.2.2. Etat des lieux du travail déjà réalisé	10
1.2.2.1. Définition de la zone d'application du guide	10
1.2.2.2. Construction des unités stationnelles.....	11
1.2.2.3. Caractérisation climatique de la région	12
1.2.2.4. Construction des groupes écologiques	13
1.2.2.5. Construction des clés de détermination de stations	14
1.2.2.6. Construction de la version test du guide	14
1.2.3. Intégration de mon étude au sein du projet : mise en contexte	14
2. Choix des essences conseillées : comment établir la liste et caractériser leur autécologie.....	16
2.1. Méthode : quelles essences choisir pour étudier leur autécologie ?	16
2.2. Matériel : quelles données sont actuellement disponibles ?	16
2.3. Résultat : synthèse des données pour caractériser et comparer l'autécologie de ces essences	17
3. Typologie des climats : comment caractériser les climats actuels et futurs de la SER C20.....	18
3.1. Caractérisation des climats actuels.....	18
3.1.1. Regroupement climatique par comparaison de la croissance d'essences forestières par climat	20
3.1.2. Regroupement climatique fondé sur la fréquence d'apparition d'espèces du sous-bois 22	
3.1.3. Regroupement climatique par analyse des variables climatiques.....	25
3.1.3.1. Analyse monofactorielle	25
3.1.3.2. Analyse multivariée.....	26
3.1.4. Conclusion : un découpage climatique de la SER en 5 climats actuels.....	28
3.2. Sélection de modèles climatiques futurs pour représenter l'évolution théorique des climats 30	
4. Préconisations de choix d'essences : comment choisir les essences adaptées et les présenter aux gestionnaires	33

4.1.	Construction des préconisations de choix d'essences par type de stations sous climats actuels	33
4.2.	Construction des préconisations de choix d'essences par type de stations sous climats futurs	36
4.3.	Exemple de préconisation : le cèdre de l'Atlas est-il adapté à la SER C20 sous les climats actuels et futurs ?	39
4.3.1.	Matériel et méthode : comment évaluer la croissance en hauteur dominante du Cèdre de l'Atlas sur la SER C20 ?	39
4.3.1.1.	Constitution d'un échantillon de peuplements	39
4.3.1.2.	Mesures de terrain	40
4.3.2.	Résultats : recommandations pour le cèdre de l'Atlas sur la SER	41
4.3.2.1.	Un vaste échantillon de peuplements	41
4.3.2.2.	Comparaison de la croissance du cèdre en différentes régions	42
4.3.2.3.	Effets de la station et des climats de la SER sur la croissance du cèdre de l'Atlas	46
4.3.2.4.	Etat sanitaire des peuplements de cèdre sur la SER	48
4.3.3.	Conclusion : sur quelles stations et climats de la SER C20 faut-il préconiser le cèdre de l'Atlas ?	49
4.4.	Synthèse des préconisations et création d'un outil adapté aux gestionnaires	51
5.	Conclusion	53
	Bibliographie	56
	Table des annexes	61
	Annexe 1 : Comparaison de la prise en compte du changement climatique au sein des guides de stations	62
	Annexe 2 : Base de données utilisée pour la pré-typologie climatique	65
	Annexe 3 : Pré-typologie climatique actuelle à l'échelle de la France	66
	Annexe 4 : Groupes écologiques (version 1 - juin 2019)	67
	Annexe 5 : Clés de détermination de station (version 1 juin 2019)	68
	Annexe 6 : Fiche de relevés tests	71
	Annexe 7 : Liste des espèces étudiées	74
	Annexe 8 : Tableau de comparaison des outils disponibles pour caractériser l'autécologie des essences	75
	Annexe 9 : Description et critiques du tableau de synthèse autécologique	77
	Annexe 10 : Paramètres utilisés dans la modélisation de croissance en hauteur dominante	82
	Annexe 11 : Cartes de la croissance en hauteur dominante par essence	83
	Annexe 12 : Liste de la flore indicatrice de climats	86
	Annexe 13 : Distribution de la flore indicatrice de climats sur la SER C20 par climat	87
	Annexe 14 : Corrélation entre les axes factoriels de l'ACM et les variables climatiques	88

Annexe 15 : Proposition de regroupement des climats par analyse de la distribution d'une flore indicatrice.....	89
Annexe 16 : Caractéristiques climatiques des 12 climats de la SER	93
Annexe 17 : Résultats cartographiques de l'analyse climatique	101
Annexe 18 : Modélisation des potentielles évolutions climatiques	104
Annexe 19 : Distribution des individus par climat sur les axes factoriels 1 et 2 de l'ACP de la pré-typologie climatique	108
Annexe 20 : Fiches de description des US et leurs préconisations de choix d'essences (version 2 Août 2019)	109
Annexe 21 : Fiche de relevés des mesures dendrométriques pour l'étude des potentialités de croissance du cèdre de l'Atlas.....	123

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Guides pour le choix des essences réalisés en France	9
Figure 2 : Présentation de la SER C20	10
Figure 3 : Zones d'application du guide	11
Figure 4 : Schéma de la démarche de construction de la typologie	13
Figure 5 : Schéma présentant les choix d'essences du guide des plateaux calcaires du Nord Est en fonction des stations et du climat	15
Figure 6 : Méthode de construction des préconisations de choix d'essences	15
Figure 7 : Climats établis durant la 1ère phase du projet CalClim.....	19
Figure 8 : Méthode de construction de la typologie climatique actuelle	19
Figure 9 : Exemples types des profils de sol et potentialité d'une US P4 et d'une US P7.....	20
Figure 10 : Cartes de la hauteur dominante d'un peuplement de Hêtres de 100 ans en US P4 sur la SER C20	21
Figure 11 : Densité de présence de <i>Rubia peregrina</i> par climat.....	22
Figure 12 : Distribution de la fréquence de <i>Rubia peregrina</i> sur la SER par climat	23
Figure 13 : Histogramme d'éboulis des valeurs propres en pourcentage	24
Figure 14 : Dendrogramme issu de la CAH et de l'ACM en utilisant 3 et 5 axes factoriels.....	24
Figure 15 : Regroupements des climats obtenus par la méthode d'analyse de la fréquence d'apparition de la flore	25
Figure 16 : Boîtes à moustaches de la température minimale hivernale par climat.....	26
Figure 17 : Boîtes à moustaches de la température moyenne annuelle et du rayonnement estival moyen pour les climats 5 et 6.....	26
Figure 18 : Distribution des individus par climat sur les axes factoriels 1 et 2 de l'ACP.....	27
Figure 19 : Comparaison de la forme des types climatiques obtenus selon la méthode employée	27
Figure 20 : Découpage de la SER en cinq types climatiques obtenus par analyse des données climatiques.....	28
Figure 21 : Caractéristiques des types climatiques actuels	29
Figure 22 : Migration spatiale du climat 27 par modélisation du climat futur.....	30
Figure 23 : Cartes climatiques.....	31
Figure 24 : Couverture actuelle des types climatiques futurs	32
Figure 25 : Carte de couverture des catalogues et guides de la SER	33
Figure 26 : Préconisations de choix d'essences pour l'US P4 et l'US P7 par climats actuels	35
Figure 27: Carte des sols dominants de France	37
Figure 28: Préconisations de choix d'essences pour l'US P4 pour les climats actuels et futurs.....	38
Figure 29 : Volume sur pied (m ³) du cèdre de l'Atlas en France.....	39
Figure 30 : Carotte de cèdre de l'Atlas.....	40
Figure 31 : Carte de localisation des relevés de cèdre de l'Atlas.....	42
Figure 32 : Histogramme du nombre de peuplements recensés par US.....	42
Figure 33 : Comparaison de la croissance en hauteur des peuplements recensés par rapport aux courbes de fertilité du modèle algérien	43
Figure 34 : Comparaison de la croissance en hauteur des peuplements recensés par rapport aux courbes de fertilité du modèle de l'INRA d'Avignon et l'IRSTEA	45
Figure 35 : Comparaison de la croissance en hauteur des peuplements recensés par rapport à la courbe de fertilité du modèle breton	45
Figure 36 : Racine de cèdre de l'Atlas entre deux blocs de calcaire	47
Figure 37 : Coulées de résine blanches sur un bois moyen de cèdre de l'Atlas	48

Figure 38 : Trou d'insecte dans l'écorce et coulée de résine sur un cèdre de l'Atlas	48
Figure 39 : Différentes formes de présentation des préconisations de choix d'essences.....	51

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse de la typologie stationnelle des catalogues de la SER C20 pour les stations de plateau sur sol superficiel et carbonaté.....	12
Tableau 2 : Exemple des informations contenues dans le tableau de synthèse autécologique	17
Tableau 3 : Description du sol type de l'US P4 et calcul de sa réserve utile.....	21
Tableau 4 : Occurrence de <i>Rubia peregrina</i> par climat sur la SER	22
Tableau 5 : Densité de présence et classes de fréquence de <i>Rubia peregrina</i> par climat	23
Tableau 7 : Caractéristiques de l'échantillon	41
Tableau 8 : Caractéristiques des modèles de croissance utilisés	43
Tableau 9 : Comparaison des indices de fertilité selon les modèles	44
Tableau 10 : Hauteur dominante moyenne à l'âge de référence par climat et US	46
Tableau 11 : Préconisations de station et de climat pour le cèdre de l'Atlas.....	50
Tableau 12 : Comparaison des différentes formes de présentation des préconisations de choix d'essences	52
Tableau 13 : Présentation finale du choix d'essences	52
Tableau 14 : Préconisations de choix d'essences par variables climatiques	55

INDEX ALPHABÉTIQUE DES SIGLES

ACP : Analyse en Composantes Principales

ACM : Analyse des Correspondances Multiples

AFD : Analyse Factorielle Discriminante

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CEMAGREF : Centre national du Machinisme Agricole du Génie Rural, des Eaux et des Forêts

CNPF : Centre National de la Propriété Forestière

IGN : Institut Géographique National

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

IRSTEA : Institut de Recherche en Sciences et Technologie pour l'Environnement et l'Agriculture

ONF : Organisme National des Forêts

PSG : Plan Simple de Gestion

SER : Sylvoécorégion

SER C20 : Sylvoécorégion des Plateaux Calcaires du Nord Est

US : Unité Stationnelle

1. INTRODUCTION

Désormais, le climat varie à une échelle de temps plus courte que la durée de croissance des essences forestières. Une répartition plus hétérogène des précipitations annuelles et une hausse des températures sont prévues et risquent d'être défavorables aux forêts actuellement en place. Ainsi, les aires de distribution potentielles des essences se modifient. Pour le forestier, c'est un véritable casse-tête que de savoir quelles espèces conserver ou quelles espèces planter.

Pour aider le sylviculteur dans ses choix d'essences, de nombreux dispositifs et outils voient actuellement le jour : modèles de distribution actuels et futurs des essences forestières, application pour smartphone pour le choix des essences, catalogues et guides de stations forestières... Si les outils numériques ont le vent en poupe, ils ne sont pas forcément plus fiables que les catalogues de stations. Il est vrai que la prise en compte du changement climatique au sein des catalogues et guides de stations n'en est qu'à ses débuts et mérite d'être développée (voir paragraphe 1.1 et annexe 1).

Dans ce contexte, ce stage a pour but de préconiser des essences pour un guide simplifié et novateur en intégrant les évolutions climatiques. La rédaction de ce guide a été confiée au Centre National de la Propriété Forestière (CNPF) Grand Est. Ce stage s'est ainsi déroulé sous la tutelle de Sylvain Gaudin, ingénieur expérimentation et développement.

1.1. LE CNPF

Le Centre National de la Propriété Forestière (CNPF) est l'établissement public en charge du développement de la gestion durable des forêts privées. Il a trois principales missions : orienter la gestion, en approuvant les documents de gestion durable par exemple ; regrouper les propriétaires ; conseiller et former, en réalisant des guides techniques notamment. C'est à l'antenne régionale du Grand Est, à Châlons en Champagne, que j'ai réalisé mon stage. Elle est composée de techniciens et ingénieurs qui travaillent sur des thèmes variés : environnement, expérimentation et développement. Quelques membres de l'équipe ont plusieurs années d'expérience dans la rédaction de guides de stations forestières notamment. En effet, l'ancienne région Champagne Ardennes avait été choisie comme région pilote de relance de la typologie des stations forestières.

1.2. BREF HISTORIQUE DES CATALOGUES DE STATIONS

Une station forestière est une étendue de terrain sur laquelle les conditions physiques et biologiques (climat, propriétés du sol, composition floristique, etc.) sont homogènes (Vidal *et al.*, 2004). A chaque station correspond une potentialité de production et donc un choix d'essences adaptées. Les catalogues et guides de stations visent regrouper les types de stations présentes dans une région naturelle et fournissent une description et une clé de reconnaissance accessibles aux sylviculteurs et gestionnaires. Souvent très fournis et difficilement accessibles aux gestionnaires, les catalogues ont été simplifiés en guides de stations.

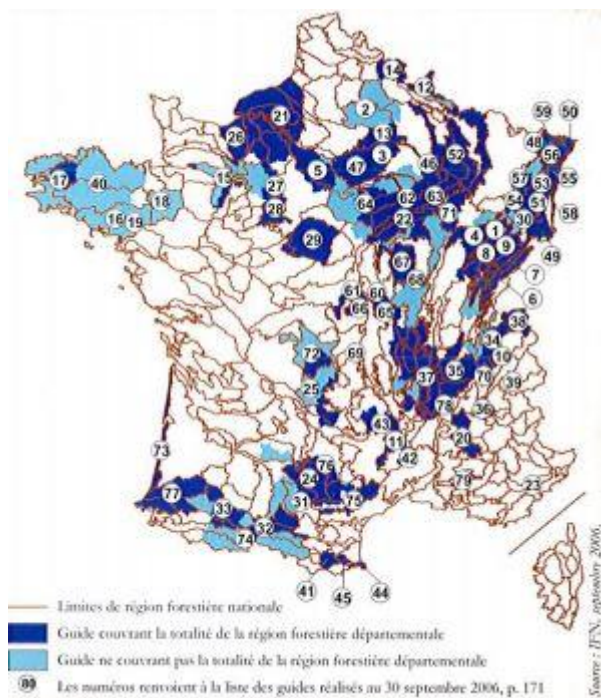


Figure 1 : Guides pour le choix des essences réalisés en France

En France, 60 % du territoire forestier est couvert par des catalogues ou des guides (figure 1). Pour autant, l'utilisation de ces deux types de document reste faible, en particulier en forêt privée. Dans une circulaire de 2002, le Ministère de l'Agriculture a souligné l'importance de ces documents dans la gestion forestière et a initié un plan national de relance de la typologie des stations (Ministère de l'Agriculture, 2002). En effet, les catalogues et guides ont pour objectif d'apporter des conseils aux gestionnaires en termes de choix d'essences et ainsi leur permettre d'adopter une gestion durable des forêts. Or, l'implantation d'une essence dépend à la fois des paramètres stationnels, comme la topographie et la géologie, mais aussi de paramètres climatiques. En contexte de climat

changeant, les nouveaux catalogues et guides de stations doivent donc répondre à deux objectifs ambitieux : répondre aux besoins des utilisateurs et intégrer les changements climatiques.

Actuellement, les guides qui prennent en compte le changement climatique sont peu nombreux. Le guide pour l'identification des stations et le choix des essences en Argonne (Perrier *et al.*, 2007) est le premier à avoir intégré les évolutions climatiques dans les choix d'essences. Les espèces présentant un risque face au changement climatique en fonction de la station sont signalées par une pastille de couleur. Mais ce guide ne couvre qu'une petite région forestière naturelle, contrairement au guide de choix des essences de Normandie (Madrolles et Reboul, 2018) ou à celui de la région Centre (Reboul *et al.*, 2012), qui eux, couvrent une région administrative complète et déclinent leurs choix d'essences par station et par zone climatique (annexe 1). En cela, ils se rapprochent davantage des objectifs du projet de guide de stations des plateaux calcaires du Nord Est, ou projet CalClim, sur lequel j'ai travaillé.

1.3. LE PROJET CALCLIM

1.3.1. Un guide de stations novateur

Le projet CalClim a pour objectif de mettre à disposition des gestionnaires un guide de stations de la SylvoEcoRégion (SER) des plateaux calcaires du Nord Est (SER C20) (figure 2 page suivante). Ce territoire est presque intégralement couvert par des catalogues et guides. Le but de CalClim est donc d'homogénéiser toutes ces informations en un guide simplifié et de les actualiser en prenant en compte le changement climatique.

Une équipe du CNPF de Châlons en Champagne est spécialement dédiée à sa réalisation : une chargée de mission, Sabine Barets, deux ingénieurs, l'un responsable de l'expérimentation (Sylvain Gaudin), l'autre en charge de l'environnement (Laurence Carnnot-Milard), et moi-même dans le cadre de mon stage de fin d'études. Mais pour rendre le guide le plus opérationnel possible, d'autres personnels de différentes structures ont participé à son amélioration en apportant leur expertise aux

comités de pilotage et en testant les premières versions sur le terrain.

Le projet, d'une durée de trois ans, a été découpé en plusieurs étapes. À chaque étape, les réunions du comité de pilotage ont entériné les résultats obtenus.

Il d'abord fallu s'assurer de la faisabilité du projet et vérifier la cohérence stationnelle de la SER. Cette première phase s'est terminée en 2018 et a permis de définir la zone d'application du guide.

La deuxième phase est l'étape de construction du guide : typologie des unités stationnelles (US), typologie climatique actuelle et future, construction des groupes écologiques et de la clé de détermination des stations, et préconisations de choix d'essences. Cette étape elle-même s'est déroulée en deux temps. Une première version du guide a vu le jour à partir de la bibliographie. Celle-ci a ensuite été testée sur le terrain pour créer la version finale du guide, plus fonctionnelle. C'est au cours de cette période que s'est déroulé mon stage.

Ensuite, une dernière phase visera à diffuser le document et former les futurs utilisateurs du guide.

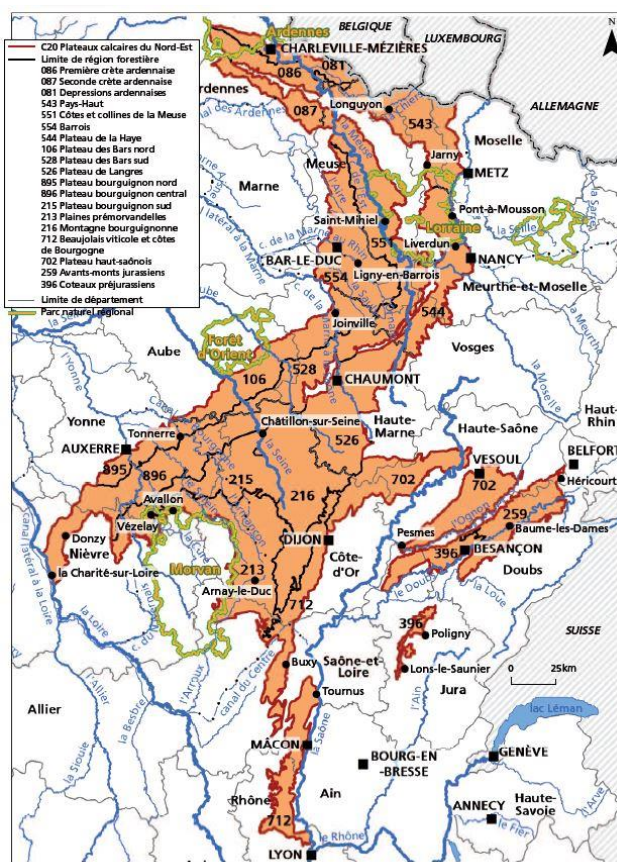
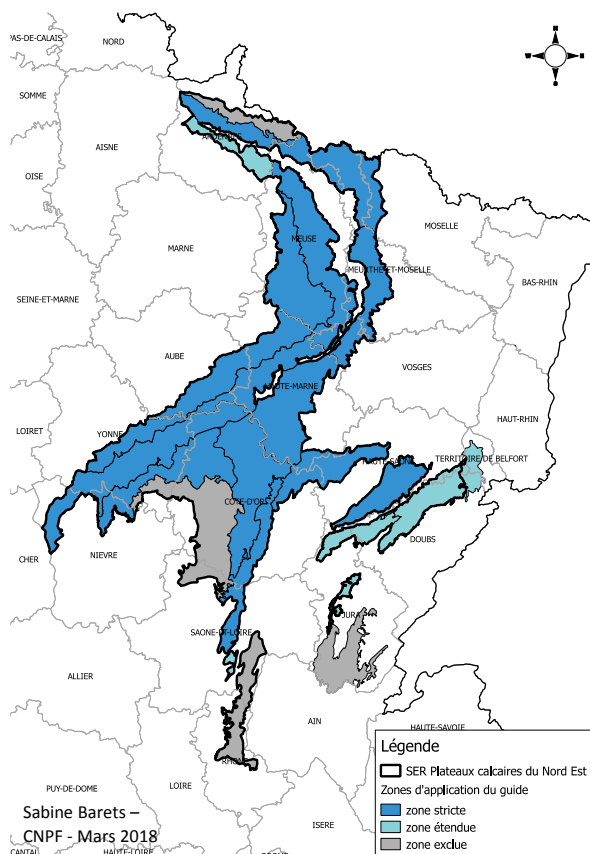


Figure 2 : Présentation de la SER C20 (source : Institut National de l'Information Géographique et Forestière, 2013)

1.3.2. État des lieux du travail déjà réalisé

1.3.2.1. Définition de la zone d'application du guide

La SER C20 regroupe l'ensemble des plateaux calcaires des régions Grand Est et Bourgogne Franche Comté et couvre ainsi 15 départements. Elle s'étend, du nord au sud, de la première crête ardennaise aux plaines pré-morvandelles (figure 3). Elle a été construite en regroupant des régions naturelles situées « *sur substratum jurassique, présentant une grande unité géologique et géomorphologique. Les Plateaux calcaires constituent un vaste ensemble formé de cuestas bien marquées, de surfaces tabulaires et de nombreuses vallées, avec des faciès diversifiés selon la nature lithologique de la roche mère et la nature des formations superficielles.* » (Institut National de l'Information Géographique et Forestière, 2013).



Afin de construire un guide des stations homogène et fonctionnel, il fallait étudier l'ensemble des informations stationnelles disponibles afin de définir de manière précise sa zone d'application. Le précédent chargé de mission a vérifié la cohérence stationnelle des plateaux calcaires, c'est-à-dire l'homogénéité géologique, floristique et le découpage des stations entre catalogues existants sur la SER.

À partir de ces résultats et des propositions faites en comité de pilotage, la SER a été découpée en trois unités : une zone d'application stricte où le guide doit s'appliquer dans tous les massifs forestiers, une zone d'application étendue qui concerne des régions naturelles atypiques dans lesquelles le guide ne s'appliquera que de manière partielle et une zone d'exclusion qui correspond aux régions où il n'est pas possible d'appliquer le futur guide.

Figure 3 : Zones d'application du guide

1.3.2.2. Construction des unités stationnelles

L'étude bibliographique de la cohérence stationnelle des plateaux calcaires a permis de détailler la structuration de la typologie des stations de chacun des catalogues et guides de la SER. A partir de ces données, une nouvelle typologie des stations a été proposée. Elle conserve l'organisation générale des catalogues et guides existants, c'est-à-dire qu'elle est d'abord structurée par la position topographique puis par les facteurs les plus limitants pour la croissance des arbres (profondeur du sol, texture et richesse chimique pour les stations de plateau par exemple).

Cette nouvelle typologie repose sur un regroupement des stations qui semblent homogènes d'un point de vue écologique et en termes de potentialité de choix d'essences. Par exemple, toutes les stations de plateau sur sol très superficiel et carbonaté ont été regroupées au sein d'une même US de potentialité très faible (tableau 1, page suivante). A l'inverse, la « Chênaie pubescente de haut de versant ensoleillé » correspondant à l'habitat 9150-1 du cahier Habitat de Natura 2000 a été distinguée des autres stations de versant sud thermoxérophiles pour mettre en évidence son intérêt patrimonial. Cette méthode de regroupement permet d'aboutir à un nombre réduit d'US par rapport aux catalogues, tout en conservant une liste d'essences spécifique à chaque US.

Initialement, le guide est découpé en 37 US, mais ce nombre pourra être modifié en fonction des choix d'essences proposés. Si deux stations présentent les mêmes préconisations, elles pourront être regroupées. *A contrario*, une US pourra être redécoupée si elle présente un gradient de fertilité trop important.

BB – 70 ¹	BB – 39 ²	DR – 52 ³	D – Bourg. ⁴	B – Lorr. ⁵	R - 21 ⁶	G - 08 ⁷	NR – Chat. ⁸	CalClim
1 - Chênaie sessiliflore-charmaie xérophile sur sol très superficiel sur calcaire) <i>variante carbonatée</i>	2 - Hêtraie chênaie xérophile de corniche à Séslerie	1110 - Hêtraie-chênaie xérophile à Séslerie bleue	1120 - Hêtraie-chênaie calcaricole mésoxérophile	2 - Hêtraie-chênaie xérophile à Séslerie	3 - Hêtraie-chênaie mésoxérophile à hépatique et alisier blanc	/	100 Chênaie-hêtraie xérophile à Séslerie bleue de plateau	P1 - Station xérophile carbonatée sur sol très superficiel de plateau
		1120 Hêtraie-chênaie xérophile à <i>Carex alba</i> sur rendzine oolithique	1130 Chênaie-charmaie-(hêtraie) mésoxérophile sur sol superficiel, <i>variante sur sol brun calcaire ou rendzine brunifiée</i>				110 Hêtraie-chênaie xérophile à laïche blanche sur rendzine oolithique humo-carbonatée	
		1130 Hêtraie-chênaie xérophile à <i>Carex alba</i> sur rendzine brunifiée						

Tableau 1 : Synthèse de la typologie stationnelle des catalogues de la SER C20 pour les stations de plateau sur sol superficiel et carbonaté

1.3.2.3. Caractérisation climatique de la région

Bien que la SER des Plateaux calcaires du Nord Est soit assez homogène d'un point de vue géologique et géomorphologique, elle présente une certaine hétérogénéité climatique du fait de la vaste surface qu'elle couvre : Météo France mesure par exemple une pluviométrie annuelle de

¹ et ² : Bailly et Beaufils, 1998

³ : Didier et Rameau, 1989

⁴ : Deconninck, 1986

⁵ : Becker *et al.*, 1980

⁶ : Rameau, 1989

⁷ : Giraud, 1985

⁸ : Nicloux et Rameau, 1986

1187 mm répartie sur 141 jours à Besançon contre 760 mm de précipitations réparties sur 115 jours par an à Dijon (Météo France, 2019a, 2019c). Préconiser des essences dans un guide des stations forestières à l'échelle de toute cette SER suppose alors de distinguer les choix d'essences par unité stationnelle (US), mais aussi par type climatique. Il a donc fallu distinguer et caractériser plusieurs climats sur cette zone.

En 2018, un travail de pré-typologie des climats a été réalisé à l'échelle de la France. Dans un premier temps, une base de données comprenant des points au pas du kilomètre sur toute la France pour 48 variables climatiques saisonnières a été analysée par une Analyse en Composantes Principales (ACP) (annexe 2). A partir des résultats de l'ACP, une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a ensuite permis de regrouper les points ayant des coordonnées factorielles voisines. Toutefois, le logiciel utilisé n'étant pas en mesure de faire ce calcul sur une base de données aussi vaste, il a été exécuté au pas de 3 km, ce qui correspond à environ 10 % des points. Les 90 % des points restants ont ensuite été classés dans les groupes construits par la CAH à l'aide d'une Analyse Factorielle Discriminante (AFD) (figure 4). Enfin, les groupes issus de la CAH ont été éprouvés par AFD.

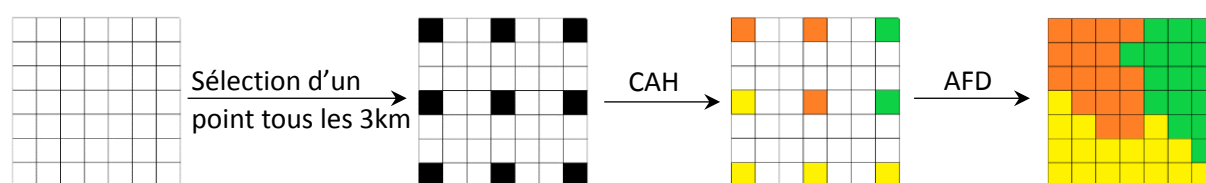


Figure 4 : Schéma de la démarche de construction de la typologie (un climat correspond à une couleur) (source : Barets, 2019)

Finalement, la France a été découpée en 41 climats (annexe 3). Le découpage obtenu semble assez fin, tant pour distinguer les climats locaux à l'échelle des régions forestières que pour visualiser leur translation à différents pas de temps par modélisation du climat futur. Ainsi, parmi ces 41 climats, 12 sont présents au sein de la SER C20 (figure 7 page 19). Nous verrons par la suite que cette pré-typologie a été simplifiée pour être plus fonctionnelle (partie 3.1).

1.3.2.4. Construction des groupes écologiques

Malgré le gradient climatique présent sur la zone d'étude, la flore indicatrice est relativement homogène selon les catalogues et guides de la SER. Les groupes écologiques analogues ont donc été utilisés pour former les groupes provisoires du guide des plateaux calcaires du Nord Est. Les plantes ont été choisies en fonction de leur occurrence dans les différents catalogues et de leur appartenance claire à un groupe écologique synthétique. Ces regroupements ont ensuite été testés par des analyses statistiques fondées sur les valeurs indicatrices des plantes (EcoPlant et Ellenberg), puis modifiés et validés lors d'un comité de pilotage.

Actuellement, les groupes écologiques sont au nombre de 12 et sont classés selon un double gradient d'humidité et de richesse chimique. Ils regroupent 160 plantes présentes sur toute la SER (annexe 4). Par la suite, ces groupes pourront être modifiés en fonction des résultats des relevés sur le terrain.

1.3.2.5. Construction des clés de détermination de stations

A partir de la typologie des stations et des groupes écologiques, la clé de détermination des stations a pu être construite.

Comme les stations, elle est divisée en trois groupes selon la topographie : une clé pour les stations de plateau, une pour les stations de versant et une pour les fonds de vallon, de vallée et les autres situations topographiques (annexe 5). Là encore, elle sera testée sur le terrain et pourra être modifiée en fonction des retours des utilisateurs.

1.3.2.6. Construction de la version test du guide

Une version test du guide a été construite à partir des clés de détermination des stations, des groupes écologiques et de la typologie des stations. La typologie climatique n'ayant pas été finalisée, elle n'a pas été prise en compte dans cette première version.

Celle-ci doit être testée sur le terrain par ses futurs utilisateurs. Pour cela, une fiche de relevé test a été conçue dans ce cadre : une page spéciale est destinée à formaliser et valoriser toutes les observations de terrain (annexe 6). Les testeurs se mettent dans les mêmes conditions que pour une véritable détermination de station. Ils doivent remplir la fiche de relevé test en décrivant la topographie, le sol, la flore et le peuplement. A l'aide de la clé de détermination, ils vérifient ensuite s'ils aboutissent à une US cohérente avec ce qui est observé, ou, dans le cas contraire, ils indiquent quelle US du guide test correspond mieux. Les premières préconisations de choix d'essences avaient aussi été établies pour chaque US. Ainsi, des remarques sur la description des fiches ou le choix d'essences de chaque station peuvent être formulées.

Cette version test a plusieurs objectifs. Elle permettra d'améliorer la clé de détermination des stations et les descriptions des fiches US. La totalité de ces relevés apportera aussi des informations sur la fréquence des stations sur la SER. Enfin, les descriptions des peuplements seront utilisées pour les préconisations de choix d'essences.

1.3.3. Intégration de mon étude au sein du projet : mise en contexte

Le but du projet CalClim est de créer un outil simple d'utilisation pour proposer des essences adaptées à la station et aux climats actuel et futur. Dans le cadre de mon stage, j'ai travaillé sur ce sujet : comment préconiser des essences adaptées aux stations des plateaux calcaires du Nord-Est en contexte de changement climatique ?

La lecture du choix d'essences du guide dépend de deux choses : le gestionnaire doit connaître la station et le climat sur lesquels il se situe pour aboutir à une liste d'essences adaptées (figure 5, page suivante). Ainsi, préconiser des essences dépend à la fois de leur autécologie, du type de station et du climat.

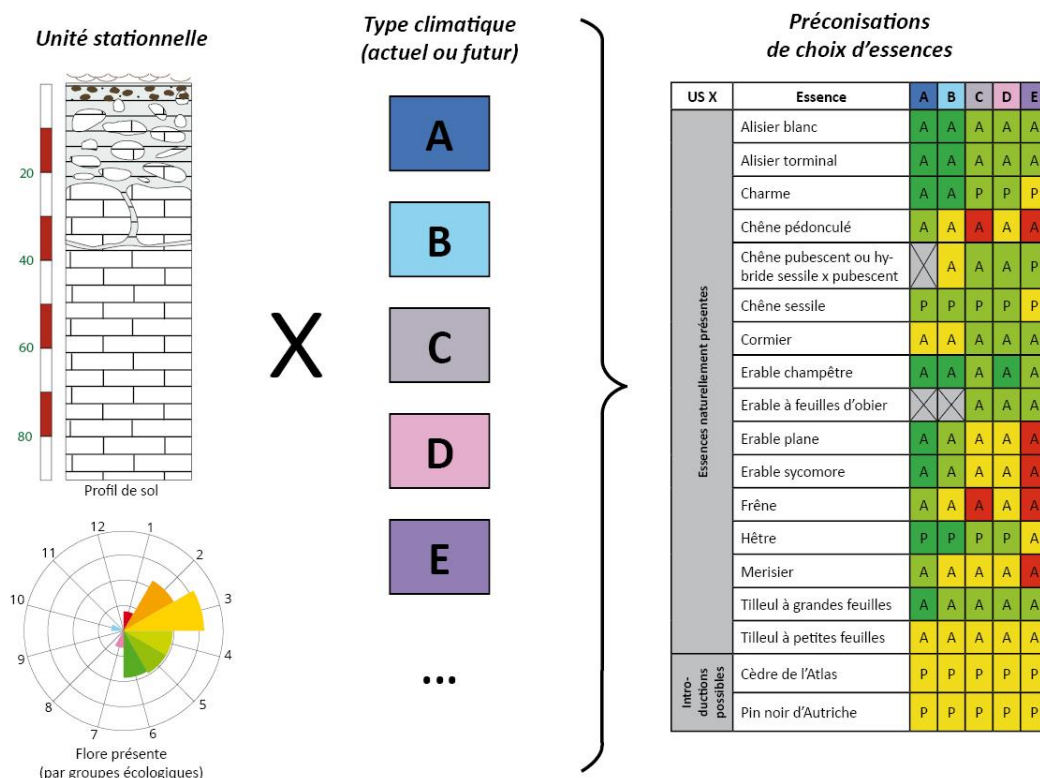


Figure 5 : Schéma présentant la lecture du choix d'essences du guide des plateaux calcaires du Nord Est en fonction des stations et du climat

La caractérisation des stations ayant été réalisée par la chargée de mission, je n'ai pas travaillé directement dessus. En revanche, mes préconisations de choix d'essences peuvent conduire à affiner les découpages stationnels, en regroupant les stations de même préconisations par exemple, ou en scindant une US en deux si le potentiel de croissance pour certaines essences varie trop.

J'ai travaillé sur les deux autres points : la caractérisation de l'autécologie des essences et l'élaboration d'une typologie climatique. J'ai ensuite pu élaborer des préconisations de choix d'essences par station, grâce à la typologie stationnelle, et par climat, grâce à la typologie des climatiques (figure 6). Le contenu du présent mémoire sera donc exposé dans cet ordre.

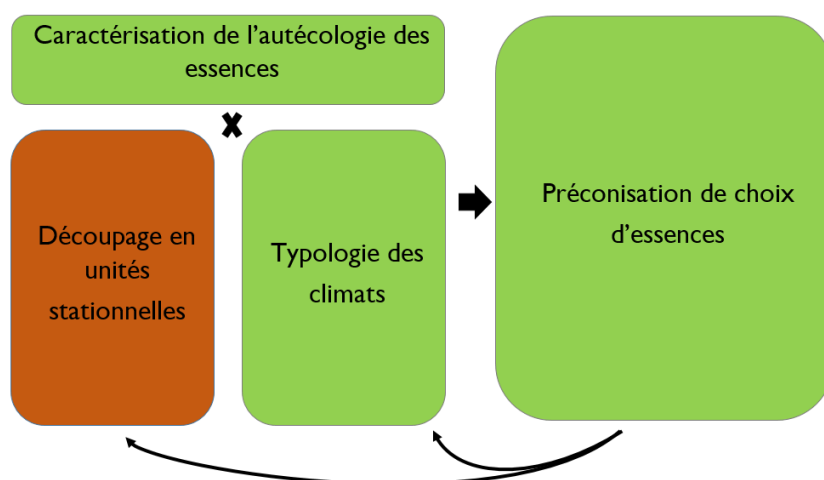


Figure 6 : Méthode de construction des préconisations de choix d'essences (en vert : tâches majoritairement réalisées durant mon stage ; en orange : tâche majoritairement réalisée par Sabine Barets ; double flèche noire : les choix d'essences peuvent conduire à affiner les découpages stationnels et climatiques)

2. CHOIX DES ESSENCES CONSEILLÉES : COMMENT ÉTABLIR LA LISTE ET CARACTÉRISER LEUR AUTÉCOLOGIE

Pour caractériser l'autécologie des essences adaptées à la SER, trois étapes ont été nécessaires : choisir les essences à étudier, comparer les données autécologiques disponibles et synthétiser ces informations pour établir des préconisations.

2.1. MÉTHODE : QUELLES ESSENCES CHOISIR POUR ÉTUDIER LEUR AUTÉCOLOGIE ?

En contexte de changement climatique, l'objectif est double : vérifier l'adaptation des essences actuellement en place sur la SER, et, à la demande des gestionnaires, proposer de nouvelles espèces absentes de la zone, dont certaines ne seront implantées qu'à titre expérimental.

Pour vérifier l'adaptation des essences actuellement en place sur la SER, il a été choisi de s'intéresser aux espèces préconisées dans les catalogues et guides de stations préexistants. Ces derniers présentent l'avantage de traiter des essences bien représentées sur la zone d'étude et utilisées pour la production.

Pour ce qui est de proposer de nouvelles espèces à titre expérimental, quelques-unes retiennent aujourd'hui l'attention des gestionnaires, comme les sapins méditerranéens ou les cèdres du Liban et de l'Himalaya. Leur autécologie a été étudiée pour répondre aux questions de nos interlocuteurs et vérifier si elles présentent un intérêt sur la SER.

Au total, 55 essences ont été présélectionnées pour étudier leur autécologie (annexe 7).

2.2. MATÉRIEL : QUELLES DONNÉES SONT ACTUELLEMENT DISPONIBLES ?

Il fallait donc obtenir des informations sur les préférences climatiques et édaphiques d'un grand nombre d'essences, le but étant de vérifier leur compatibilité avec la station et le climat. Or, les informations autécologiques sont multiples et n'ont pas le même degré de fiabilité. Un tableau recensant les outils disponibles pour caractériser l'autécologie des essences a permis de comparer chacun d'entre eux (annexe 8).

Tout d'abord, les informations présentées sont différentes : certaines sources bibliographiques décrivent l'optimum écologique d'une espèce quand d'autres insistent sur leurs facteurs limitants. Quelques modèles simulent l'aire de distribution d'une essence tandis que d'autres permettent d'expliquer leur croissance. Les données peuvent être quantitatives comme les modèles de Piedallu *et al.* (2016) alors que d'autres synthèses bibliographiques se contentent d'être qualitatives. De plus, les informations transmises ne sont pas valables à la même échelle : les modèles de croissance apportent des indications spécifiques d'une région, tandis que la Flore Forestière Française traduit de manière globale l'autécologie d'une essence pour la France entière. Enfin, l'origine de l'information est extrêmement variable : celle-ci peut être issue d'une synthèse bibliographique, de relevés de terrain, de modélisation ou de dire d'expert.

Ainsi, il a été décidé de privilégier la qualité de l'information à sa quantité. Un nombre restreint d'outils a été utilisé dans la mesure du possible. Ce sont majoritairement des synthèses

bibliographiques qui ont été choisies pour leur fiabilité et leur complétude : elles traitent de plusieurs essences et abordent leur autécologie de manière globale en insistant sur les caractéristiques qui leur sont spécifiques, à une échelle locale et sous forme de données quantitatives. Toutefois, certaines informations venant à manquer, il a été nécessaire de recourir à des études typiques d'une espèce ou d'une variable.

En effet, la disponibilité de l'information dépend beaucoup du statut de l'essence. Il y a beaucoup de bibliographie pour les essences les plus productives comme le hêtre, les chênes sessile et pédonculé ou encore l'épicéa commun. Concernant les essences de plus faible valeur marchande, les informations sont moins nombreuses et moins précises. Enfin, l'autécologie des essences récemment introduites est la moins accessible : il y a peu d'études et elles sont moins pertinentes. C'est par exemple le cas du Cèdre de l'Atlas, essence pour laquelle il y a un fort engouement de la part des gestionnaires. Pour cette raison, elle a fait l'objet d'une étude spécifique sur sa potentialité de croissance sur la SER qui sera développée en partie 4.3.

Malgré ces disparités, l'autécologie des 55 essences sélectionnées a pu être synthétisée sous la forme d'un tableau.

2.3. RÉSULTAT : SYNTHÈSE DES DONNÉES POUR CARACTÉRISER ET COMPARER L'AUTÉCOLOGIE DE CES ESSENCES

Variable	Type	Utilité	Limites	Exemple 1	Exemple 2
Température moyenne annuelle (°C)	Quantitative	Connaître les limites climatiques ; beaucoup de données		<i>Acer campestre</i> : 7-15 (climat suffisamment chaud pendant période de végétation) / 6,9-12,4 ⁹	
Gelées tardives	Factorielle	Sensibilité	Données contradictoires	<i>Alnus glutinosa</i> : Peu sensible ou sensible selon les sources	
Réserve utile maximale (mm)	Qualitative	Connaître les besoins en eau de l'essence	Très peu d'information quantitative alors que c'est ce qui était recherché initialement	<i>Fagus sylvatica</i> : Elevée (100-150) ¹⁰ / <50- >200	<i>Abies alba</i> : élevée

Tableau 2 : Exemple des informations contenues dans le tableau de synthèse autécologique

⁹ En bleu : données issues de Piedallu *et al.*, 2016

¹⁰ En vert : optimum écologique

31 variables ont été utilisées pour caractériser l'autécologie de ces essences afin de juger de leur adaptation à un climat et une station. Il s'agit majoritairement des variables climatiques et édaphiques qui sont les plus utilisées dans la littérature et qui permettent de décrire le milieu sous un maximum d'aspects. Deux autres variables décrivent la sensibilité d'une essence face au gibier ou à des risques sanitaires qu'il sera important d'indiquer dans le guide. Une dernière variable décrit les associations végétales dans lesquelles se retrouve l'essence, afin d'avoir une image globale de son biotope. Lorsque l'information était disponible, un gradient de couleur a été utilisé pour représenter le degré de sensibilité de l'essence à cette variable. Ce code couleur homogène entre chaque essence permet de comparer rapidement leur autécologie (annexe 9).

Toutes les cases n'ont pas pu être remplies, faute d'information disponible. De plus, quelques rares informations sont contradictoires. C'est le cas par exemple de la sensibilité au gel d'*Alnus glutinosa* : le Fichier Ecologique des Essences (Claessens *et al.*, 2017) le décrit comme peu sensible alors que Masson (2005) affirme le contraire (tableau 2, page suivante). Cela met en évidence les principales limites de ce tableau de synthèse. Malgré toutes les précautions prises pour choisir uniquement des sources fiables, certaines informations peuvent être erronées ou ne pas se vérifier dans le contexte local. De plus, il est parfois difficile d'obtenir des données quantitatives. De ce fait, cette synthèse sous un format très visuel apporte un éclairage rapide sur l'autécologie d'une essence mais il devra être utilisé en parallèle des relevés de terrain et des recommandations des guides pour aboutir à des préconisations pertinentes.

Le tableau de synthèse complet et sa bibliographie sont disponibles en annexe numérique en cliquant sur ce lien : annexe numérique : tableau de synthèse autécologique des essences.

Une première phase de recherche bibliographique a permis de sélectionner des essences potentiellement adaptées à la SER, puis à caractériser leur autécologie. Cette phase s'est traduite par la création d'un tableau de synthèse qui permet d'avoir une vision rapide de la réaction d'une espèce à une variable écologique. Lorsque la typologie climatique de la SER aura été réalisée, ce tableau de synthèse permettra de construire les préconisations de choix d'essences.

3. TYPOLOGIE DES CLIMATS : COMMENT CARACTÉRISER LES CLIMATS ACTUELS ET FUTURS DE LA SER C20

3.1. CARACTÉRISATION DES CLIMATS ACTUELS

Comme expliqué en 1.4.2.2, la pré-typologie climatique réalisée durant la première phase du projet a permis de distinguer 12 climats sur la SER C20 (figure 7, page suivante). Toutefois, la modulation du choix des essences en fonction de ces 12 climats semble difficile à réaliser : d'une part parce que les gradients de distribution et de croissance des essences sont certainement trop faibles pour être perçus à une échelle aussi fine et d'autre part parce qu'il serait difficile de retranscrire de manière synthétique les choix d'essences pour autant de climats au sein du guide de stations. Le choix a donc été fait de regrouper ces 12 climats en un nombre réduit de types climatiques, ces derniers devant être assez différents pour qu'il y ait une réelle distinction de distribution et de croissance des essences.

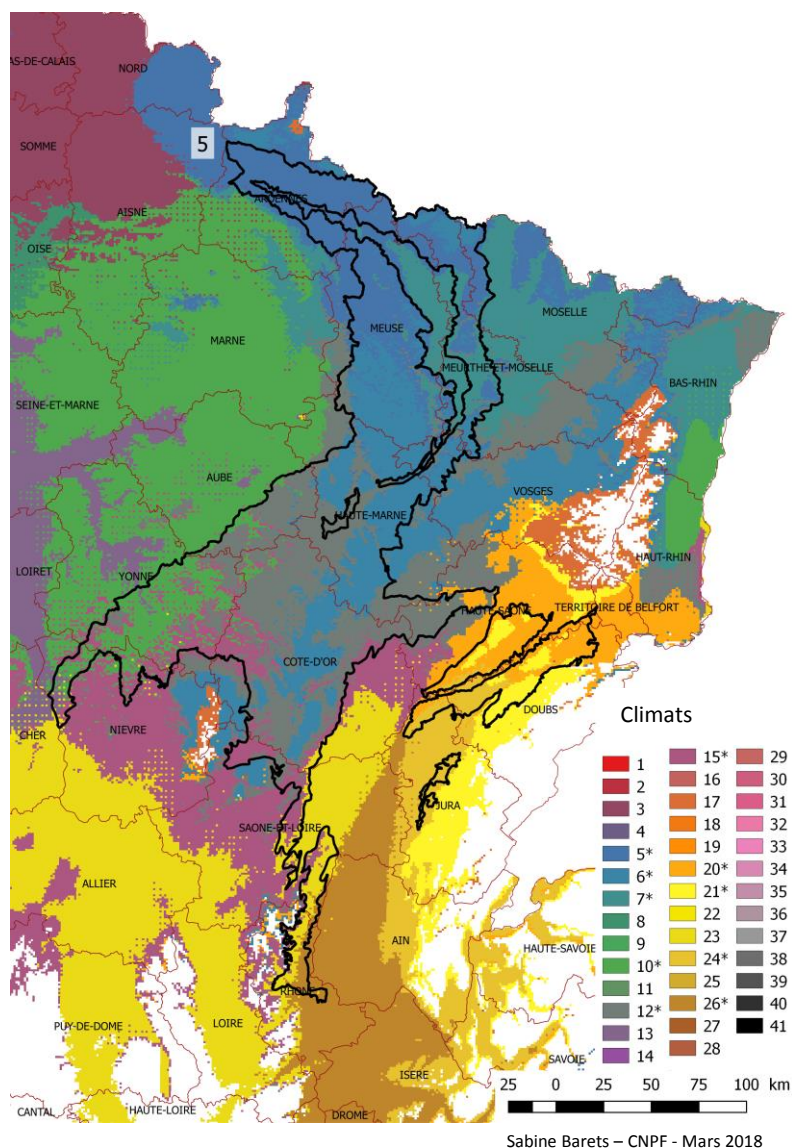


Figure 7 : Climats établis durant la 1ère phase du projet CalClim (les numéros suivis d'un astérisque correspondent à ceux présents sur la SER)

Pour aboutir à ce résultat, plusieurs méthodes de regroupement des climats ont été testées : un regroupement fondé sur la comparaison de la croissance d'essences forestières par climat (3.1.1), un regroupement fondé sur la fréquence d'apparition d'espèces du sous-bois (3.1.2) et un regroupement fondé sur la comparaison de variables climatiques (3.1.3). La synthèse de ces trois méthodes a permis d'aboutir à un regroupement cohérent avec nos objectifs (figure 8).

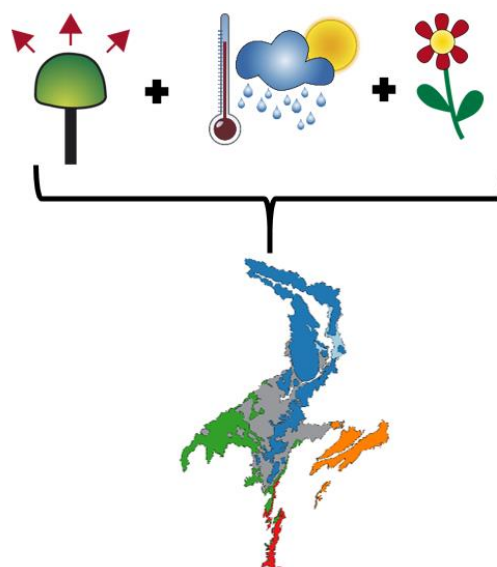


Figure 8 : Méthode de construction de la typologie climatique actuelle

3.1.1. Regroupement climatique par comparaison de la croissance d'essences forestières par climat

L'intérêt de diviser la zone de couverture du guide en plusieurs climats est de mettre en évidence la différence de distribution et de croissance des essences forestières. Une première méthode de regroupement a donc été testée, visant à comparer la croissance des essences forestières par climats.

Matériel et méthode

Les calculs de croissance en hauteur dominante ont été réalisés à partir des modèles développés par Vallet et Perot (2016). En effet, ils concernent cinq essences forestières, ils ont été mis au point à l'échelle de la France entière et ils prennent en compte des variables climatiques et stationnelles (annexe 10).

Pour comparer la hauteur dominante de chacune des essences en fonction du climat, les paramètres stationnels ont été fixés, tandis que les paramètres climatiques ont varié en fonction du climat étudié. Pour fixer les paramètres stationnels, deux types d'US ont été choisis : une plutôt contraignante (P4) et une de très bonne fertilité (P7) (figure 9), toutes deux situées sur plateau.

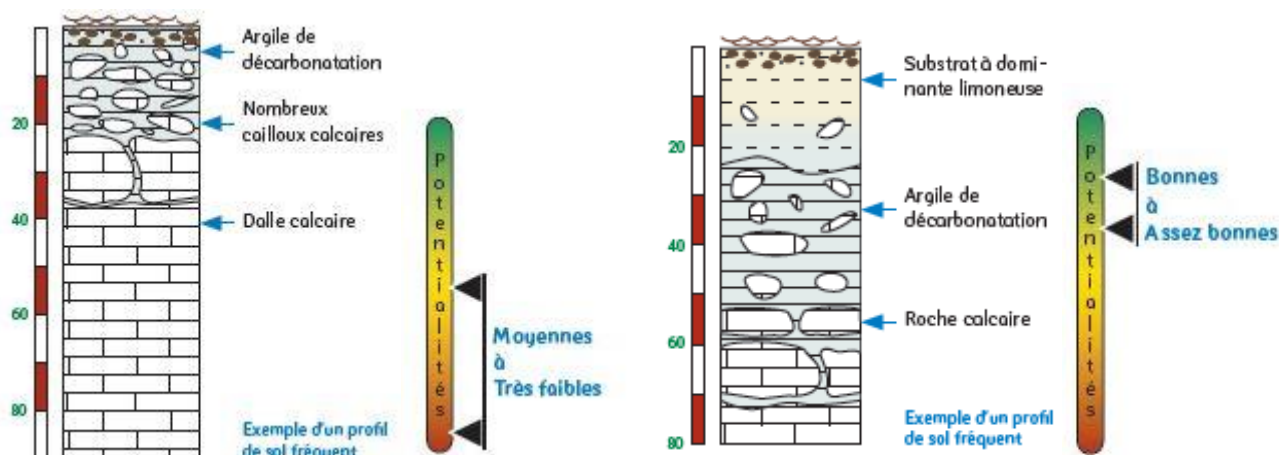


Figure 9 : Exemples types des profils de sol et potentialité d'une US P4 (à gauche) et d'une US P7 (à droite)

Les paramètres édaphiques (profondeur du sol et réserve utile) ont été calculés à partir des exemples types des US : par exemple, la réserve utile pour P4 a été calculée pour un sol avec 3 horizons différents (tableau 3, page suivante).

Les paramètres concernant les valeurs indicatrices (indice de lumière d'Ellenberg, indice d'azote d'Ellenberg et pH) ont été fixés à partir des relevés de terrain : pour tous les relevés d'une US P4 ou P7, les valeurs indicatrices ont été calculées à partir du relevé botanique, puis ces valeurs ont été moyennées par type d'US.

Le paramètre concernant l'indice de densité a été calculé pour chaque essence et chaque US à partir d'un peuplement moyen sélectionné dans la base de données IGN. Au sein des données IGN de 2008 à 2017, seules les placettes au sein de la SER C20 et correspondants à des US P4 ou P7 ont été sélectionnées. Ensuite, au sein de ces placettes, un peuplement moyen par essence forestière et par US a été choisi : c'est-à-dire un peuplement pur dont l'âge est le plus proche possible de l'âge moyen des peuplements de Vallet et Perot (2016).

Horizon	A	B1	B2
Epaisseur horizon (cm)	10	10	25
Texture	Al	Al	Al
Charge en cailloux	0	0	0,3
Coefficient¹¹	1,35	1,2	1,2
RU (mm)	13,5	12	21
RU totale (mm)	46,5		

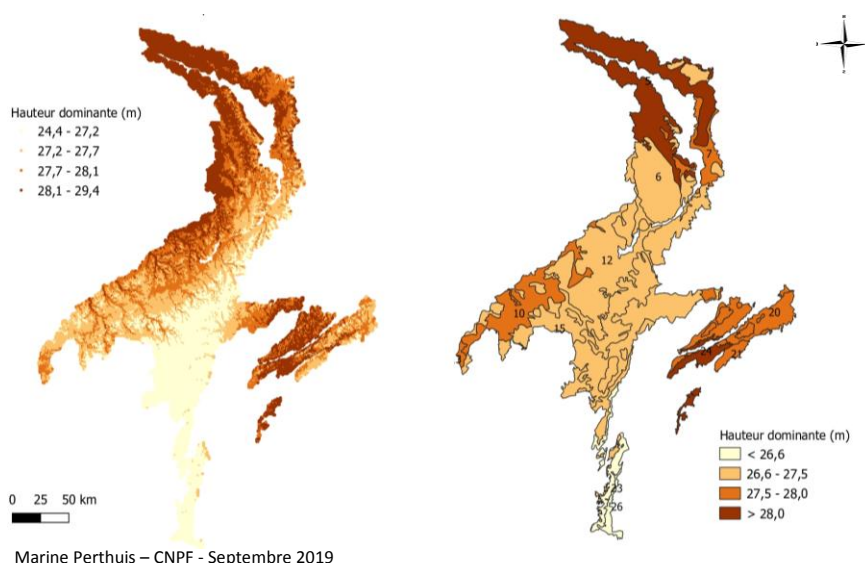
Tableau 3 : Description du sol type de l'US P4 et calcul de sa réserve utile

Enfin, les variables climatiques utilisées sont issues de la même base de données que celle de Vallet et Perot, c'est-à-dire la base de données Digitalis V2. Ainsi, la croissance en hauteur dominante a d'abord été calculée au pas du kilomètre sur toute la SER, puis par climat en moyennant les hauteurs dominantes au pas du kilomètre. Pour chaque essence et chaque station, les climats ont ensuite été classés en quatre groupes, établis selon la méthode des quartiles : croissance faible, croissance moyenne, bonne croissance, excellente croissance. Le fait d'utiliser plusieurs essences a permis de vérifier si ces classements étaient stables.

Résultats

Le modèle concernant le Sapin pectiné n'intégrant pas de variables climatiques, sa hauteur dominante n'a pas été calculée. Par ailleurs, il n'y avait pas de peuplements de pins sylvestres répondant aux critères cités précédemment pour calculer un indice de densité, que ce soit pour une US P4 ou P7. Les modèles de croissance ont pu être utilisés uniquement pour le Hêtre, le Chêne sessile et l'Épicéa pour les deux US (annexe 11 et figure 10).

Figure 10 : Cartes de la hauteur dominante d'un peuplement de Hêtres de 100 ans en US P4 sur la SER C20 (à gauche : au pas du kilomètre, à droite : moyenne par climat)



¹¹ Coefficient de fonctions de pédotransfert (Al Majou *et al.*, 2007)

Ensuite, quel que soit le type de carte, les essences réagissent plus ou moins bien aux paramètres climatiques : si le Hêtre a une variation de hauteur de 5 m, la hauteur dominante des autres essences évolue plutôt dans une amplitude de 2 m. L'importante variation de hauteur du Hêtre en fonction du climat est cohérente avec la littérature : « *c'est l'essence typique des climats à brouillards* » (Lebourgeois, 2000). Il en va de même pour l'Epicéa, dont la faible variation de hauteur peut s'expliquer par le jeune âge des peuplements étudiés. Dans tous les cas, la croissance en hauteur dominante au pas du kilomètre est très dépendante des climats locaux et met particulièrement en évidence les zones de vallée par exemple. Cela biaise la simulation, puisqu'en fixant les paramètres stationnels, le but était de s'affranchir des variations locales. Ainsi, ces cartes ne mettent en évidence que de grandes tendances de croissance mais ne permettent pas de distinguer de différences par climats.

Or, les climats présentant une croissance semblable sont trop dispersés et hétérogènes quelque soient les essences pour former un regroupement stable. Ainsi, cette méthode n'a pas été retenue pour regrouper les climats entre eux. En revanche, elle a confirmé l'importance de distinguer plusieurs types climatiques sur la SER pour la préconisation des essences au sein du guide.

3.1.2. Regroupement climatique fondé sur la fréquence d'apparition d'espèces du sous-bois

Une autre méthode intégrant des aspects bioclimatiques pour regrouper les climats a été testée : il s'agissait d'utiliser la fréquence d'apparition d'un certain nombre d'espèces du sous-bois.

Matériel et méthode

25 espèces de plantes dont la distribution semble corrélée au climat ont été sélectionnées (Dumé *et al.*, 2018). Il s'agit principalement d'espèces ayant un caractère montagnard, un gradient de distribution atlantique, continentale ou subméditerranéen (annexe 12).

A partir des relevés floristiques de l'IFN des années 2005 à 2017, l'occurrence de chaque espèce par climat sur la SER a été mesuré (tableau 4). Puis, la densité de présence de chaque espèce par climat a pu être calculé comme suit : $\text{densité de présence} = \frac{\text{nb occurrences}}{\text{nb relevés}}$ (tableau 5 et figure 11).

Climat	Relevés totaux	Occurrence
5	1033	0
6	1807	16
7	163	0
10	429	106
12	1899	75
13	12	0
15	377	76
20	395	0
21	186	0
23	72	13
24	118	0
26	19	6

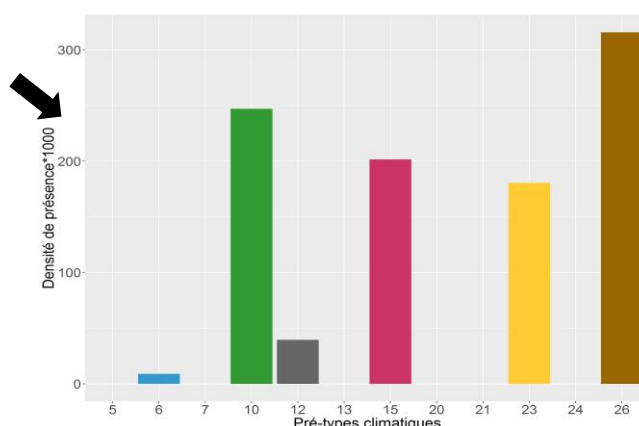


Tableau 4 : Occurrence de *Rubia peregrina* par climat sur la SER

Figure 11 : Densité de présence de *Rubia peregrina* par climat

Ces densités de présence étant très hétérogènes, tant entre les climats pour une même espèce, qu'entre les différentes espèces elles-mêmes, des classes de densité de présence par climat ont été attribuées (tableau 5). Ces regroupements ont été établis manuellement à partir des ruptures observées sur l'histogramme de densité de présence par climat (figure 11, page précédente). Le nombre de classes attribuées varie de 3 à 4 selon les espèces (annexe 13). Par exemple sur la figure 12, trois classes de densité de présence ont été attribuées pour la Garance voyageuse : de la classe A, correspondant aux climats où la plante est absente, à la classe C correspondant aux climats où la plante est la plus fréquente. Ainsi, la distribution de chacune des 25 espèces a été représentée et comparée par des classes de densité de présence par climat.

Climat	Densité de présence*1000	Classe
5	0	A
6	8,85	B
7	0	A
10	247,09	C
12	39,49	B
13	0	A
15	201,59	C
20	0	A
21	0	A
23	180,56	C
24	0	A
26	315,79	C

Tableau 5 : Densité de présence et classes de fréquence de *Rubia peregrina* par climat

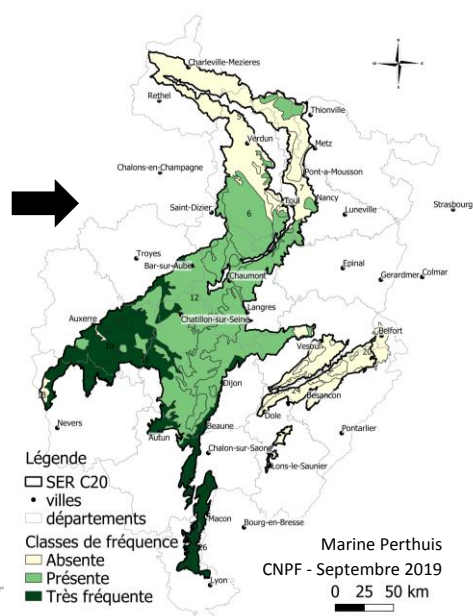
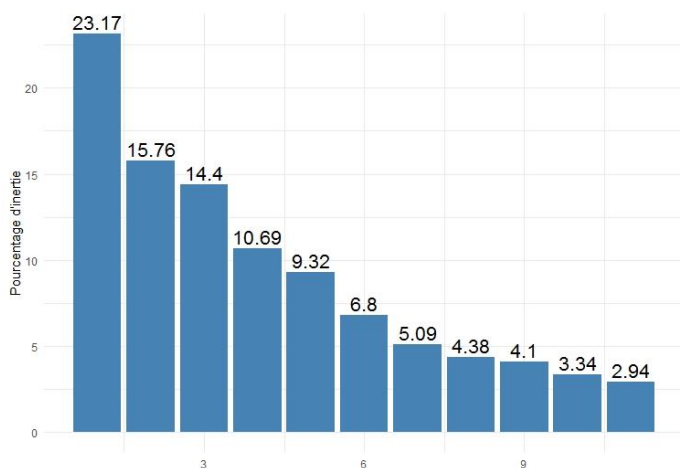


Figure 12 : Distribution de la fréquence de *Rubia peregrina* sur la SER par climat

Cette représentation a permis de réaliser une Analyse des Correspondances Multiples (ACM). Son objectif est d'analyser les liaisons existantes entre plusieurs variables qualitatives, ici les classes de fréquence de chaque plante par climat et de vérifier s'il existait des tendances générales. A partir des résultats de l'ACM, une CAH a permis de définir des regroupements climatiques synthétiques. Plusieurs regroupements étant possibles, la stabilité de chacun de ces derniers a été testée par une AFD.

Résultats

Tout d'abord, pour certaines espèces, le climat 13 peut créer un artefact : alors que la plante est fréquente dans tous les climats autour, elle semble absente de celui-ci. Ceci s'explique par la taille extrêmement réduite du climat 13, qui couvre seulement 0,4% de la surface de la SER. Il y a donc eu moins de relevés IFN au sein de cette zone, ce qui diminue la chance de relever l'une des plantes sélectionnées. Au vu de ce biais et de la faible importance statistique du climat 13, il a été décidé qu'il serait regroupé arbitrairement avec le climat le plus proche géographiquement, soit le 10 ou le 15.



propre en pourcentage

Ensuite, d'après l'histogramme d'éboulis des valeurs propres (figure 13), cinq axes factoriels permettent d'expliquer presque trois quarts de l'inertie (73,34%). Toutefois, lorsque l'on cherche à mettre en évidence une corrélation entre ces axes et des variables climatiques, seuls les trois premiers semblent avoir une signification climatique. Les deux derniers axes factoriels expliquent peut-être davantage la chorologie des espèces (annexe 14).

Figure 13 : Histogramme d'éboulis des valeurs

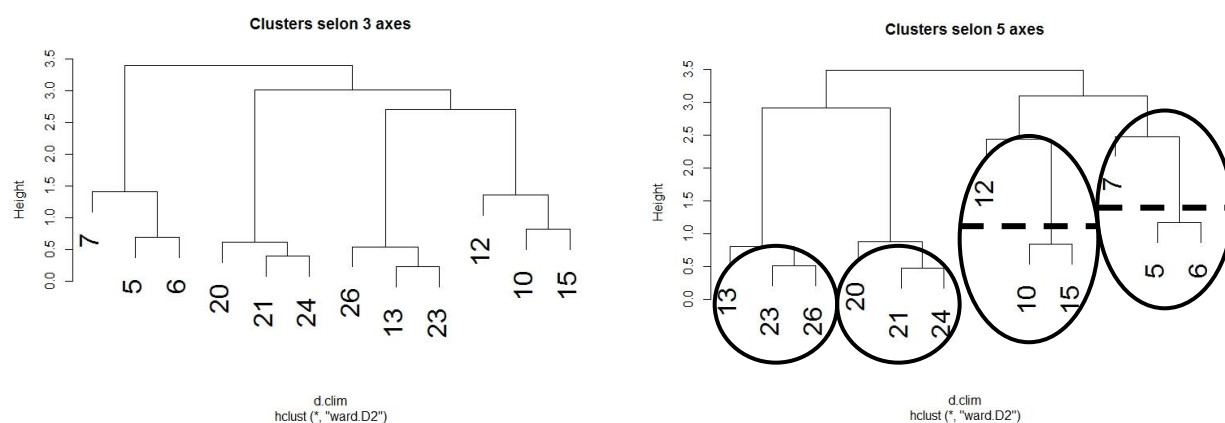


Figure 14 : Dendrogramme issu de la CAH et de l'ACM en utilisant 3 axes factoriels (à gauche) et 5 axes factoriels (à droite ; les cercles représentent les regroupements climatiques envisagés)

Toutefois, que la CAH soit réalisée en prenant en compte trois ou cinq axes factoriels, les climats les plus proches sont toujours associés (figures 14).

Ainsi, à partir du dendrogramme de la CAH utilisant cinq axes factoriels, différents regroupements de climats ont été proposés en quatre, cinq ou six types selon que l'on considère les climats 7 ou 12 à part (figures 14 et 15 page suivante et annexe 15). D'après leur matrice de confusion et leur coefficient de bon reclassement, ils semblent tous robustes statistiquement. Les regroupements des climats de Franche Comté (20, 21 et 24), du Sud-Ouest de la Bourgogne (10 et 15) ou du Sud de la SER (23 et 26) semblent aussi relativement cohérents avec notre connaissance de la zone d'étude. Un découpage climatique en cinq types climatiques nous paraissait être plus pertinent mais il a été choisi de réaliser une troisième analyse pour comparer les résultats obtenus et entériner cette typologie.

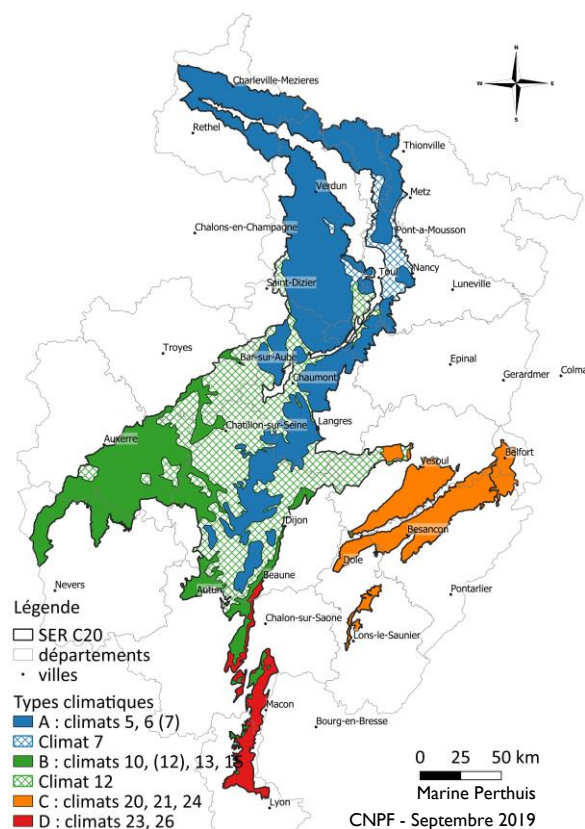


Figure 15 : Regroupements des climats obtenus par la méthode d'analyse de la fréquence d'apparition de la flore

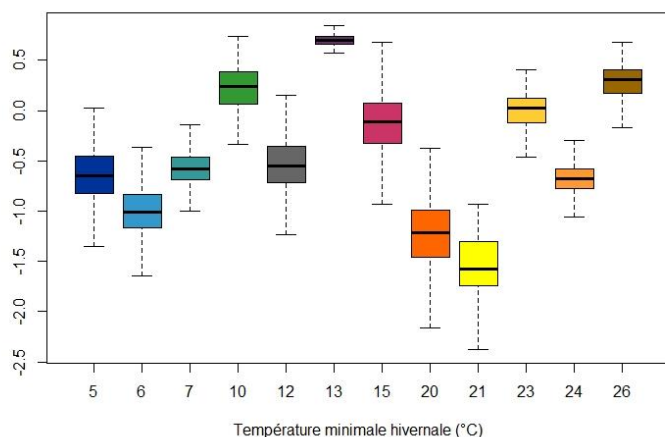
3.1.3. Regroupement climatique par analyse des variables climatiques

Dans un dernier temps, les climats ont été comparés entre eux à partir de variables climatiques les caractérisant : une première analyse a porté sur différentes variables climatiques prises individuellement, une seconde étude a été réalisée prenant en compte la globalité de ces variables à partir d'analyses multivariées.

Les données nécessaires à cette analyse climatique sont issues du jeu de données utilisé pour la pré-typologie des climats : seuls les points à l'intérieur de la SER et caractérisés par l'un des 12 climats ont été sélectionnés. Chaque point est caractérisé par 72 variables climatiques, ses coordonnées géographiques et le climat auquel il appartient.

3.1.3.1. Analyse monofactorielle

Dans un premier temps, seules les variables climatiques ayant un rôle important dans la distribution des essences forestières ont été analysées (Piedallu *et al.*, 2016). Il s'agit de la température moyenne annuelle, la température minimale hivernale, l'évapotranspiration potentielle annuelle et le rayonnement estival moyen. Une représentation graphique de ces variables sous forme de boîtes à moustaches a permis de comparer les 12 climats entre eux. De plus, les températures moyennes mensuelles et les précipitations mensuelles ont été moyennées par climat pour pouvoir représenter leur diagramme ombrothermique (annexe 16).



Cette première méthode présente plusieurs problèmes. En fonction de la variable étudiée, les valeurs peuvent présenter une forte dispersion et les climats sont alors difficiles à regrouper. C'est le cas par exemple de la température minimale hivernale (figure 16).

Figure 16 : Boîtes à moustaches de la température minimale hivernale par climat

De plus, les regroupements ne sont pas toujours stables selon les variables. Par exemple, les climats 5 et 6 ont des valeurs proches en termes de température moyenne annuelle, alors qu'ils présentent un rayonnement estival moyen très différent et n'auraient donc pas été classés dans le même groupe. Cette première analyse de variables climatiques prises successivement ne permettait donc pas de visualiser des regroupements stables.

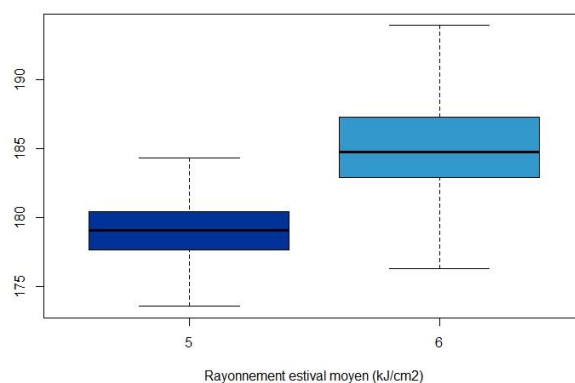
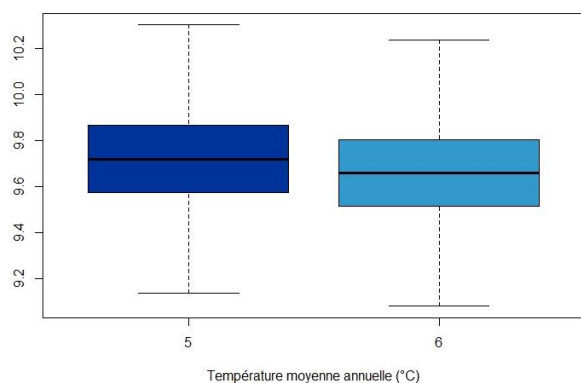
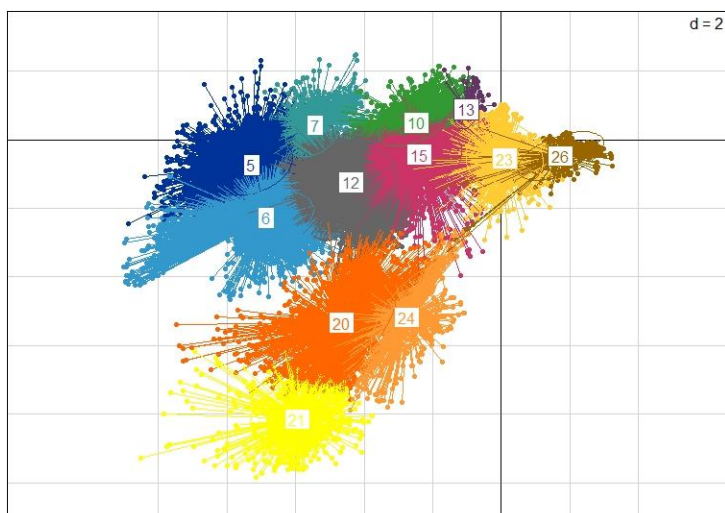


Figure 17 : Boîtes à moustaches de la température moyenne annuelle et du rayonnement estival moyen pour les climats 5 et 6

3.1.3.2. Analyse multivariée

Si certaines variables climatiques sont plus importantes que d'autres pour expliquer la distribution des essences forestières, il semblait aussi pertinent de réaliser une analyse multivariée en conservant les 48 variables saisonnières pour comparer les climats et proposer un nouveau découpage. Pour cela, une ACP a été réalisée sur les 30 092 points de la SER à partir de ces 48 variables. A partir des résultats de l'ACP, chaque individu a pu être représenté graphiquement sur les axes factoriels 1 et 2 (figure 18, page suivante). Cela permet de visualiser quels climats sont les plus proches les uns par rapport aux autres.



Ce graphique met d'ailleurs en évidence un point important : si les climats 20, 21 et 24 semblent constituer un regroupement cohérent, ce n'est pas le cas des autres qui forment une masse relativement homogène. Cela signifie qu'en utilisant uniquement une analyse climatique pour dresser une typologie des climats, les regroupements obtenus ne présenteraient pas forcément de différences très marquées entre eux et il est alors pertinent d'avoir testé d'autres méthodes de regroupement.

Figure 18 : Distribution des individus par climat sur les axes factoriels 1 et 2 de l'ACP

Cependant, la lecture graphique étant subjective, elle ne peut constituer un résultat à elle seule. Ainsi, une CAH, à partir des coordonnées factorielles issues de l'ACP, a permis de classer les 30 092 points en quatre, cinq ou six types climatiques (annexe 17).

Sur la figure 19, on constate que les climats formés par les points colorés (issus du découpage à l'échelle de la SER) suivent globalement les contours des lignes (qui correspondent aux climats du découpage climatique national). Cela démontre que quel que soit la méthode employée, c'est-à-dire en regroupant les climats issus d'une analyse à l'échelle de la France, ou en établissant une nouvelle typologie en un nombre réduit de types climatiques à l'échelle de la SER, les résultats seront sensiblement les mêmes. Les deux méthodes semblent cohérentes et c'est donc à partir des résultats de la CAH que les regroupements des climats ont été proposés.

De plus, on retrouve de nombreux points communs avec les résultats de l'analyse de la répartition d'espèces du sous-bois : le regroupement des climats de Franche Comté, du Nord de la SER, du Sud-Ouest de la Bourgogne, du Sud de la SER paraissent robustes, tandis que les climats 7 et 12 restent seuls.

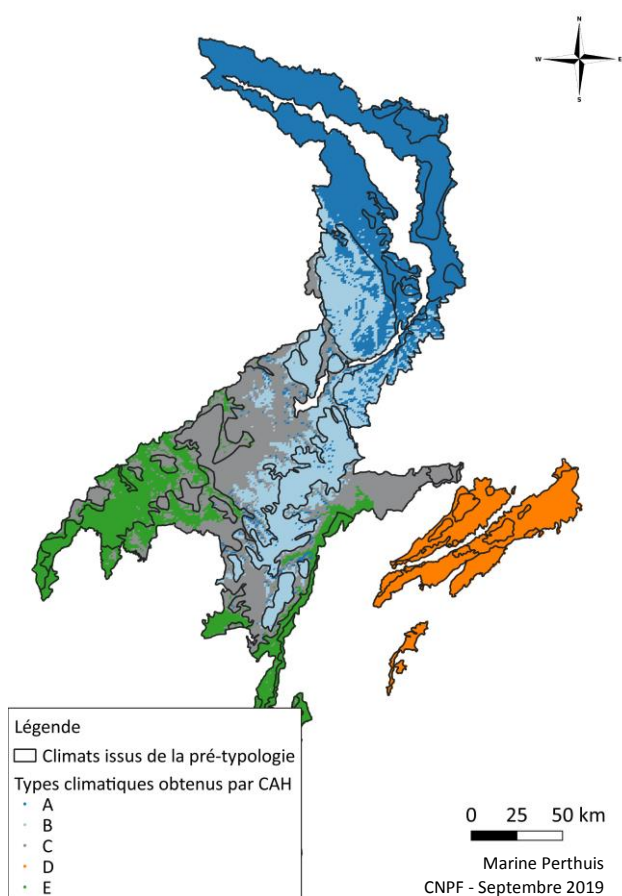
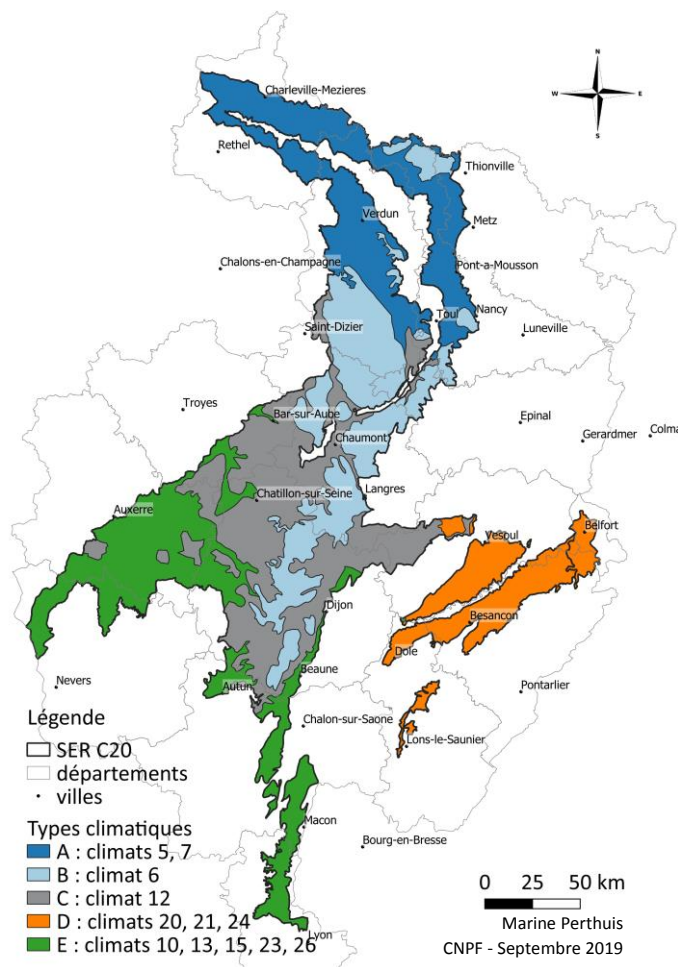


Figure 19 : Comparaison de la forme des types climatiques obtenus selon la méthode employée (les points colorés correspondent aux types climatiques résultants de la CAH, tandis que les lignes représentent les climats établis lors de la pré-typologie)

Là encore, la typologie en cinq climats semble être la plus pertinente. En effet, un découpage en quatre climats paraît trop grossier : le climat des Ardennes est différent de celui de Langres par exemple (Météo France, 2019c, 2019d) alors que d'après la carte, ils seraient homogènes. A l'inverse, la division en six climats est trop fine pour l'utilisation qui en sera faite : les climats 23 et 26 sont situés en grande majorité sur une zone étendue de la couverture du guide, c'est-à-dire qu'il ne s'appliquera que partiellement. Isoler ces deux climats pour en faire un type climatique à part entière n'est pas adapté à nos besoins. Pour toutes ces raisons, l'analyse climatique a permis de proposer le regroupement présenté en figure 20.

Figure 20 : Découpage de la SER en cinq types climatiques obtenus par analyse des données climatiques



3.1.4. Conclusion : un découpage climatique de la SER en 5 climats actuels

C'est finalement la dernière proposition de regroupement de climats qui a été retenue (figure 20). Cette typologie est issue de la combinaison des résultats de chacune des méthodes employées : l'analyse de la distribution de la flore a permis de distinguer cinq types climatiques, puis une analyse multivariée des variables climatiques a validé la pertinence de ces regroupements. La méthode de comparaison de croissance en hauteur dominante par climat a, elle, confirmé la nécessité de découper climatiquement la SER.

Or, prises individuellement, chacune de ces méthodes présente des limites.

Si la méthode de regroupement par comparaison de la croissance en hauteur dominante d'essences forestières n'a pas donné les résultats escomptés, peut-être aurait-il fallu tester d'autres modèles de croissance ou d'autres essences. Dans la même idée, il aurait été possible d'utiliser d'autres US pour fixer les paramètres stationnels, par exemple versant ou fond de vallon.

La méthode de regroupement par la fréquence d'apparition de la flore n'est pas forcément la plus pertinente pour distinguer les climats puisque la distribution des végétaux dépend de plusieurs facteurs indépendants (Welsch, 1893). Il aurait donc pu être intéressant d'affiner ou de modifier la liste des plantes sélectionnées, en prenant en compte d'autres sources bibliographiques (comme les valeurs indicatrices climatiques d'Ecoplant par exemple). Il faut toutefois noter qu'une première analyse avait été lancée sur une liste initiale de 12 plantes et que les propositions de regroupement

étaient les mêmes qu'avec la liste de 25 plantes. Rajouter des plantes a donc permis d'avoir le même résultat, statistiquement plus robuste.

Enfin, concernant la méthode de regroupement par comparaison des données climatiques, les variables choisies ne sont pas forcément celles qui influencent le plus la distribution des essences (Piedallu *et al.*, 2016). Il manque en effet le pH, le rapport C/N, le déficit hydrique édaphique, les engorgements temporaires et permanents, mais c'est un choix délibéré qui a été fait de ne pas les prendre en compte, puisque les unités stationnelles les caractérisent déjà.

C'est donc finalement la prise en compte de toutes ces méthodes d'analyses climatique et bioclimatique qui a permis de s'affranchir, au moins en partie, de leurs limites et d'aboutir à un résultat cohérent en cinq types climatiques. Les climats du Nord de la SER, avec leur pluviométrie annuelle élevée et leur faible rayonnement ont été regroupés en un type climatique A. Le type climatique B, plus au Sud et à l'Est de la SER est un peu moins favorable et s'étend sur une vaste gamme latitudinale. Le type C, quant à lui, couvre un large périmètre au centre de la zone d'étude. Il est caractérisé par des températures plus élevées mais aussi une plus forte évapotranspiration potentielle annuelle. Les climats francs-comtois ont été regroupés en un seul type climatique D. Il présente un fort rayonnement solaire compensé par une pluviométrie très élevée. Il est plus montagnard que les autres. Enfin, l'Ouest de la Bourgogne et le Sud de la SER ont été fusionnés en un seul type climatique, le plus contraignant de la zone par ses températures et son rayonnement solaire élevés couplés à une pluviométrie plus faible (figure 21).

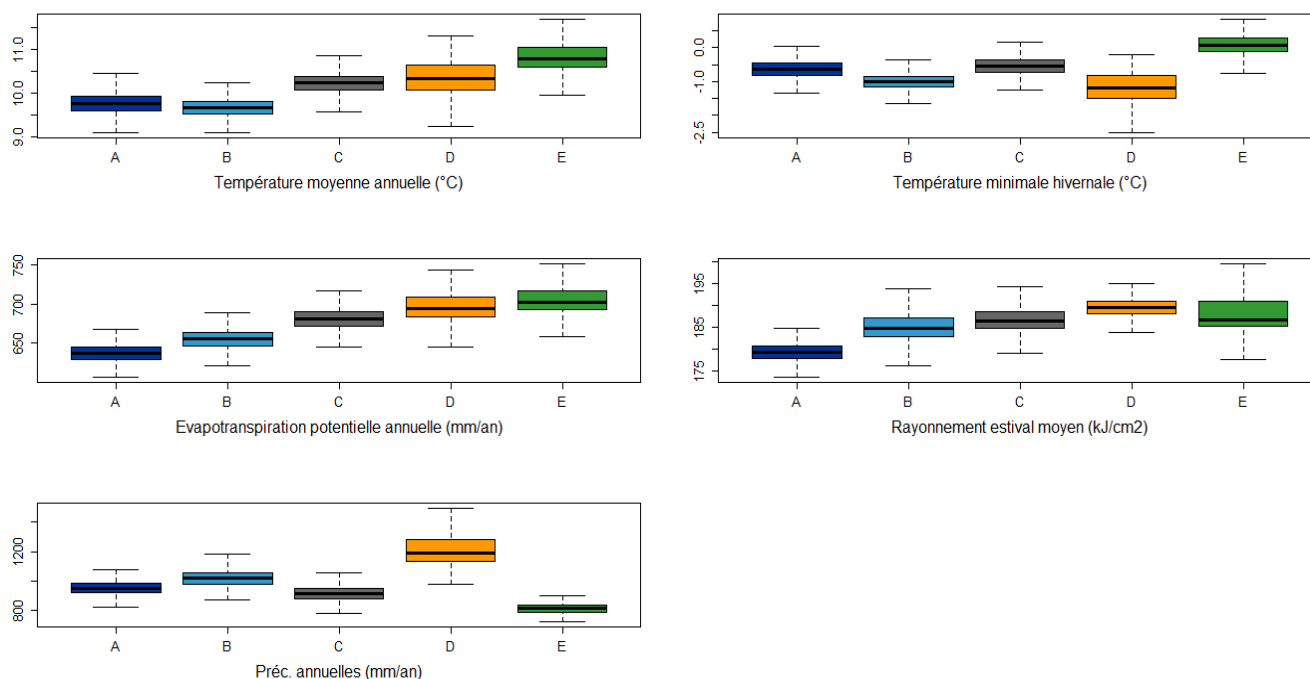


Figure 21 : Caractéristiques des types climatiques actuels

Cette typologie doit encore être validée par les membres du comité de pilotage et par les préconisations de choix d'essences : si deux types climatiques présentent à chaque fois les mêmes recommandations, alors ils pourront être fusionnés. A l'inverse, si au sein d'un même type il semble y avoir des disparités de choix d'essences, alors il pourra être découpé plus finement.

3.2. SÉLECTION DE MODÈLES CLIMATIQUES FUTURS POUR REPRÉSENTER L'ÉVOLUTION THÉORIQUE DES CLIMATS

Matériel et méthode

Pour intégrer les évolutions climatiques dans le guide, il a été décidé de modéliser deux ou trois climats futurs potentiels à partir desquels seront préconisées les essences. La pré-typologie en 41 climats à l'échelle de la France a été utilisée pour modéliser la migration spatiale de ces climats actuels dans le futur (figure 22).

Ce phénomène repose sur une translation des climats existants et ne prend en compte aucune modification de ces climats dans le futur : aucun nouveau climat ne peut apparaître selon cette hypothèse. Pour autant, cette méthode permet une représentation assez évocatrice des évolutions climatiques à venir. Elle est donc intéressante, tant pour la construction des préconisations de choix d'essences que pour la lecture du guide par les utilisateurs.

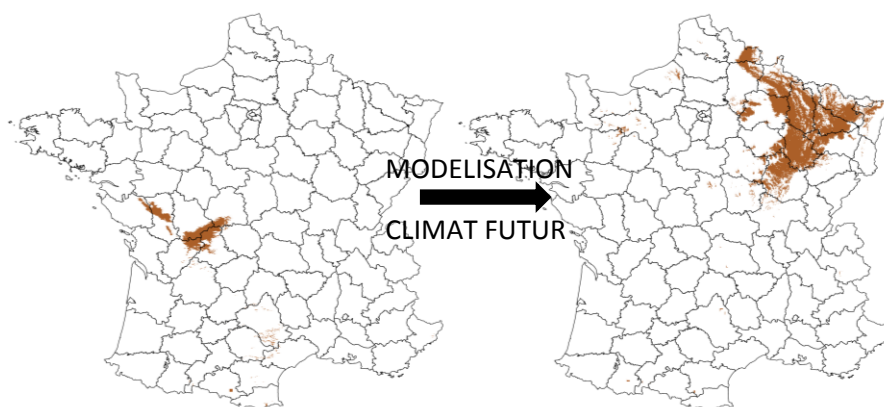


Figure 22 : Migration spatiale du climat 27 par modélisation du climat futur

La modélisation de cette translation climatique repose sur des choix de scénarii et de modèles d'évolution du climat. J'ai participé à ces sélections mais la modélisation climatique elle-même a été réalisée par Sabine Barets.

Dans son 5^{ème} rapport, le GIEC a présenté quatre trajectoires basées sur le forçage radiatif : RCP 2.6 ; 4.5 ; 6 et 8.5. Le forçage radiatif est une mesure de l'influence d'un facteur climatique donné sur la quantité d'énergie rayonnante atteignant la surface de la Terre (Encyclopaedia Britannica, s. d.). Tous ces scénarii prédisent une tendance au réchauffement climatique mais par gradient d'intensité : le scénario RCP 2.6 est le plus optimiste mais le moins probable, tandis que le RCP 8.5 est le plus probable mais aussi le plus pessimiste. Deux scénarii probables ont été conservés : le RCP 8.5 et le RCP 4.5, qui est le plus optimiste après le RCP2.6.

Pour chacun de ces scénarii, plusieurs modèles existent. Ils sont fondés sur des hypothèses d'évolution des variables de pluviométrie, de température et de rayonnement qui varient sensiblement d'un centre de recherche à l'autre. Aucune n'étant plus probable qu'une autre, plusieurs modèles ont été étudiés. Les modèles sélectionnés sont des modèles « moyens » par rapport aux variables climatiques. Ils ont été retenus d'après les résultats du rapport « Adaptation des forêts au changement climatique en cours dans le Grand Est » (Etudiants Agroparistech de la spécialité Gestion des Milieux Naturels - promotion 2018, 2019). Il s'agit des modèles ACCESS1-0, BCC-CSM1-1, CCSM 4 et CNRM-CM5. Enfin, deux pas de temps ont été modélisés : à l'horizon 2046-2065 et à l'horizon 2081-2100.

Résultats

Au total, 16 cartes des évolutions climatiques ont été produites (annexe 18). Quels que soient les modèles, les même grandes tendances ressortent (figure 23).

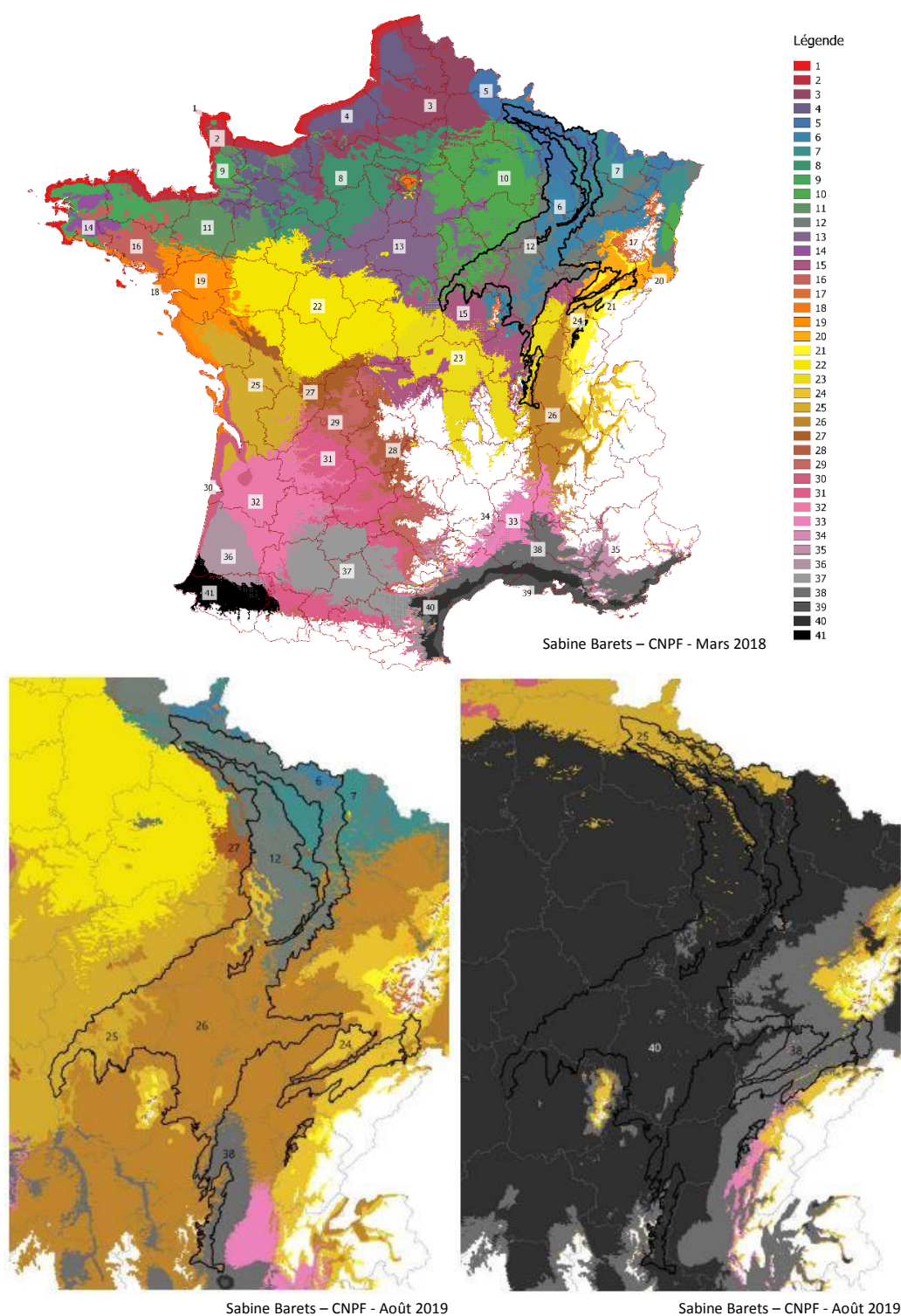
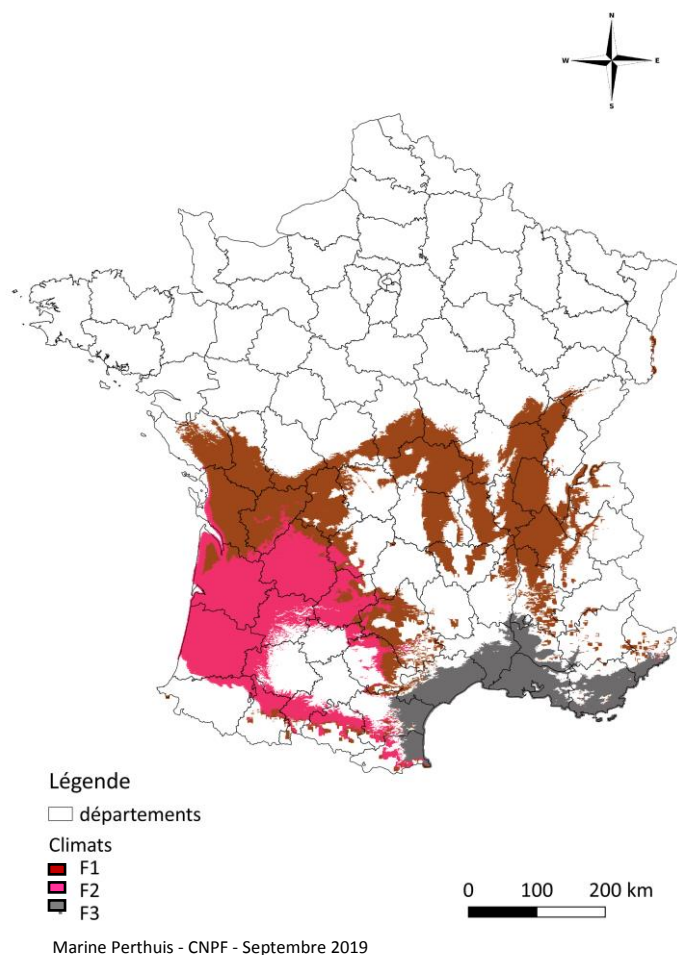


Figure 23 : Cartes climatiques (en haut : pré-typologie en 41 climats actuels ; en bas : climats futurs modélisés à partir du modèle BCC-CSM1-1 et le scénario RCP 8.5 pour les périodes 2046-2065 à gauche et 2081-2100 à droite)

D'ici une cinquantaine d'année, les climats 23, 25, 26, 27 et 29 seront majoritairement présents sur la SER, accompagnés de l'actuel climat 12 (ou type climatique C). Ensuite, les résultats évoluent peu jusqu'aux années 2100 pour le scénario RCP4.5. En revanche, sous le scénario RCP 8.5, ce sont soit les climats du Sud-Ouest 30, 31, 32 et 36, soient les climats méditerranéens 38, 39 et 40 qui seront majoritaires en fonction des modèles.



Pour les mêmes raisons évoquées pour la typologie climatique actuelle, ces climats ont été regroupés en trois types climatiques : le type climatique du futur proche composé des climats 23, 25, 26, 27 et 29 ; un type climatique du futur lointain optimiste composé des climats 30, 31, 32 et 36 ; et le type climatique du futur lointain pessimiste composé des climats 38, 39 et 40 (figure 24). Ces regroupements ont été vérifiés visuellement à partir du graphique de représentation des individus sur les axes factoriels 1 et 2 issu des résultats de l'ACP de la pré-typologie climatique (annexe 19).

Les préconisations de choix d'essences se feront donc en fonction de cette typologie en trois climats potentiels futurs.

Figure 24 : Couverture actuelle des types climatiques futurs

La chargée de mission avait précédemment découpé la France en 41 climats. A partir de ceux-ci, des regroupements ont été proposés pour créer une nouvelle typologie climatique actuelle de la SER et modéliser ses évolutions futures. Concernant la typologie climatique actuelle de la SER, 3 méthodes de regroupement des climats ont été testées. Un découpage en 5 types climatiques sur la SER a été choisi à partir de la synthèse des résultats de ces 3 méthodes. Ensuite, plusieurs modèles et scénarii ont été sélectionnés pour modéliser la translation des 41 climats actuels à l'échelle de la France dans le futur. Encore une fois, un regroupement de ces climats a été effectué pour aboutir à une typologie future en 3 types climatiques. Les choix d'essences vont donc varier en fonction des 5 types climatiques actuels et des 3 types climatiques futurs de la SER.

4. PRÉCONISATIONS DE CHOIX D'ESSENCES : COMMENT CHOISIR LES ESSENCES ADAPTÉES ET LES PRÉSENTER AUX GESTIONNAIRES

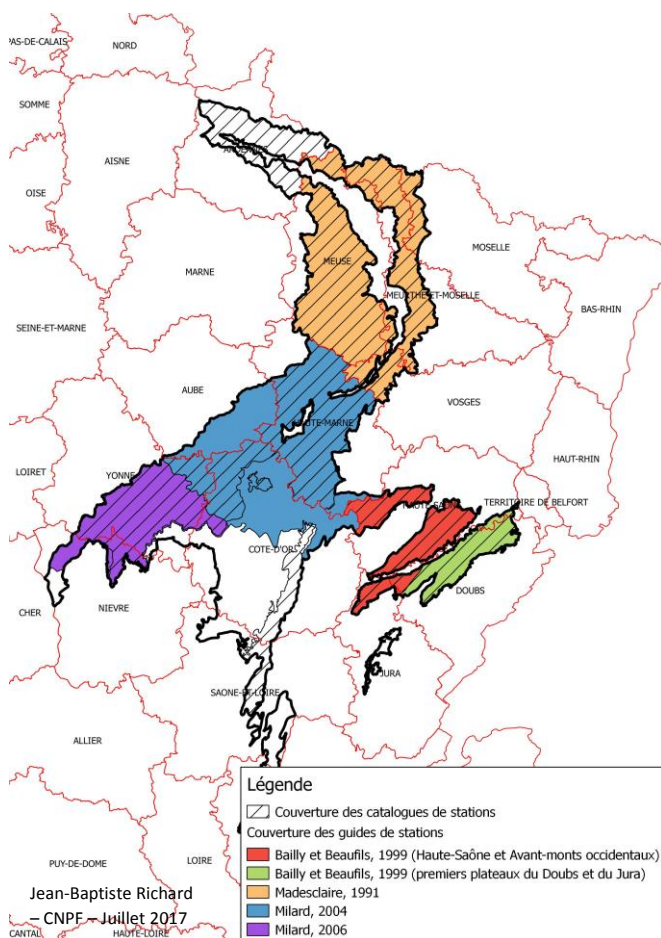
Les préconisations de choix d'essences devaient répondre à trois objectifs : vérifier l'adaptation des essences autochtones actuellement en place sur la SER dans un contexte de climat changeant, proposer de nouvelles essences potentiellement adaptées au contexte local et rendre accessible l'information la plus complète possible aux gestionnaires forestiers pour qu'ils gèrent durablement leur forêt.

4.1. CONSTRUCTION DES PRÉCONISATIONS DE CHOIX D'ESSENCES PAR TYPE DE STATIONS SOUS CLIMATS ACTUELS

Matériel et méthode

Les préconisations de choix d'essences par US et climats actuels ont été construits à partir de trois sources d'informations : le tableau de synthèse autécologique des essences (partie 1), les résultats des relevés de terrain et les recommandations des catalogues de stations de la SER.

Figure 25 : Carte de couverture des catalogues et guides de la SER



Chaque catalogue et guide de la SER couvre un ou deux climats (figure 25). Les équivalences entre les US du guide des plateaux calcaires du Nord Est et les autres catalogues de la SER avaient été étudiées par Sabine Barets. Leurs préconisations de choix d'essences ont été répertoriées par station et climat.

Les résultats des relevés de terrain ont permis d'apporter des informations supplémentaires. En effet, plus de 400 relevés ont été réalisés en 2018 et cette année. Chacun de ces relevés a été classé par station grâce à la clé de détermination et par climat à partir des coordonnées GPS. Deux types de données ont été exploités. Tout d'abord, les arbres présents dans la strate arborée ont été comptabilisés pour avoir une idée du peuplement observé. De plus, lors de la construction de la version de test du guide, une proposition de liste d'essences par station sans prendre en compte les variations climatiques avait été établie. A partir de cette pré-liste par station, les testeurs ont pu dire s'ils la trouvaient cohérente ou si des

essences devaient être ajoutées ou supprimées. Chacune de ces propositions a été examinée et répertoriée par station et climat.

Enfin, le tableau de synthèse de l'autécologie des essences a été utilisé en croisant les préférences autécologiques d'une essence avec les caractéristiques stationnelles et climatiques.

C'est la synthèse de ces trois sources d'informations qui a permis de construire les préconisations de choix d'essences. Cette méthode, en prenant en compte plusieurs types d'informations, permet, *a priori*, de construire des choix d'essences relativement robustes. En revanche, des difficultés pour établir ces préconisations ont été rencontrées.

Comme développé en 2.1., il existe peu d'informations quantitatives sur les préférences écologiques des essences qui permettraient de différencier facilement leurs climats les plus favorables.

Certains catalogues couvrent parfois deux climats et renforcent ainsi cette incertitude. C'est le cas par exemple des catalogues de Lorraine (Becker *et al.*, 1980) ou de Bourgogne (Deconninck, 1986). Les préconisations sont aussi très hétérogènes : certains auteurs présentent une liste fournie d'essences adaptées, alors que d'autres sont beaucoup plus succincts, comme Nicloux et Rameau (1986) qui recommandent presque toujours du Hêtre et ce quelles que soient les stations. De plus, la plupart des catalogues datent des années 80 ou 90 et les préconisations qui étaient valables jusqu'à maintenant ne sont peut-être plus adaptées aux climats actuels.

Pour pallier ce problème, les fiches de relevés de terrain ont été utilisées mais certaines stations sont peu fréquentes sur la SER, ou elles n'ont pas été suffisamment échantillonnées pour apporter beaucoup de données sur le peuplement observé. En outre, la fiche de relevés n'apportait pas d'information sur la croissance des arbres, seulement sur leur présence. Elle ne permettait donc pas de vérifier si l'essence est adaptée à la station et au climat comme le font les modèles de croissance de station production par exemple.

Enfin, au-delà des limites de ces trois outils, le climat D de Franche Comté est difficile à caractériser et donc les préconisations de choix d'essences sont plus compliquées à construire. Les conditions climatiques sont de plus en plus contraignantes avec une hausse des températures et une diminution de la pluviométrie du climat A vers le climat B. Ce n'est pas le cas du climat D, qui est caractérisé par de fortes précipitations annuelles mais une évapotranspiration élevée, de faibles températures hivernales mais de hautes températures moyennes annuelles.

Résultats

Malgré ces difficultés, cette méthode a été appliquée sur sept US : P1 et P3 pour vérifier si les choix d'essences étaient vraiment différents sur ces stations très contraignantes ; P4 et P7 pour comparer une station de faible potentialité avec une US de bonne potentialité ; VA3 pour étudier l'une des stations les moins fertiles de versant Sud ; VA4 pour tester une US aux conditions mésoclimatiques marquées de versant Nord et VM3 pour analyser une bonne station de versant mésotherme (annexe 20). Les US de fond de vallon et de vallée n'étant pas tout à fait finalisées, elles n'ont pas été étudiées.

Globalement, les préconisations de choix d'essences se distinguent bien selon les climats et cela permet de valider le découpage climatique établi en 3.1. D'ailleurs, plus la station est contraignante, plus la variabilité d'adaptation des essences au climat est importante (figure 26 page suivante). Par exemple, l'US P7 ne présente pas de facteur limitant et la majorité des essences est donc adaptée quel que soit le climat. Le climat E, le plus contraignant, diminue peut-être la potentialité de la station mais les effets sur l'adaptation des essences à l'US restent faibles. A l'inverse, le climat A compense la faible RUM de la station P4, mais ce n'est plus le cas lorsque le climat devient plus sec.

P4		A	B	C	D	E
Essences naturellement présentes	Alisier blanc	A	A	A	A	A
	Alisier torminal	A	A	A	A	A
	Bouleau verruqueux	A	A	A	A	A
	Charme	A	A	P	P	P
	Chêne pédonculé	A	A	A	A	A
	Chêne pubescent ou hybride sessile x pubescent		A	A	A	P
	Chêne sessile	P	P	P	P	P
	Cormier	A	A	A	A	A
	Erable champêtre	A	A	A	A	A
	Erables à feuilles d'obier			A	A	A
	Erable plane	A	A	A	A	A
	Erable sycomore	A	A	A	A	A
	Frêne	A	A	A	A	A
	Hêtre	P	P	P	P	A
	Merisier	A	A	A	A	A
	Tilleul à grandes feuilles	A	A	A	A	A
	Tilleul à petites feuilles	A	A	A	A	A
Introductions possibles	Cèdre de l'Atlas	AP	AP	AP	AP	AP
	Pin noir d'Autriche	AP	AP	AP	AP	AP

Figure 26 : Préconisations de choix d'essences pour l'US P4 (à gauche) et l'US P7 (à droite) par climats actuels (en vert foncé : essence en conditions optimales ; en vert clair : essence bien adaptée mais pas en conditions optimales ; en jaune : essence en limite de station ; en rouge : essence non adaptée à la station ; croix grise : essence non présente ; P : essence principale ; A : essence associée ; AP : essence pouvant structurer le peuplement ou être disséminée ; pour plus d'information concernant la légende, consulter la page 53)

P7		A	B	C	D	E
Essences autochtones	Alisier blanc	A	A	A	A	A
	Alisier torminal	A	A	A	A	A
	Bouleau verruqueux	A	A	A	A	A
	Charme	P	P	P	P	P
	Chêne pédonculé	P	A	A	A	A
	Chêne sessile	P	P	P	P	P
	Erable champêtre	A	A	A	A	A
	Erable plane	A	A	A	A	A
	Erable sycomore	A	A	A	A	A
	Frêne	A	A	A	A	A
	Hêtre	P	P	P	P	P
	Merisier	A	A	A	A	A
	Tremble	A	A	A	A	A
	Tilleul à petites feuilles	A	A	A	A	A
si hydromorphie profonde (> 50 cm)	Châtaignier	A	A	A	A	A
	Noyer commun	A	A	A	A	A
Introductions possibles	Epicéa commun	A	A	A	A	A
	Mélèze d'Europe	AP	AP	AP	AP	AP
	Pins laricio de Corse et de Calabre	AP	AP	AP	AP	AP
	Pin sylvestre	AP	AP	AP	AP	AP
	Robinier faux acacia	AP	AP	AP	AP	AP
	Sapins de Bornmuller et de Nordmann	AP	AP	AP	AP	AP
	Cèdre de l'Atlas	AP	AP	AP	AP	AP
si hydromorphie profonde (> 50 cm)	Chêne rouge	AP	AP	AP	AP	AP
	Douglas	AP	AP	AP	AP	AP
	Noyers noir et hybrides	AP	AP	AP	AP	AP

A partir de ces préconisations, plusieurs propositions concernant la typologie des US et leur description au sein du guide ont été établies. Chacune d'elle sera présentée et débattue en comité de pilotage.

L'US VA3 semble suffisamment contraignante pour déconseiller aux gestionnaires d'introduire de nouvelles essences. Les préconisations de choix d'essences seront donc les mêmes que pour la station VA1 et il pourrait être possible de les regrouper. Pour les mêmes raisons, il serait envisageable de fusionner les stations VU3 et VU4 en une seule. Néanmoins, la distinction des stations à valeur patrimoniale des stations ayant un intérêt biologique moindre avait été volontairement établie sur demande d'un des membres du comité de pilotage.

Les stations P1 et P3, de très faible fertilité, présentent les mêmes préconisations de choix d'essences à un détail près : le chêne sessile, sensible à la présence de carbonate de calcium dans le sol pour sa croissance sera un peu moins adapté à l'US P1 qu'à l'US P3. Ces stations sont toutefois tellement contraignantes qu'il pourrait être judicieux de les regrouper.

Enfin, le peuplement observé varie beaucoup en fonction du climat : par exemple pour la station P4 et les climats A et B, les stations sont appelées « Hêtraie-Chênaie-Charmaie » d'après les catalogues. A l'inverse sous les climats C et E, les US sont qualifiées de « Chênaie-Charmaie ». Dans ce

contexte, il faudrait peut-être nommer les US du guide par leurs caractéristiques topographiques, pédologiques et chimiques plutôt que par l'association végétale à laquelle elles correspondent. Cette variation stationnelle en fonction du climat met en évidence d'autres problèmes sous-jacents : la description floristique de la station et sa fertilité sont très différentes selon le climat considéré. Certaines stations n'existent même, en réalité, que sous certains climats (communication orale Gaudin S.).

Ainsi, malgré les quelques difficultés rencontrées qui sont dépendantes des outils utilisés, l'usage de 3 sources de données a permis d'aboutir à des choix d'essences différents et cohérents en fonction de la station et du climat actuel pour 7 US. Cette méthode pourra donc être réutilisée pour établir les préconisations des autres stations du guide. Chacune de ces recommandations sera ensuite étudiée et entérinée en comité de pilotage, tout comme les propositions qui en découlent. Cette démarche permettra d'aboutir à un choix d'essences cohérent avec la bibliographie, la réalité de terrain et les attentes des utilisateurs.

4.2. CONSTRUCTION DES PRÉCONISATIONS DE CHOIX D'ESSENCES PAR TYPE DE STATIONS SOUS CLIMATS FUTURS

Matériel et méthode

Les préconisations de choix d'essences par stations et climats futurs reposent là encore sur la synthèse de trois sources d'informations : le tableau autécologique des essences, les modèles de distribution des essences dans le futur et les préconisations de choix d'essences de catalogues d'autres régions de France.

Les trois climats futurs sélectionnés sont issus de la translation de climats actuels du Sud de la France vers la SER. Des équivalences stationnelles entre le guide des plateaux calcaires du Nord Est et d'autres catalogues et guides dans les régions actuelles des climats futurs ont été recherchées. Ensuite, les préconisations de ces catalogues ont été répertoriées pour avoir des informations sur les essences en place.

Pour étayer ces préconisations de choix d'essences dans les catalogues et guides, le tableau synthétique d'autécologie des essences et les modèles de distribution des essences dans le futur de ont été utilisés (Badeau *et al.*, 2005; Piedallu, *et al.*, 2009).

Encore une fois, chacun de ces outils présente des limites. Tout d'abord, les climats futurs choisis occupent actuellement une vaste surface et couvrent une large gamme de températures moyennes annuelles et de pluviométrie. C'est particulièrement le cas du climat F1 qui s'étend actuellement de la Charente jusqu'au pied de la SER C20 (figure 24 page 31). Couplé au manque d'informations quantitatives sur les préférences écologiques des espèces, il est difficile de savoir jusqu'à quel point ce climat est contraignant pour les essences.

Les cartes de prédiction de l'aire de distribution des essences dans le futur ont été construites à partir de modèles et de scénarii différents de ceux que nous avons choisis et pour un nombre réduit d'essences. De plus, elles n'ont pas une résolution assez fine pour représenter l'adaptation d'une essence à l'échelle de la station. Malgré tout, elles permettent d'avoir une idée de la régression ou de l'expansion de la répartition d'une espèce dans le futur et c'est donc un bon indicateur de sa sensibilité au changement climatique.

L'utilisation d'autres guides et catalogues suppose qu'il existe une équivalence stationnelle entre différentes régions de la France. D'après la figure 27, qui représente la répartition des types de sol en France, c'est possible mais peu fréquent.

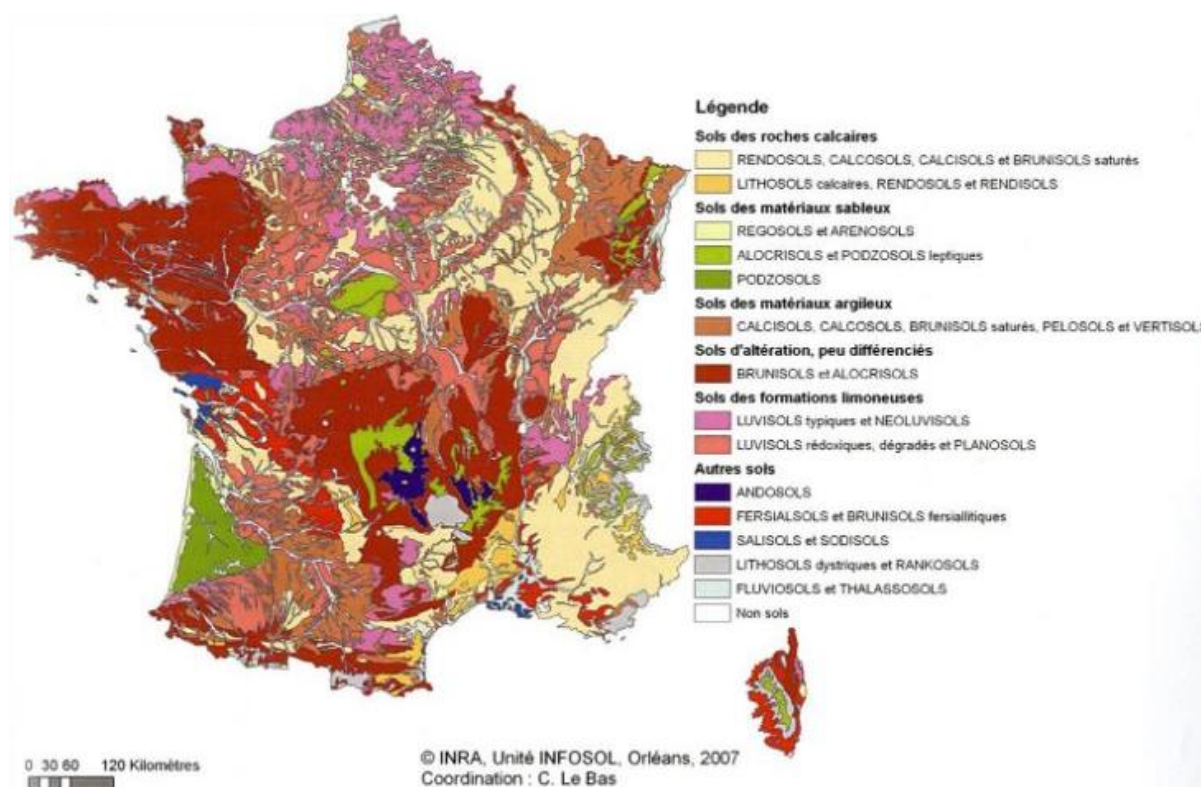


Figure 27: Carte des sols dominants de France

En Méditerranée par exemple, il existe des sols calcaires mais très superficiels, les lithosols. De plus, si certains catalogues décrivent effectivement des stations sur calcaires, la typologie des US peut être différente de celle utilisée pour le guide des plateaux calcaires du Nord Est. Par exemple, le catalogue des types de stations forestières des confins Angoumois-Périgord et Montmorélien (Charnet, 1991) décrit une US reposant sur un calcaire apparaissant à moins de 30 cm de profondeur, or, l'US P4 du guide des plateaux calcaires est caractérisée par une profondeur de sol comprise entre 20 et 40 cm.

Résultat

Pourtant, les préconisations de choix d'essences en climat futur ont pu être établis pour l'US P4 (figure 28 page suivante). Neuf catalogues présentant une US équivalente ont été recensés. Globalement, il apparaît que la fertilité de cette station, qui dépend grandement du climat, va diminuer sous l'effet des climats futurs plus contraignants. La typologie forestière des Fenouillèdes (Auvray, 1987a) indique que le « *reboisement est difficile* » mais qu'il existe une « *possibilité de pâturage* ». Dans ce contexte, il a été choisi de ne pas préconiser de nouvelles essences à introduire, la rentabilité étant trop incertaine, et ce, malgré la typologie forestière des Aspres (Auvray, 1987b) qui proposait le cyprès de l'Arizona ou le cyprès vert.

P4		A	B	C	D	E	F1	F2	F3
Essences naturellement présentes	Alisier blanc	A	A	A	A	A	A	A	A
	Alisier torminal	A	A	A	A	A	A	A	A
	Bouleau verruqueux	A	A	A	A	A	A	A	A
	Charme	A	A	A	A	A	A	A	A
	Chêne pédonculé	A	A	A	A	A	A	A	A
	Chêne pubescent ou hybride sessile x pubescent		A	A	A	P	P	P	P
	Chêne sessile	P	P	P	P	P	P	A	A
	Cormier	A	A	A	A	A	A	A	A
	Erable champêtre	A	A	A	A	A	A	A	A
	Erables à feuilles d'obier			A	A	A	A	A	A
	Erable plane	A	A	A	A	A	A	A	A
	Erable sycomore	A	A	A	A	A	A	A	A
	Frêne	A	A	A	A	A	A	A	A
	Hêtre	P	P	P	P	A	A	A	A
	Merisier	A	A	A	A	A	A	A	A
	Tilleul à grandes feuilles	A	A	A	A	A	A	A	A
	Tilleul à petites feuilles	A	A	A	A	A	A	A	A
Introductions possibles	Cèdre de l'Atlas	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	A
	Pin noir d'Autriche	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	A

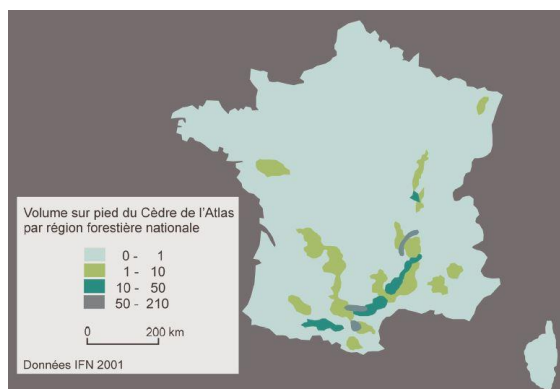
Figure 28: Préconisations de choix d'essences pour l'US P4 pour les climats actuels et futurs (en vert foncé : essence en conditions optimales ; en vert clair : essence bien adaptée mais pas en conditions optimales ; en jaune : essence en limite de station ; en rouge : essence non adaptée à la station ; croix grise : essence non présente ; P : essence principale ; A : essence associée ; AP : essence pouvant structurer le peuplement ou être disséminée ; pour plus d'information concernant la légende, consulter la page 53)

Néanmoins, pour d'autres stations de meilleure potentialité, il pourrait être intéressant d'étudier leur autécologie, ainsi que celles d'autres essences, comme le Pin d'Alep ou le Chêne vert, naturellement présents en Méditerranée. A terme, elles pourraient être proposées en essences expérimentales.

La méthode testée fonctionne pour une US et elle est *a priori* transposable aux autres. Elle pourrait être encore améliorée en utilisant les données IFN pour connaître les peuplements par station et sous des climats plus contraignants. Pourtant, les préconisations de choix d'essences sont moins évidentes à établir pour le futur qu'actuellement pour plusieurs raisons : les évolutions climatiques sont incertaines et le comportement des essences face à un changement si rapide est inconnu. Cela met en évidence un point important : plus l'autécologie des essences sera connue, plus les préconisations de choix d'essences seront robustes.

Le comportement du cèdre de l'Atlas sur la SER n'étant pas encore très étudié, il a fait l'objet d'un travail particulier.

4.3. EXEMPLE DE PRÉCONISATION : LE CÈDRE DE L'ATLAS EST-IL ADAPTÉ À LA SER C20 SOUS LES CLIMATS ACTUELS ET FUTURS ?



L'introduction du cèdre de l'Atlas en France remonte à 1862. D'abord majoritairement implanté dans les régions Languedoc-Roussillon, Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur, le cèdre apparaît comme une essence d'avenir face au changement climatique et voit son aire de répartition se développer dans d'autres régions françaises (Riou-Nivert, 2007) (figure 29).

Figure 29 : Volume sur pied (m^3) du cèdre de l'Atlas en France (source : Demarteau et al., 2007)

Si son autécologie a été bien étudiée en zone méditerranéenne, on ne connaît pas grand-chose de son comportement sur ses autres territoires d'introduction, notamment sur la SER des plateaux calcaires du Nord-Est. Sa potentialité de croissance a donc été étudiée sur cette zone, afin, à terme, d'affiner ses préconisations par station et par climat.

Il ne s'agit pas d'une étude autécologique complète : les peuplements de cèdre de l'Atlas sur la SER ne sont pas assez nombreux pour construire un modèle de croissance statistiquement robuste. En revanche, les peuplements mesurés pourront être comparés à ceux de modèles existants pour d'autres régions. Cela permettra de vérifier si la productivité du cèdre est meilleure sur les plateaux calcaires qu'en Méditerranée ou dans son aire naturelle par exemple. De même, une analyse par station et climat permettra de dégager quelques grandes tendances sur les facteurs limitant son introduction.

4.3.1. Matériel et méthode : comment évaluer la croissance en hauteur dominante du Cèdre de l'Atlas sur la SER C20 ?

4.3.1.1. Constitution d'un échantillon de peuplements

Les modèles de croissance en hauteur dominante selon l'âge permettent d'estimer la fertilité d'un milieu si les peuplements étudiés respectent les hypothèses de la loi d'Eichhorn : ils doivent être purs, équiennes et fermés (Franc et Houllier, 1989). Un peuplement de cèdre était considéré comme pur s'il représentait plus de 80% de la surface terrière (Duplat, 1989). La fermeture du peuplement était mesurée par le taux de couvert absolu : il devait être supérieur ou égal à 40 % (Institut National de l'Information Géographique et Forestière, 2019). Enfin, pour ne prendre en compte que des arbres du même âge, seuls les peuplements en futaie régulière de même date de plantation sans regarni ont été échantillonnés.

Les plantations de cèdres répondant à ces critères ont été recensées au sein des forêts publiques et privées grâce à la coopération de l'Office National des Forêts et du CNPF Grand Est et de Bourgogne Franche Comté. L'enquête de recensement des essences atypiques, en particulier, a permis de mettre en évidence la grande majorité des peuplements de cette étude (Office National des Forêts - département recherche, développement et innovation, 2015).

4.3.1.2. Mesures de terrain

Les mesures ont été effectuées sur des placettes circulaires de 6 ares, soit 13,8 m de rayon. Deux types de mesures ont été effectués : des mesures dendrométriques pour vérifier les critères de la loi d'Eichhorn et caractériser la hauteur dominante et l'âge du peuplement (annexe 21) et des mesures pour déterminer la station (annexe 6).

Dans un premier temps, les conditions que devaient remplir le peuplement pour être sélectionné étaient vérifiées. La surface terrière du cèdre de l'Atlas et la surface terrière totale du peuplement étaient mesurées, puis le taux de couvert absolu du peuplement était évalué.

Concernant la hauteur dominante du peuplement, Duplat (1989) indique que la moyenne de la hauteur des 1^{er}, 3^{ème} et 5^{ème} plus gros arbres sur une parcelle de 6 ares permet une estimation fiable de cette variable. Une mesure de la circonférence des plus gros arbres a été effectuée au ruban pour les identifier avec certitude. La hauteur totale de chacun de ces arbres a été mesurée à l'aide d'un Vertex. Pour limiter les incertitudes, la mesure devait être effectuée à une distance minimum égale à la hauteur de l'arbre (Rondeux, 1999). Deux mesures indépendantes étaient prises (suivies d'une troisième si l'écart entre les deux était trop important) en visant le bourgeon terminal. C'est finalement la moyenne de ces deux mesures qui correspond à la hauteur de l'arbre.



© CNPF)

L'âge graine du peuplement, c'est-à-dire l'âge à la germination, pouvait être estimé par trois méthodes différentes. Lorsque l'information était disponible dans les Plans Simples de Gestion (PSG) et archives, l'âge a été calculé à partir de la date de plantation et de l'âge des plants. Lorsque l'âge des plants restait inconnu, il a été ajouté 1 an à l'âge de plantation, cet âge correspondant en moyenne à celui des plants de cèdre utilisés pour les plantations. A défaut de ces informations et sous l'accord du propriétaire, un carottage au cœur d'un arbre dominé était réalisé à 30 cm du sol à la tarière de Pressler (figure 30). Après avoir compté les cernes de la carotte, il faut ajouter trois ans pour obtenir l'âge graine (Toth, 2005). Enfin, le comptage de cernes pouvait aussi s'effectuer sur une souche récente si la date de coupe était connue. La hauteur de coupe étant estimée à 30 cm, il faut aussi ajouter trois ans pour obtenir l'âge graine. Les trois méthodes ont été testées sur une même placette, et il s'avère que les âges graine obtenus sont tous différents. La première méthode étant la plus fiable, c'est elle qui a été privilégiée.

Figure 30 : Carotte de cèdre de l'Atlas (crédit photo : Sylvain Gaudin

La détermination de la station s'est faite selon le même protocole que pour tester la première version du guide des plateaux calcaires. Dans un premier temps, il s'agissait de décrire la situation topographique : mesure de la plus grande pente, mesure de l'exposition et du confinement. La détermination de l'humus et un relevé pédologique à la pioche ou la tarière jusqu'au blocage permettait ensuite d'obtenir une description succincte du sol. Enfin, un inventaire floristique complet et une description du peuplement étaient réalisés.

Initialement, il y avait aussi une réelle volonté de mesurer l'état sanitaire des peuplements, notamment grâce au protocole DEPERIS du Département Santé des Forêts. Ce diagnostic permet d'attribuer une note de dépérissement à un peuplement en mesurant la mortalité des branches et le manque d'aiguilles par rapport à un arbre de référence pour 15 arbres sur la placette (Nageleisen *et al.*, 2017). A l'heure actuelle, il n'existe pas d'arbre de référence pour le cèdre de l'Atlas et aucun autre protocole simple et rapide d'application n'a été trouvé dans la littérature. Finalement, il a donc été choisi de noter les éventuels problèmes d'état sanitaire en remarque.

4.3.2. Résultats : recommandations pour le cèdre de l'Atlas sur la SER

4.3.2.1. Un vaste échantillon de peuplements

La phase de recherche des plantations de cèdres a permis de recenser 52 peuplements conformes aux critères de la loi d'Eichhorn. Parmi ceux-ci, 46 ont été mesurés, mais 2 plantations ne respectaient pas les conditions de fermeture du couvert ou d'homogénéité des âges et n'ont pas été retenus. Finalement, 44 peuplements ont été pris en compte dans cette étude.

Caractéristiques peuplements	Minimum	Maximum	Moyenne
Age graine	23	89	40
Hauteur dominante (m)	8,5	29	16,6

Tableau 6 : Caractéristiques de l'échantillon

Une large gamme d'âges et de hauteurs a été échantillonnée (tableau 7). Toutefois, la majorité des peuplements reste assez jeune puisque la moitié a moins de 33 ans. Les peuplements plus âgés peuvent avoir été récoltés mais il faut garder à l'esprit que l'implantation du cèdre en France, or région méditerranéenne, reste assez récente. Cela peut d'ailleurs expliquer leur concentration dans les climats chauds (C et E), en Côte d'Or notamment, et leur absence au Nord de la SER (figure 31 page suivante).

Deux hypothèses peuvent justifier cette distribution, qui, met en évidence un gradient climatique sur la SER :

- des essais de plantation ont pu avoir lieu partout mais les conditions climatiques au Nord de la SER (notamment températures hivernales et humidité atmosphérique) ne permettaient pas le maintien des cèdres, contrairement aux climats plus au Sud ;
- les conditions climatiques du climat A et B dans une moindre mesure étant encore clémentes malgré le changement climatique, les gestionnaires n'ont pas jugé utile de planter du cèdre pour valoriser les stations contraignantes.

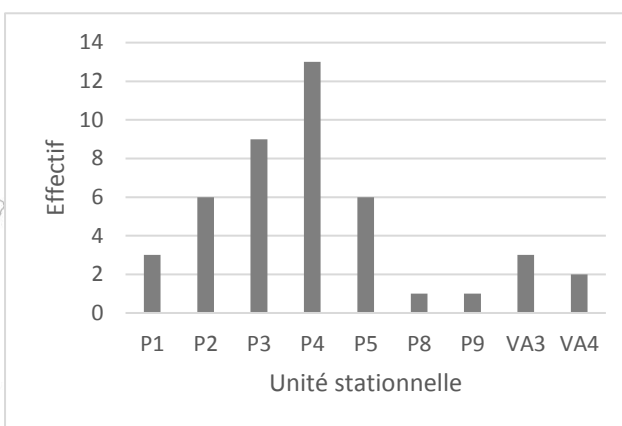
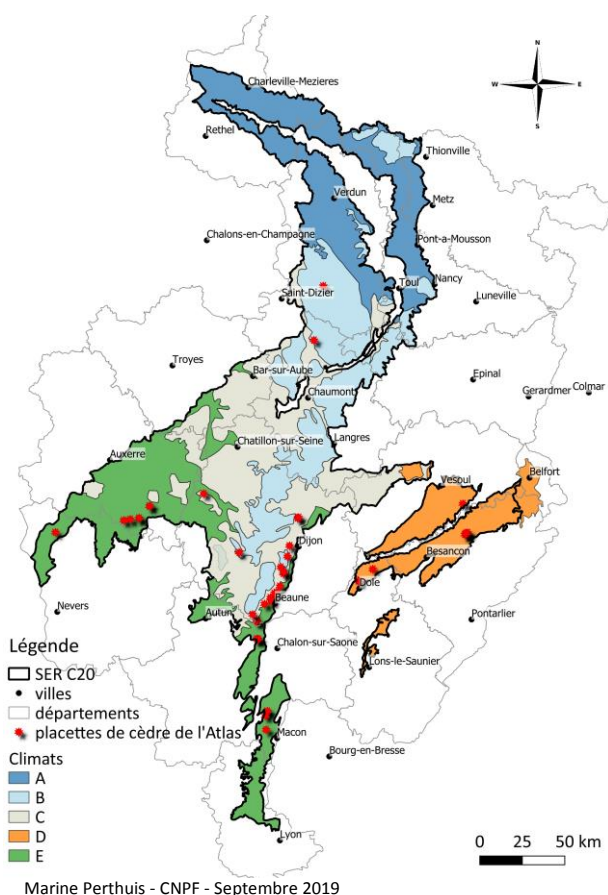


Figure 31 : Carte de localisation des relevés de cèdre de l'Atlas

Figure 32 : Histogramme du nombre de peuplements recensés par US

En effet, le cèdre ayant la réputation (à tort) de valoriser les sols les plus superficiels, il a été cantonné aux stations de fertilité très faible à moyenne. 60 % des peuplements sont situés sur des stations de profondeur de sol inférieure à 40 cm (P1, P3 et P4) et aucun peuplement n'a été recensé en fond de vallon, ou en versant mésotherme ou exposé au Nord (figure 32). Alors que le cèdre voit son optimum sur les sols peu acide à neutre (Courbet *et al.*, 2012), seulement une station correspondant à cette description a été recensée (US P8 acidiline à acidiphile). Enfin, une US hyperacidiphile (P9) a été comptabilisée bien que le cèdre soit déconseillé sur les sols trop acides.

4.3.2.2. Comparaison de la croissance du cèdre en différentes régions

Trois modèles de croissance en hauteur dominante selon l'âge ont été sélectionnés (tableau 8 page suivante). Aucun ne couvre la zone d'étude mais ils sont utiles pour étudier la croissance du cèdre dans ces régions comparativement à celle observée sur la SER. Il s'agit d'un modèle issu d'analyse de tige du Sud de la France (communication personnelle de F. Courbet), d'un modèle créé à partir de peuplements naturels d'Algérie (Bentouati et Oudjehih, 1999) et d'un modèle tiré de plantations de Bretagne (Hainry et Colombet, 2009). L'utilisation de chacun d'eux présente des limites qu'il est important de connaître et de prendre en compte pour l'analyse de cette étude.

Référence	Zone géographique	Géologie	Méthode de construction	Nb placettes mesurées	Limite de validité
INRA Avignon et IRSTEA, 1990	Sud de la France	sols siliceux et calcaires	Analyse de tiges	22	Pas valable pour jeunes reboisements
Bentouati et Oudjehih, 2007	Algérie	sols siliceux et calcaires	Mesure hauteur dominante – âge par placette	90	peuplements > 50 ans
Hainry et Colombet, 2009	Bretagne	sols siliceux	?	11	peuplements > 10 ans

Tableau 7 : Caractéristiques des modèles de croissance utilisés

Le modèle mis au point à partir de peuplements naturels d'Algérie n'est valable que pour des peuplements de plus de 50 ans. C'est le modèle le plus récent issu de mesures de cèdres dans leur aire naturelle.

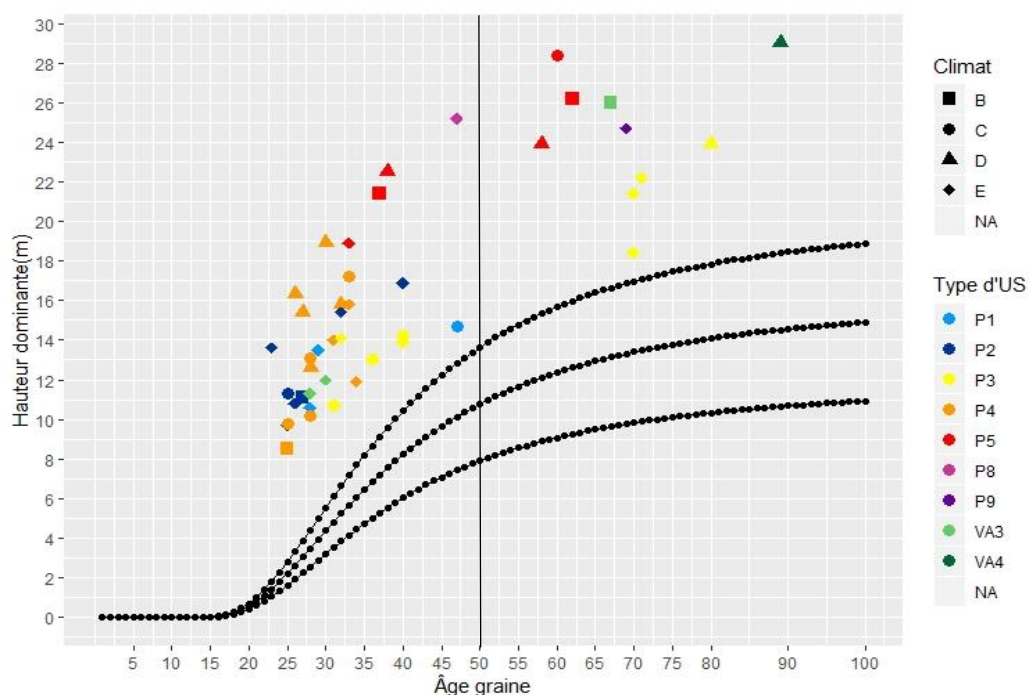


Figure 33 : Comparaison de la croissance en hauteur des peuplements recensés (symboles colorés éparses) par rapport aux courbes de fertilité du modèle algérien (courbes noires ponctuées)

Tous les points de notre zone d'étude sont au-dessus des courbes de fertilité (figure 33). En effet, les indices de fertilité calculés par ce modèle sont les plus faibles, comparativement aux autres modèles (tableau 9 page suivante).

Plusieurs hypothèses sont possibles :

- ce climat algérien est moins propice au cèdre que les climats français ;
- les techniques de sylviculture comme l'amélioration génétique des plants par sélection des arbres à meilleure croissance ;
- les techniques de reboisement avec sous-solage offrent une meilleure croissance aux plantations françaises

Quoi qu'il en soit, seulement 10 peuplements de plus de 50 ans ont été recensés sur la SER et ils ne permettent donc pas d'affirmer que leur croissance est supérieure.

Modèle	Indice de fertilité (m)			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Algérien (à 100 ans)	> 19	15 - 19	11 - 15	< 11
Sud de la France (à 50 ans)	19 - 24	14 - 19	9 - 14	4 - 9
Breton (à 50 ans)	>20,5	<20,5	/	/

Tableau 8 : Comparaison des indices de fertilité selon les modèles (NB : le modèle breton n'ayant pas de classe de fertilité à proprement parler, la hauteur dominante à 50 ans a été calculée à partir de l'équation du modèle)

Le modèle développé par l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA) d'Avignon et de l'Institut de Recherche en Sciences et Technologie pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA, anciennement Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts ou CEMAGREF) n'est pas valable pour les jeunes reboisements puisqu'ils se situent tous au-dessus des courbes de fertilité développées en 1990 (communication orale F. Courbet). Toutefois, c'est l'étude française la plus robuste statistiquement.

Cette limite apparaît sur la figure 34 (page suivante) : de nombreux points, notamment parmi les jeunes boisements, sont au-dessus des meilleures courbes de fertilité du modèle. Là encore, les hypothèses développées plus haut peuvent expliquer ces différences. Néanmoins, les quelques peuplements plus âgés font partie des deux meilleures classes de fertilité méditerranéennes. S'ils semblent indiquer une bonne croissance due au climat, rappelons qu'ils ne sont pas suffisamment nombreux pour confirmer ce résultat. Ce modèle ne permet donc pas de dire si la croissance du cèdre de l'Atlas est meilleure sur la SER des plateaux calcaires du Nord Est que dans le Sud de la France. En revanche, on peut remarquer un effet stationnel sur la croissance du cèdre. Plus la profondeur du sol augmente, plus la hauteur dominante est élevée : la différence n'est pas très nette entre les US P3 et P4, mais elle semble plus marquée entre P3 et P5.

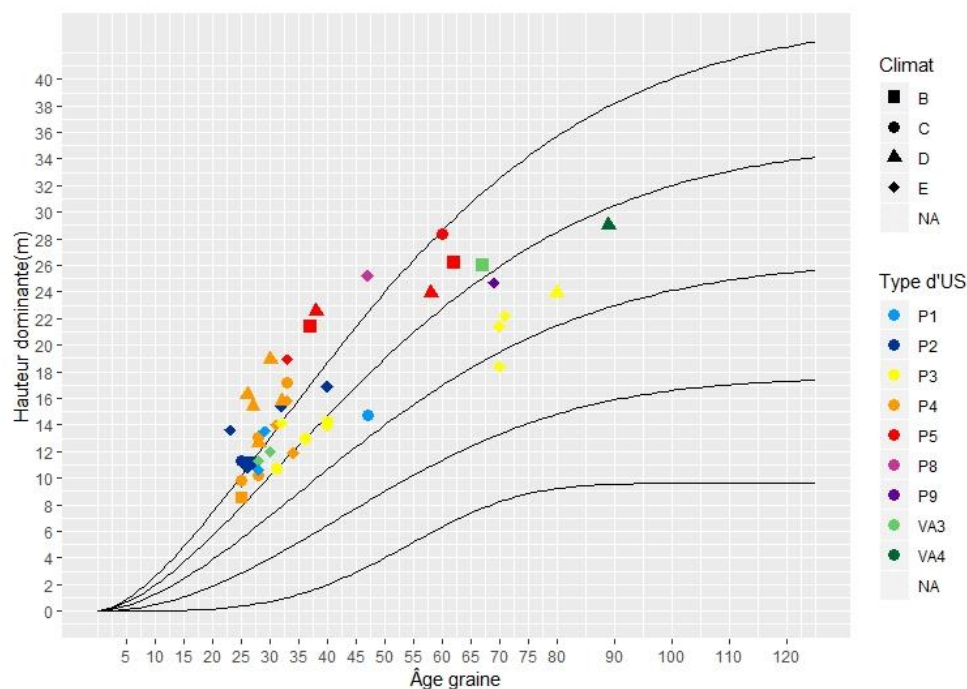


Figure 34 : Comparaison de la croissance en hauteur des peuplements recensés (symboles colorés éparés) par rapport aux courbes de fertilité du modèle de l'INRA d'Avignon et l'IRSTEA (courbes noires)

Enfin, le modèle développé par le CNPF de Bretagne n'a été construit qu'à partir de 11 peuplements sur sols siliceux et la méthode employée n'est pas connue. Les résultats sont donc peut-être moins robustes que ceux des autres modèles, toutefois, c'est un modèle très récent qui permet donc de comparer des peuplements issus de la même époque de plantation que ceux de notre zone d'étude.

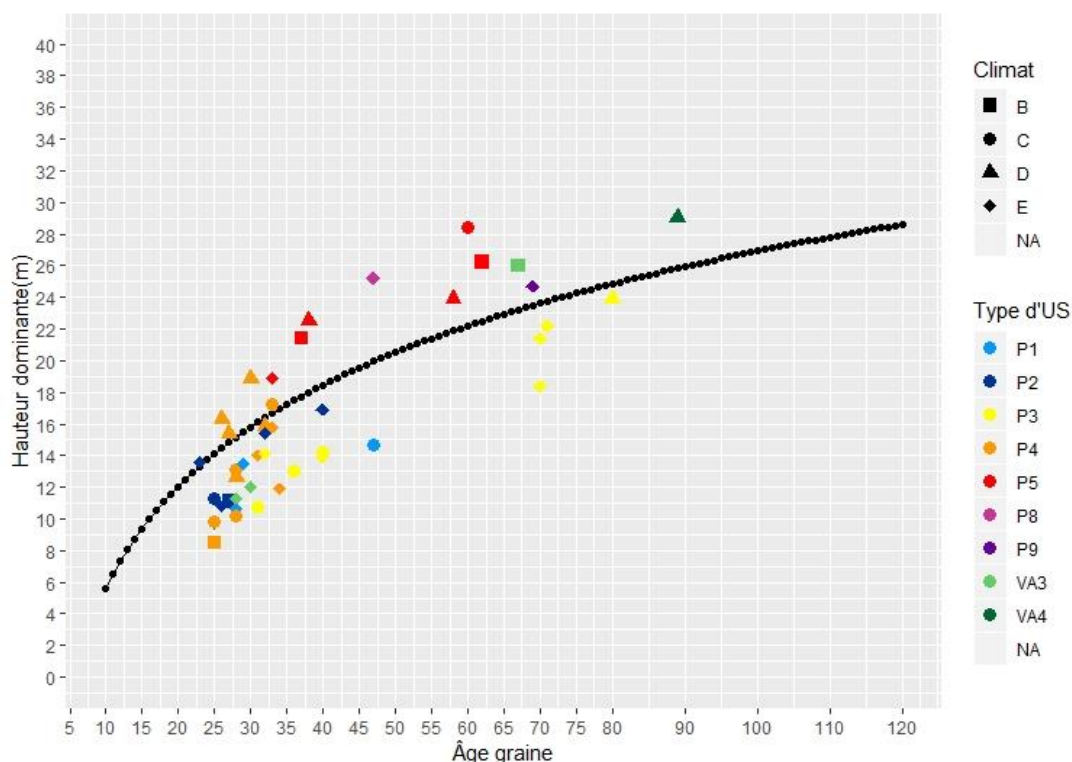


Figure 35 : Comparaison de la croissance en hauteur des peuplements recensés (symboles colorés éparés) par rapport à la courbe de fertilité du modèle breton (ligne noire ponctuée)

La différence entre les peuplements sur stations de plus grandes profondeurs (P5) et ceux sur stations à RU moins élevée (P3) est bien mise en évidence par la figure 35. Les stations P8, P9, VA3 et VA4 semblent elles aussi au-dessus de la courbe de fertilité, mais elles représentent un effectif beaucoup trop faible pour valider ces affirmations.

Ainsi, les limites d'application des modèles ne permettent pas de mettre en évidence une différence de croissance du cèdre de l'Atlas en fonction des climats régionaux. Globalement, les hauteurs dominantes des peuplements étudiés font partie des meilleures classes de fertilité du modèle de l'INRA et du CEMAGREF et sont au-dessus du modèle Algérien mais les causes de cette différence peuvent être multiples. De même, si la croissance du cèdre est présentée comme étant meilleure sur sols siliceux que sur sols calcaires d'après la littérature, la comparaison avec le modèle breton n'est pas aussi nette : c'est la profondeur du sol qui influence prioritairement la croissance. C'est cohérent avec la bibliographie qui indique que « l'épaisseur du sol est ce qui explique le mieux la croissance en hauteur des peuplements » et que les sols superficiels lui sont défavorables (Courbet *et al.*, 2012; Van Lerberghe, 2007).

4.3.2.3. Effets de la station et des climats de la SER sur la croissance du cèdre de l'Atlas

Les effets stationnels et des climats locaux de la SER ont été étudiés plus précisément. L'échantillon de cette étude étant très diversifié en ce qui concerne les âges, il a été décidé de calculer les hauteurs dominantes à l'âge de référence de chacun des peuplements étudiés. Tous les peuplements sont ainsi comparables puisqu'ils sont ramenés au même âge. Ensuite, ces hauteurs dominantes à l'âge de référence ont été moyennées par station et par climat pour pouvoir mesurer leurs effets sur la croissance.

L'âge de référence choisi est l'âge moyen de l'échantillon, c'est-à-dire 40 ans. La hauteur dominante à l'âge de référence des points a été calculée à partir de l'équation de l'étude de l'INRA d'Avignon et de l'IRSTEA. Malgré les limites exposées précédemment, c'est l'étude la plus statistiquement fiable avec les différences de croissance les plus réduites.

Climat / US	P1	P2	P3	P4	P5	P8	P9	VA3	VA4	H0 ₄₀ moy par climat
B		18,4 (1)		15,7 (1)	20,0 (2)			15,3 (1)		17,9 (5)
C	12,1 (1)	20,7 (1)	14,6 (3)	19,1 (4)	18,6 (1)					17,1 (10)
D			12,1 (1)	24,1 (5)	20,0 (2)				14,0 (1)	20,7 (9)
E	18,5 (2)	20,9 (4)	13,3 (5)	17,9 (3)	23,9 (1)	21,0 (1)	14,1 (1)	17,5 (2)	17,9 (1)	17,6 (20)
H0₄₀ moyenne par US	16,4 (3)	20,4 (6)	13,6 (9)	20,5 (13)	20,4 (6)	21,0 (1)	14,1 (1)	16,8 (3)	16,0 (2)	18,2 (44)

Tableau 9 : Hauteur dominante moyenne à l'âge de référence par climat et US (entre parenthèse : effectif)

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 10. Tout d'abord, les tendances qui se dégagent sont à prendre avec précaution pour plusieurs raisons. Le faible effectif de l'échantillon ne permet pas de présenter des résultats statistiquement robustes (annexe 22). Les effectifs sont d'ailleurs très hétérogènes selon l'US ou le climat considéré : un peuplement hors norme pour une raison inconnue peut ainsi avoir été mesuré et induire des résultats inhabituels. Enfin, le modèle appliqué n'étant pas tout à fait adapté à notre échantillon, il peut apporter un biais par rapport aux différences observées. Malgré toutes ces limites, certaines tendances générales ressortent de ces mesures.

La hauteur la plus élevée est attribuée à la station P8 qui est une station profonde, acidophile à acidiphile, ce qui est cohérent avec la littérature. Il faut toutefois noter qu'un seul échantillon a été mesuré sur cette station. A l'inverse, la station hyperacide présente une hauteur faible, ce qui, là encore, rejoint la bibliographie : le cèdre ne supporte pas les sols trop acides.

Il apparaît que plus la profondeur augmente, plus la réserve utile maximale augmente et plus la hauteur dominante est élevée : la hauteur moyenne de la station P2 est supérieure à celle de P1 concernant les stations carbonatées. Il en va de même pour les stations sur argile de décarbonatation : les hauteurs moyennes des US P4 et P5 sont supérieures à celle des US P3.



Une incohérence subsiste toutefois entre les US P4 et P5 qui présentent une hauteur dominante du même ordre de grandeur alors que la profondeur de sol est plus importante en P5. Cela peut s'expliquer par plusieurs hypothèses. Des erreurs de détermination de station peuvent avoir été réalisées, c'est-à-dire que certaines stations P4 auraient été classées en P5 et inversement. Une autre hypothèse repose sur l'une des caractéristiques physiologiques du cèdre : ses racines puissantes peuvent puiser les ressources hydriques profondément dans le sol si la roche est fissurée (figure 36). Les fissurations locales du substrat calcaire permettraient ainsi à certains arbres de se développer, la profondeur prospectable étant ainsi bien supérieure à ce qui est mesuré sur le terrain. Enfin, les techniques de reboisement (sélection de provenance, sous-solage) sont peut-être différentes selon les peuplements et pourraient expliquer une part de variabilité.

Figure 36 : Racine de cèdre de l'Atlas entre deux blocs de calcaire

De même, si la présence de carbonate de calcium dans le sol est sensé ralentir la croissance du cèdre d'après la littérature (Courbet *et al.*, 2012), ce résultat n'est pas visible sur l'échantillon. En effet, lorsque l'on compare deux stations de même profondeur de sol, mais l'une étant carbonatée, l'autre sur argile de décarbonatation, la hauteur dominante de l'US carbonatée est supérieure ou égale à celle de l'US décarbonatée ($H_{0.40} P1 > H_{0.40} P3$; $H_{0.40} P2 \approx H_{0.40} P4 \approx H_{0.40} P5$; $H_{0.40} VA3 \approx H_{0.40} VA4$). La charge en carbonate était peut-être suffisamment faible pour avoir l'impact attendu, ou bien il y a eu des erreurs de détermination de station, ou des techniques de reboisement différentes (sous-solage ou

non) expliquent ces résultats.

Enfin, la hauteur dominante moyenne à l'âge de 40 ans est assez homogène quels que soient les climats B, C ou E. En revanche, le climat franc comtois (D) semble avoir un effet positif sur la croissance du cèdre. En effet, il est caractérisé par une pluviométrie annuelle et une température moyenne annuelle élevées, malgré les températures minimales hivernales les plus faibles de la SER. La chaleur couplée à une bonne alimentation en eau pourrait ainsi favoriser la croissance du cèdre. Pour autant, cette supériorité de croissance en climat D ne se retrouve pas sur toutes les US. Globalement, les effets du climat sur la croissance du cèdre semblent moins nets que les effets stationnels.

4.3.2.4. Etat sanitaire des peuplements de cèdre sur la SER

Tout d'abord, seuls deux peuplements présentant de la mortalité ont été mesurés. Les causes de ce dépérissement sont inexpliquées. Il ne touchait d'ailleurs qu'un seul arbre à chaque fois.

En revanche, deux phénomènes récurrents ont été observés.



Figure 37 : Coulées de résine blanches sur un bois moyen de cèdre de l'Atlas (crédit photo : Gaudin Sylvain © CNPF)



Figure 38 : Trou d'insecte dans l'écorce et coulée de résine sur un cèdre de l'Atlas

Le premier concerne la présence de coulées de résine (figure 37 et 38). 21 peuplements sont concernés par ce phénomène, soit presque la moitié des plantations étudiées. Ces écoulements ont été remarqués sur des arbres de tout âge, qu'ils soient dominants ou dominés, sur tous types d'US et de climats. Deux origines peuvent être distinguées. La première serait due à des nécroses cambiales. La cause même de ces nécroses reste inconnue à ce jour, mais elles sont aussi observées dans des peuplements du sud de la France (communication orale F. Courbet). Sur quelques arbres, les coulées

de résine étaient couplées à des trous d'insecte dans l'écorce et le bois (figure 38). Le cèdre peut en effet être attaqué par des insectes sous corticaux, mais « *ces insectes sont toujours des parasites de faiblesse qui ne peuvent coloniser une tige en bon état physiologique* » (Nageleisen, 2017).

De plus, 20 peuplements sur les 44 étudiés présentent un jaunissement des aiguilles, et ce, à station, climat, âge ou statut social variable. Tous ont été mesurés après le mois de juin 2019, c'est-à-dire après la première canicule. Un de ces peuplements avait d'ailleurs été visité courant mai 2019 et aucune aiguille jaune n'avait été aperçue. Aucun des 8 peuplements mesurés au mois d'août n'avait d'aiguilles jaunes : la plupart étaient déjà tombées au sol. Si l'origine exacte de ce jaunissement et à terme, cette défoliation, n'est pas connue, les dates d'apparition de ce phénomène laissent à penser que la canicule pourrait être un des facteurs impliqués.

Ces observations ne sont pas forcément corrélées à la croissance du cèdre de l'Atlas sur la SER. Pour autant, elles mettent en évidence des problèmes sanitaires qu'il est important de surveiller et qui peuvent présager d'une mauvaise installation du cèdre en conditions stationnelles ou climatiques limites.

4.3.3. Conclusion : sur quelles stations et climats de la SER C20 faut-il préconiser le cèdre de l'Atlas ?

Aujourd'hui, le cèdre a la réputation de se contenter des milieux les plus difficiles comme le prouve son implantation sur les stations de faible potentialité sur la SER. Pourtant, cette étude a mis en évidence l'importance de la profondeur du sol sur la croissance en hauteur du cèdre de l'Atlas. La littérature nous apprend aussi que le cèdre est à son optimum sur des sols siliceux neutres à acidiclins. A première vue, les plateaux calcaires ne semblent pas correspondre à ses préférences stationnelles, mais les performances des plantations étudiées sont globalement meilleures que celles des peuplements des modèles. Toutefois, l'origine de cette bonne croissance sur la SER n'est pas définie et les causes peuvent être multiples. Si aujourd'hui la croissance en hauteur du cèdre semble bonne, des signes de faiblesses sanitaires ont aussi été mis en évidence. A l'avenir, l'implantation du cèdre de l'Atlas sur les sols les plus superficiels devra être mûrement réfléchi : le cèdre pousse, oui, mais à quel prix ? C'est une essence à croissance juvénile lente, qui a besoin de nombreux dégagements dans le jeune âge et le sous-solage est conseillé sur les sols les moins profonds ou mal fissurés (Van Lerberghe, 2007). Actuellement, les grumes de première éclaircie sont difficilement valorisées (communication orale S. Martin). Dans ce cas, ne vaut-il pas mieux privilégier des grumes de dimensions correctes et de bonne qualité plutôt que d'investir dans des tiges dont l'avenir est incertain ?

A partir des résultats de cette étude et de la bibliographie, un tableau de préconisations du cèdre de l'Atlas a pu être réalisé pour chaque US de plateaux et climat actuel et futur (tableau 11). Il servira de piste de réflexion pour les préconisations de choix d'essences du guide des plateaux calcaires du Nord Est. L'étude n'ayant pas permis de mettre en évidence un effet des climats de la SER sur la croissance, les distinctions d'adaptation par climats actuels et futurs sont faibles.

Climat / US	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
A													
B		?		?									
C		?		?									
D		?		?									
E		?		?									
F1													
F2													
F3													

Tableau 10 : Préconisations de station et de climat pour le cèdre de l'Atlas (les cases dotées d'un « ? » signifient que l'adaptation de l'essence n'est pas certaine et peut dépendre d'autres facteurs)

Les stations P7 et P8 représentent l'optimum du cèdre de l'Atlas et la profondeur de sol semble assez importante pour ne pas être limitante même en climats futurs plus secs. Les stations P5 et P6, un peu moins profondes, seront peut-être moins favorables dans le cadre du changement climatique. Les US P1 et P3 sont trop superficielles et, même si le cèdre croit mieux sur des stations plus profondes comme P2 et P4, leur réserve utile et la carbonatation restent limitantes. La station P9 est profonde mais trop acide pour le cèdre, qui se développe mal sur sol pauvre. Enfin, les stations marneuses P11, P12 et P13, à cause de la carbonatation, de la compaction du sol et des éventuelles traces d'hydromorphie, ne sont pas recommandées. L'US P10, avec son hydromorphie profonde et sa couverture limoneuse, est peut-être moins limitante mais sans certitude.

4.4. SYNTHÈSE DES PRÉCONISATIONS ET CRÉATION D'UN OUTIL ADAPTÉ AUX GESTIONNAIRES

Une synthèse de la prise en compte du changement climatique dans les catalogues et guides de stations a été réalisée (annexe 1). Tout d'abord, elle n'est que très récente puisque seuls 7 documents ont été répertoriés. De plus, elle est très hétérogène selon les guides. Les principales différences dépendent de la surface couverte par le guide : pour les petites régions naturelles homogènes d'un point de vue climatique, il n'y a pas de modélisation du climat futur et seule la sensibilité d'une essence au changement climatique est représentée à l'aide d'une pastille. A l'inverse, pour les guides couvrant des régions plus vastes avec un gradient climatique, un code couleur et des symboles préjugent de la bonne adaptation d'une essence sous les climats actuels et futurs. En ce sens, le guide des stations des plateaux calcaires du Nord Est se rapproche davantage du Guide de choix des essences de Normandie et du Guide de reconnaissance et de la gestion pour la région Centre. Pour autant, la présentation de leurs préconisations de choix d'essences ne correspondait pas tout à fait à nos attentes.

En effet, nous souhaitons faire apparaître plusieurs informations : le peuplement naturellement observé, les introductions possibles et les tentations à éviter. De même, l'adaptation d'une essence à la station et au climat devait être représentée. Pour prendre en compte toutes ces exigences, plusieurs présentations ont été comparées (figure 39).

Climat 1	Climat 2
Essences principales Essence A	Essences principales Essence B
Essences secondaires Essence B Essence C	Essences secondaires Essence A
Essences culturelles Essence D	Essences culturelles Essence C Essence D
Introductions possibles /	Introductions possibles Essence E

(a)

	US A	US B	US C
Climat 1	Principale	Principale	Secondaire
Climat 2	Culturelle	Culturelle	/

(b)

	Climat 1	Climat 2
Essence A	Principale	Secondaire
Essence B	Secondaire	Principale
Essence C	Secondaire	Culturelle
Essence D	Culturelle	Culturelle
Essence E	/	Introduction possible

(c)

	Essences principales	Essences secondaires	Essences culturelles	Introductions possibles
Climat 1	Essence A	Essence B Essence C	Essence D	/
Climat 2	Essence B	Essence A	Essence C Essence D	Essence E

(d)

Figure 39 : Différentes formes de présentation des préconisations de choix d'essences

Chacune de ces présentations présente des avantages et des inconvénients (tableau 12). La présentation b est un peu différente des autres, puisque l'adaptation de l'essence à la station et au

climat ne serait pas directement indiquée dans la fiche de description de l'US mais sur une page dédiée à l'essence. Elle se rapproche des préconisations de choix d'essences du Fichier Ecologique des Essences. Elle demanderait toutefois d'avoir un guide plus volumineux et n'a donc pas été retenue.

Présentation	a	b	c	d
Avantages	Gain de place ?	Raisonnement par essence plutôt que par station et climat	Possibilité d'utiliser un code couleur d'où gain de place ; visualisation rapide des essences à ne pas introduire	Vision globale du peuplement
Inconvénients	Moins facile de voir quelles essences ne doivent pas être introduites	Pas de préconisation directement incluse dans la fiche de station ; pas d'information sur le peuplement complet	Moins lisible	Prend de la place

Tableau 11 : Comparaison des différentes formes de présentation des préconisations de choix d'essences

C'est finalement la présentation c qui a été préférée en lui apportant quelques modifications (tableau 13).

		A	B	C	D	E	F1	F2	F3
Essences naturellement présentes	Essence 1	P	P	P	P	P	P	P	P
	Essence 2	A	A	A	A	A	A	A	A
	Essence 3	A	A	A	A	A	A	A	A
Introductions possibles	Essence 4	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP

Tableau 12 : Présentation finale du choix d'essences

Elle permet d'avoir une vision globale du peuplement puisque chacune des essences pouvant être présente est explicitement présentée dans la case « essences naturellement présentes ». Le code couleur utilisé permet de savoir rapidement si l'essence est adaptée à la station et au climat et, dans le cas contraire, de diriger son choix vers une autre espèce. Habituellement, les précédents guides classaient les essences en plusieurs types : principale, secondaire et à but cultural ou biologique pour les plus complets. Ce classement dépend surtout de la valeur marchande des essences. Dans un contexte de changement climatique, il a semblé plus judicieux de s'intéresser à l'adaptation de l'essence et à son statut social plutôt qu'à son prix de vente. En effet, si l'érable champêtre par exemple est actuellement considéré comme une essence de faible valeur, sa résistance à la sécheresse en fera peut-être une espèce importante à conserver pour faire face au changement climatique. En revanche, afin que les gestionnaires n'en plantent pas une parcelle en plein alors que ce n'est pas une espèce sociale, son statut social doit être indiqué. Les espèces ont donc été classées en deux catégories, les essences principales sont représentées par la lettre P, tandis que les espèces accompagnatrices seront symbolisées par un A. Certaines espèces, notamment, en introduction possible, sont caractérisées par AP, ce qui signifie qu'elles peuvent être plantées en plein, ou disséminées (accompagnement, enrichissement, bouquet). Enfin, cette forme de présentation permet d'être utilisée à la fois pour un renouvellement ou pour gérer le peuplement en place.

Si cette forme de présentation semble la plus complète possible tout en étant facilement compréhensible, elle sera présentée en comité de pilotage pour l'entériner ou la modifier.

Selon que le climat soit actuel ou futur, deux méthodes de construction des préconisations de choix d'essences ont été testées. Elles dépendent toutes deux des informations disponibles, notamment sur le comportement des essences. Le cèdre de l'Atlas n'ayant été que peu étudié sur la SER par exemple, il a fait l'objet d'une étude particulière. Chacun de ces résultats a ensuite été présenté sous la forme d'un tableau par US où l'adaptation d'une essence est déclinée par climats actuels et futurs. Cette proposition de présentation sera entérinée lors du comité de pilotage.

5. CONCLUSION

L'objectif du stage était d'élaborer une méthode pour préconiser les choix d'essences pour le guide des plateaux calcaires du Nord Est, c'est-à-dire par stations et climats actuels ou futurs sur la SER C20. Ce travail a pu être réalisé en plusieurs étapes.

Tout d'abord, un tableau de synthèse autécologique, fruit d'une recherche bibliographique a été créé. Il n'est pas aussi complet qu'une véritable étude autécologique pour une essence donnée. Il permet plutôt d'avoir une vision rapide des exigences écologiques et des facteurs limitants pour les principales essences de la SER et d'autres essences plus exotiques. Il présente donc une utilité pour juger de l'adaptation d'une essence à la station et au climat.

Une seconde phase d'étude a permis d'élaborer la typologie climatique de la SER pour, à terme, faire varier les choix d'essences en fonction du climat. Une pré-typologie avait déjà été établie par la chargée de mission. Elle a été utilisée à la fois pour redécouper la SER en différents climats actuels et à la fois pour modéliser les potentielles évolutions climatiques futures.

Initialement, la SER était divisée en 12 climats qui ont été regroupés en 5 types climatiques plus vastes afin qu'il y ait une réelle distinction de distribution et de croissance des essences. Pour plus

de robustesse, ces regroupements ont été établis en comparant les climats entre eux selon différents types de données : des variables climatiques et la fréquence d'apparition d'espèces du sous-bois. Une troisième analyse a confirmé la différence de croissance des essences sur la SER en fonction du climat et donc la nécessité de découper climatiquement la zone d'étude. Globalement, on observe un gradient de contrainte du Nord-Est de la SER vers le Sud-Ouest, excepté pour le climat franc comtois qui est plus marginal.

Ensuite, en leur appliquant plusieurs modèles et scénarii plus ou moins pessimistes, les climats initiaux actuels de la France ont été translatés pour donner une idée des évolutions climatiques futures. Quels que soient les modèles utilisés, les résultats sont assez proches : ce sont des climats du Sud de la France qui migrent vers la SER. Des regroupements de ces climats actuels ont été effectués pour représenter 3 types climatiques futurs potentiels. Là encore, ils représentent un gradient de contrainte climatique.

Pour construire les préconisations de choix d'essences, le tableau de synthèse autécologique a été utilisé, couplé à d'autres types de données. Les informations sur l'adaptation des essences aux stations sous les climats actuels sont plus nombreuses et accessibles que celles sur les évolutions d'adaptation des essences dans le futur. Les sources de données utilisées pour construire les choix d'essences ont donc été différentes selon que le climat considéré soit actuel ou futur. Les choix d'essences sous les climats actuels ont pu être élaborés pour 7 US variées. Ils serviront de référence à la construction des préconisations pour les autres US du guide. Pour ce qui est de l'adaptation des essences dans le futur, la méthode de construction a été testée sur l'US P4. C'est une station assez contraignante dont la fertilité fortement dépend du climat. Pour la majorité des essences, cela confirme que ces deux méthodes fonctionnent et pourront être appliquées aux autres US. D'autres outils pourraient être utilisés pour compléter les données et les rendre plus robustes. Les relevés IFN par exemple, constituent une source d'informations conséquente qui sera exploitée.

Les recommandations pour le cèdre de l'Atlas ont été construites différemment. C'est une essence dont le comportement est peu connu sur la SER et qui a fait l'objet d'une étude sur ses potentialités de croissance. Elle semble réagir plus fortement à la réserve en eau du sol qu'au climat. Ses préconisations varient donc davantage selon la station que selon le climat.

La présentation la plus complète et la plus accessible des préconisations de choix d'essences a été recherchée. Elle permet d'avoir une vision d'ensemble des espèces adaptées ou non à la station et au climat, et ce, sans considérer leur valeur marchande. Ainsi, le gestionnaire est encouragé à favoriser le mélange dans son peuplement, le but du guide étant que ses utilisateurs adoptent une gestion sylvicole durable pour faire face au changement climatique.

Ce travail servira de référence à la construction des recommandations de choix d'essences du futur guide des plateaux calcaires du Nord Est.

Le tableau de synthèse pourra être complété en fonction des besoins. L'autécologie d'autres essences, jusque-là absentes de la SER, pourrait être étudiée, afin de les introduire éventuellement à titre expérimental à la demande des gestionnaires. Les essences autochtones méditerranéennes notamment, pourraient constituer des essences expérimentales intéressantes. A défaut de se prémunir de tous les impacts que pourrait avoir leur introduction, leur autécologie est bien connue et permettrait d'anticiper leurs interactions avec les autres essences. En effet, la migration assistée apparaît comme l'une des solutions pour répondre au changement climatique, mais elle n'est pas sans conséquence sur la biodiversité de nos forêts (Bartoli, 2019).

Concernant la typologie climatique, faire des regroupements de climats plutôt que de conserver les valeurs brutes présente forcément une imprécision. Toutefois, dans le cadre d'un guide

de stations, les données brutes n'auraient pas pu être exploitées pour des raisons d'ergonomie et de lecture des recommandations. En effet, il faudrait non plus décliner les choix d'essences par stations et par climats, mais par stations et par valeurs (ou classes de valeur) de variables écologiques discriminantes (tableau 14).

	Pluviométrie annuelle < 800 mm	800 mm < Pluviométrie annuelle < 1000 mm	Pluviométrie annuelle > 1000 mm
Essence A	A	A	A
Essence B	A	A	A
Essence C	P	P	P

Tableau 13 : Préconisations de choix d'essences par variables climatiques

Or, ces variables et ces valeurs seuil dépendent de l'espèce considérée. Il faudrait alors avoir un raisonnement par essence et non plus par station comme pour le Fichier Ecologique des Essences (Claessens *et al.*, 2017). Cela ne correspondrait plus au cahier des charges du guide.

Cela met en évidence une des limites de cette étude et du guide d'une manière plus générale. Les préconisations de choix d'essences dépendent de deux facteurs : les données disponibles et les attentes des utilisateurs. Plus les données sur l'autécologie des essences et les évolutions du climat seront fournies, plus les recommandations seront pertinentes. La présentation des résultats est tout aussi importante. Elle doit être comprise par les gestionnaires et adaptée à leurs attentes. Par exemple, si les préconisations sont trop pessimistes, elles pourraient ne pas être acceptées par les utilisateurs. Or, si le but du guide est de faire adopter une gestion durable aux gestionnaires pour faire face au changement climatique, ne faut-il pas respecter leur choix ?

Plus généralement, le guide des stations forestières des plateaux calcaires du Nord Est est un outil intéressant pour aborder simplement les évolutions climatiques futures. Actuellement, d'autres outils se développent, comme les cartographies de stations et les modélisations de distribution des espèces. Utiliser chacun de ces documents en complément permettrait peut-être d'avoir un avis éclairé sur les choix d'essences en contexte de changement climatique.

BIBLIOGRAPHIE

- Al Majou, H., Bruand, A., Duval, O. et Cousin, I. (2007). Comparaison de fonctions de pédotransfert nationales et européennes pour prédire les propriétés de rétention en eau des sols, *14*(2), 103-116.
- Auvray, F. (1987a). *Typologie forestière des Aspres*. Montpellier.
- Auvray, F. (1987b). *Typologie forestière des Fenouillèdes*. Montpellier.
- Badeau, V., Dupouey, J.-L., Cluzeau, C. et Drapier, J. (2005). Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100, (162), 25-29.
- Bailly, G. et Beaufile, T. (1998). *Catalogue synthétique des stations forestières des plateaux calcaires franc-comtois à l'étage feuillu*. Société forestière de Franche-Comté.
- Barets, S. (2019). *Synthèse tâche 4 : hypothèses d'évolution du climat basées sur des modèles de projection climatique régionalisée (DRIAS)* ([Synthèse du projet Calclim]). CNPF Centre régional Champagne-Ardenne.
- Bartoli, M. (2019). Réflexions critiques sur la migration assistée, (367), 68-74.
- Becker, M., Le Tacon, F. et Timbal, J. (1980). *Les plateaux calcaires de Lorraine. Types de stations et potentialités forestières*.
- Bentouati, A. et Oudjehih, B. (1999). Première étude de la croissance et de la productivité du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Bélezma (Aurès - Algérie), *XX*(2), 115-119.
- Charnet, F. (1991). *Catalogue des types de station forestière des confins Angoumois-Périgord et Montmorélien*. CRPF de Poitou-Charentes - CETEF de la Charente.
- Claessens, H., Ridremont, F., Cordier, S., Desjonquères, A., Wampach, F., Bifolchi, E., ... Bussers, M. (2017, août). Fichier écologique des essences - Seconde édition. Repéré à fichierecologique.be
- Courbet, F., Lagacherie, M., Marty, P., Ladier, J., Ripert, C., Riou-Nivert, P., ... Paillassa, E. (2012). *Le cèdre en France face au changement climatique : bilan et recommandations*. RMT AFORCE.

- Deconninck, M.-C. (1986). *Catalogue simplifié des stations des plateaux calcaires bourguignons*.
- Demarteau, M., François, L., Cheddadi, R. et Roche, E. (2007). Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs, (31), 105- 146.
- Didier, B. et Rameau, J.-C. (1989). *Catalogue des stations forestières de la Haute-marne* (vol. 1 : Plateaux calcaires et vallée oxfordienne).
- Dumé, G., Gauberville, C., Mansion, D. et Rameau, J.-C. (2018). *Flore forestière française - Plaine et collines* (Nouvelle édition, vol. 1). CNPF.
- Dumé, G., Gauberville, C., Mansion, D., Rameau, J.-C., Bardat, J., Bruno, E., ... Timbal, J. (2018). *Flore forestière française, guide écologique illustré* (Nouvelle édition, vol. 1 Plaines et collines). CNPF.
- Duplat, P. (1989). Indice de fertilité basé sur un modèle de croissance en hauteur. Dans *Station forestière, production et qualité des bois : éléments méthodologiques* (p. 52- 71). Groupe de travail sur la typologie des stations forestières.
- Encyclopaedia Britannica. (s. d.). Radiative forcing. *Encyclopaedia Britannica*. Repéré à <https://www.britannica.com/science/radiative-forcing>
- Etudiants Agroparistech de la spécialité Gestion des Milieux Naturels - promotion 2018. (2019). *Adaptation des forêts au changement climatique en cours dans le Grand Est* ([Projet étudiant encadré par Christian PIEDALLU dans le cadre de l'enseignement « Changement climatique et ressources naturelles »]) (p. 89). Nancy : Agroparistech.
- European Forest Genetic Resources Programme EUFORGEN. (s. d.). *European Forest Genetic Resources Programme EUFORGEN*. Repéré à www.euforgen.org
- Franc, A. et Houllier, F. (1989). Etude des relations entre milieu et production. Quelques critères de choix des méthodes. Dans *Station forestière, production et qualité des bois : éléments méthodologiques* (p. 13- 50). CEMAGREF.
- Gaudin, S., Jabiol, B., Lebourgeois, F. et Madesclaire, A. (2016). *Les milieux forestiers de la Plaine lorraine - Guide pour l'identification des stations et le choix des essences*.

- Giraud, D. (1985). *Les stations forestières des Crêtes pré-ardennaises*.
- Gonin, P., Larrieu, L., Coello, J., Marty, P., Lestrade, M., Becquey, J. et Claessens, H. (2013). *Autécologie des feuillus précieux*. Paris : Institut pour le développement forestier.
- Hainry, D. et Colombet, M. (2009). *Bilan des introductions et perspectives d'utilisation du Cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica) en Bretagne* (p. 10). CRPF de Bretagne.
- Hubert, C. et Pillon, S. (2015). *Guide des stations forestières Ardenne primaire, Hainaut, Thiérache, Champagne humide ardennaise*. CNPF.
- Institut National de l'Information Géographique et Forestière. (2013). Sylvoécorégion C 20 : Plateaux calcaires du Nord-Est.
- Institut National de l'Information Géographique et Forestière. (2019). Définition : couverture du sol. *Inventaire forestier*. Repéré à <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article593>
- Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture. (2008, 27 novembre). Graines et plants forestiers : conseils d'utilisation des ressources génétiques forestières. *alim'agri - site du ministère de l'agriculture et de l'alimentation*. Repéré à <https://agriculture.gouv.fr/graines-et-plants-forestiers-conseils-dutilisation-des-provenances-et-varietes-forestieres>
- Jacamon, M. (1992). *Guide de dendrologie : Arbres, arbustes, arbrisseaux des forêts françaises* (3ème édition, vol. 1-1). Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts.
- Lebourgeois, F. (2000, avril). Autécologie de quelques essences feuillues - Formation des Ingénieurs Forestiers 1ère année. ENGREF.
- Lebourgeois, F. (2007). Autécologie des principales essences forestières françaises. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts.
- Madrolles, F. et Reboul, J.-B. (2018). *Guide de choix des essences de Normandie*. CNPF délégation régionale de Normandie.
- Masson, G. (2005). *Autécologie des essences forestières* (vol. 1-2, vol. 2 Essences). Tec&Doc - Lavoisier.

Météo France. (2019a, 7 juillet). Données climatiques de la station de Besançon. *Météo et climat*.

Repéré à <http://www.meteofrance.com/climat/france/besancon/25056001/normales>

Météo France. (2019b, 7 juillet). Données climatiques de la station de Charleville-Mézières. *Météo et*

climat. Repéré à <http://www.meteofrance.com/climat/france/charleville->

[mezieres/08105005/normales](http://www.meteofrance.com/climat/france/charleville-mezieres/08105005/normales)

Météo France. (2019c, 7 juillet). Données climatiques de la station de Dijon. *Météo et climat*. Repéré

à <http://www.meteofrance.com/climat/france/dijon/21473001/normales>

Météo France. (2019d, 7 juillet). Données climatiques de la station de Langres. *Météo et climat*.

Repéré à <http://www.meteofrance.com/climat/france/langres/52269001/normales>

Ministère de l'Agriculture. Circulaire DERF/SDF/C2002-3020 du 18/10/2002 (2002).

Nageleisen, L.-M. (2017). Les problèmes phytosanitaires du cèdre en France, (174), 27- 31.

Nageleisen, L.-M., Goudet, M. et Saintonge, F.-X. (2017, décembre). Guide de notation simplifiée de

l'aspect du houppier des arbres forestiers dans un contexte de dépérissement (protocole

DEPERIS). Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

Nicloux, C. et Rameau, J.-C. (1986). *Typologie des stations forestières dans la forêt domaniale de*

Châtillon-sur-Seine.

Office National des Forêts - département recherche, développement et innovation. (2015).

Recensement de peuplements d'espèces introduites - enquête nationale.

Perrier, C., Gaudin, S. et Madesclaire, A. (2007). *Guide pour l'identification des stations et le choix des*

essences en Argonne. CFPPA de Croigny.

Piedallu, C., Gégout, J.-C., Lebourgeois, F. et Seynave, I. (2016). Soil aeration, water deficit, nitrogen

availability, acidity and temperature all contribute to shaping tree species distribution in

temperate forests.

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, (6), 567- 593.

- Rameau, J.-C. (1989). *Précatalogue des stations forestières de la Côte et Arrière Côte dijonnaise*.
- Reboul, J.-B., Sevrin, E. et Gauberville, C. (2012). *Valorisation des stations et des habitats forestiers - Guide de reconnaissance et de gestion pour la région Centre*. CRPF, Forêt privée française.
- Riou-Nivert, P. (2007). Climat propice pour le cèdre, (174), 12 - 13.
- Rondeux, J. (1999). *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Les presses agronomiques de Gembloux.
- San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T. et Mauri, A. (2016). *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxembourg : Publication Office of the European Union.
- Terrier, J. et Pillon, S. (2014). *Guide des stations forestières Plateau Picard, Vimeu, Picardie Verte*. CNPF.
- Toth, J. (2005). Régénération artificielle et naturelle. Dans *Le cèdre de France. Etude approfondie de l'espèce*. l'Harmattan.
- Vallet, P. et Perot, T. (2016). Tree diversity effect on dominante height in temperate forest, 381, 106 - 114.
- Van Lerberghe, P. (2007). Réussir un boisement en cèdre de l'Atlas, (174), 32 - 38.
- Vidal, C., Dumé, G., Virion, R., Bruno, E. et Seynave, I. (2004). La typologie des stations forestières, (4).
- Welsch, J. (1893). Explication d'une carte de la répartition des végétaux à la surface du globe. Dans *Annales de géographie, tome 2* (vol. 8, p. 417 - 428).

TABLE DES ANNEXES

1.	Comparaison de la prise en compte du changement climatique au sein des guides de stations.	62
2.	Base de données utilisée pour la pré-typologie climatique	65
3.	Pré-typologie climatique actuelle à l'échelle de la France	66
4.	Groupes écologiques (version 1 - juin 2019)	67
5.	Clés de détermination de station (version 1 juin 2019)	68
6.	Fiche de relevés tests	71
7.	Liste des espèces étudiées	74
8.	Tableau de comparaison des outils disponibles pour caractériser l'autécologie des essences....	75
9.	Description et critiques du tableau de synthèse autécologique.....	77
10.	Paramètres utilisés dans la modélisation de croissance en hauteur dominante.....	82
11.	Cartes de la croissance en hauteur dominante par essence.....	83
12.	Liste de la flore indicatrice de climats	86
13.	Distribution de la flore indicatrice de climats sur la SER C20 par climat.....	87
14.	Corrélation entre les axes factoriels de l'ACM et les variables climatiques.....	88
15.	Proposition de regroupement des climats par analyse de la distribution d'une flore indicatrice	89
16.	Caractéristiques climatiques des 12 climats de la SER.....	93
17.	Résultats cartographiques de l'analyse climatique.....	101
18.	Modélisation des potentielles évolutions climatiques.....	104
19.	Distribution des individus par climat sur les axes factoriels 1 et 2 de l'ACP de la pré-typologie climatique.....	108
20.	Fiches de description des US et leurs préconisations de choix d'essences (version 2 Août 2019)	109
21.	Fiche de relevés des mesures dendrométriques pour l'étude des potentialités de croissance du cèdre de l'Atlas.....	123

1. COMPARAISON DE LA PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU SEIN DES GUIDES DE STATIONS

		Ardenne ¹²	Plateau Picard ¹³	Argonne ¹⁴	Lorraine ¹⁵	Centre ¹⁶	Normandie ¹⁷	Belgique ¹⁸
Présentation changement climatique	Nombre de climats	1 actuel	1 actuel	1 actuel	1 actuel	2 actuels	3 actuels 2 futurs	10 actuels
	Critères distinctifs	/	/	/	/	2 variables bioclimatiques (précipitations annuelles et température moyenne annuelle)	1 variable bioclimatique (P-ETP)	Synthèse entre variables bioclimatiques, sensibilité des essences, territoires écologiques
	Carte climats actuels	/	/	/	/	Oui	Oui	Oui
	Carte climats futurs	/	/	/	/	Non	Oui	Non
	Évolution climat sur plusieurs pas de temps	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Oui (mais pas utilisé pour le choix des essences)	Non

¹² : Hubert et Pillon, 2015

¹³ : Terrier et Pillon, 2014

¹⁴ : Perrier *et al.*, 2007

¹⁵ : Gaudin *et al.*, 2016

¹⁶ : Reboul *et al.*, 2012

¹⁷ : Madrolles et Reboul, 2018

¹⁸ : Claessens *et al.*, 2017

	Présentation plusieurs scénarios	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Lecture choix d'essence	1er filtre	station	station	station	station	habitat	station	climat
	2ème filtre	/	/	/	/	variante	climat	station
Préconisation choix d'essence	Distinction essence majoritaire - accompagnement	principales - secondaires - accompagnement	principales - secondaires - accompagnement	principales - associées - accompagnement	principales - associées - accompagnement	Non	Non	Non
	Distinction essence autochtone - introduite	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
	Distinction pas de temps opération sylvicole	Non	Non	Court texte en amont	Court texte en amont	Oui	Oui	Non
	Représentation du choix d'essence	liste d'essences marquées d'une pastille de couleur selon le risque encouru face au changement climatique	liste d'essences marquées d'une pastille de couleur selon le risque encouru face au changement climatique	liste d'essences marquées d'une pastille de couleur selon le risque encouru face au changement climatique	liste d'essences marquées d'une pastille de couleur selon le risque encouru face au changement climatique	tableau (essences en fonction d'adaptation aux variantes)	tableau (essences en fonction d'adaptation aux climats)	tableau (degré d'adaptation hydro-trophique en fonction du degré d'adaptation climatique)

	Représentation du degré d'adaptation	• absence de pastille : aucun risque • pastille orange : risque lié au déficit hydrique • pastille bleue : risque lié à l'hydromorphie	• absence de pastille : aucun risque • pastille orange : risque lié au déficit hydrique • pastille bleue : risque lié à l'hydromorphie	• absence de pastille : aucun risque • pastille rose : risque potentiel • pastille rouge : risque réel	• absence de pastille : aucun risque • pastille rose : risque potentiel • pastille rouge : risque réel	• couleur ("en station", "limite de station", "hors station") pour peuplement en amélioration • symbole ("ne pas planter", "essence à favoriser ou conserver en mélange", "régénération ou boisement en plein") pour renouvellement	couleur ("essence en conditions optimales", "essence bien adaptée mais en pas en conditions optimales", "essence en limite de station", "essence hors station", "à ne pas introduire")	liste d'essences ("optimum", "tolérance", "tolérance élargie")
	Fiche essence	essences à problèmes sanitaires	essences à problèmes sanitaires	toutes	4 principales	Non	7 essences exotiques	toutes

2. BASE DE DONNÉES UTILISÉE POUR LA PRÉ-TYPOLOGIE CLIMATIQUE

Les données de base émanent de cartes raster spatialisant diverses variables climatiques « simples » au pas kilométrique (modèle Digitalis V2 (période 1981-2010), AgroParisTech LERFoB) :

- Températures moyennes, minimales et maximales (tm , tn et tx , moyennes mensuelles),
- Précipitations totales (pr , cumul mensuel),
- Rayonnement solaire (rd , cumul mensuel).

A partir de ces données mensuelles, trois variables supplémentaires ont été calculées :

- Evapotranspiration potentielle (ETP , cumul mensuel, calculé par la formule de Turc),
- Bilan hydrique climatique (BHC , cumul mensuel, $BHC = P - ETP$),
- Amplitude thermique ($ampli$, moyennes mensuelles, $Amplitude = T_{max} - T_{min}$).

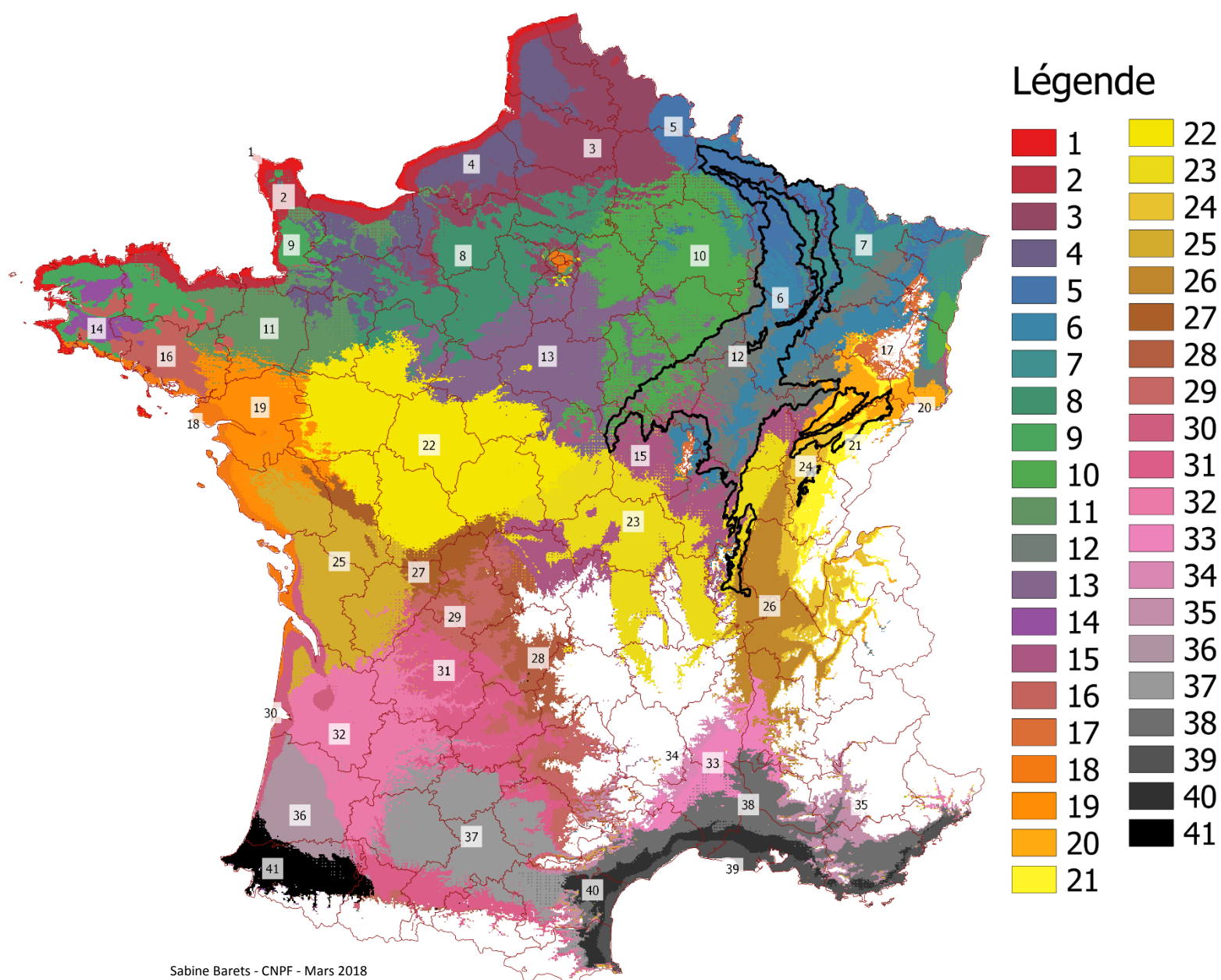
A la suite de cela, des regroupements de variables ont été réalisés afin d'obtenir des variables saisonnières (cumul ou moyenne par saison) :

- Année complète : de janvier à décembre,
- Saison de végétation : d'avril à octobre,
- Hiver : décembre, janvier, février
- Printemps : mars, avril, mai
- Été : juin, juillet, août
- Automne : septembre, octobre, novembre

Finalement, la base de données de référence comprend 467 286 points pour 72 variables.

Après croisement avec le modèle numérique de terrain (BD_alti de l'IGN au pas de 250 mètres), les données concernant des secteurs d'altitude supérieure à 650 mètres ont été écartées.

3. PRÉ-TYPOLOGIE CLIMATIQUE ACTUELLE À L'ÉCHELLE DE LA FRANCE



NB : Les zones en blanc sont celles d'altitude supérieure à 650 mètres.

4. GROUPES ÉCOLOGIQUES (VERSION 1 - JUIN 2019)

GE 1 : Xérocalcaricoles

<i>Carex humilis</i>	Laiche humble
<i>Anthericum ramosum</i>	Phalangère rameuse
<i>Buglossoides purpureoaeerulea</i>	Grémil pourpre-bleu
<i>Bupleurum falcatum</i>	Buplèvre en faux
<i>Cervaria rivini</i>	Peucedan des cerfs
<i>Coronilla coronata</i>	Coronille des Montagnes
<i>Frangula alnus</i> •	Bourdaine •
<i>Geranium sanguineum</i>	Géranium sanguin
<i>Helleborus foetidus</i>	Hellébore fétide
<i>Melampyrum pratense</i> •	Mélampyre des prés •
<i>Melica nutans</i>	Mélisse penchée
<i>Melittis melissophyllum</i>	Mélisse à feuille de mélisse
<i>Polygonatum odoratum</i>	Sceau de Salomon odorant
<i>Prunus mahaleb</i>	Cerisier de Sainte Lucie
<i>Quercus pubescens</i>	Chêne pubescent
<i>Rubia peregrina</i>	Garance voyageuse
<i>Rubus saxatilis</i>	Ronce des rochers
<i>Ruscus aculeatus</i>	Fragon
<i>Sesleria caerulea</i>	Seslérie bleue
<i>Teucrium chamaedrys</i>	Germandrée petit-chêne
<i>Teucrium scorodonia</i> •	Germandrée scorodone •
<i>Vincetoxicum hirsutiflorum</i>	Dompte-venin

GE 2 : Calcaricoles

<i>Anemone hepatica</i>	Anémone hépatique
<i>Carex alba</i>	Laiche blanche
<i>Carex digitata</i>	Laiche digitée
<i>Clematis vitalba</i>	Clématite
<i>Cornus mas</i>	Cornouiller mâle
<i>Orchis mascula</i>	Orchis mâle
<i>Primula veris</i>	Primevère officinale
<i>Viburnum lantana</i>	Viorne lantane

GE 3 : Calcicoles

<i>Asarum europaeum</i>	Asarum d'Europe
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	Brachypode des bois
<i>Campanula trachelium</i>	Campanule gantelée
<i>Carex flacca</i>	Laiche glauque
<i>Carex montana</i>	Laiche des montagnes
<i>Cornus sanguinea</i>	Cornouiller sanguin
<i>Cyanus montanus</i>	Centaurée des montagnes
<i>Daphne laureola</i>	Lauréole
<i>Daphne mezereum</i>	Bois-joli
<i>Digitalis lutea</i>	Digitale jaune
<i>Dioscorea communis</i>	Tamier commun
<i>Euonymus europaeus</i>	Fusain
<i>Hordelymus europaeus</i>	Orge d'Europe
<i>Lathyrus vernus</i>	Gesse printanière
<i>Ligustrum vulgare</i>	Troène
<i>Lonicera xylosteum</i>	Camerisier
<i>Mercurialis perennis</i>	Mercuriale pérenne
<i>Rhamnus cathartica</i>	Nerprun purgatif
<i>Ribes alpinum</i>	Grosellier des Alpes

Autres remarques :

GE 4 : Neutronitroclines

<i>Ajuga reptans</i>	Bugle rampante
<i>Aquilegia vulgaris</i>	Ancolie
<i>Arum maculatum</i>	Goutte tacheté
<i>Euphorbia dulcis</i>	Euphorbe douce
<i>Geum urbanum</i>	Benoite urbaine
<i>Loncomelos pyrenaicus</i>	Ornithogale des Pyrénées
<i>Neottia ovata</i>	Listère à feuilles ovales
<i>Paris quadrifolia</i>	Parisettes
<i>Phyteuma spicatum</i>	Raiponce en épi
<i>Primula elatior</i>	Primevère élevée
<i>Ranunculus repens</i>	Renoncule des bois
<i>Sanicula europaea</i>	Sanicle d'Europe
<i>Scilla bifolia</i>	Scille à deux feuilles
<i>Veronica chamaedrys</i>	Véronique petit chêne

GE 5 : Neutronitrophiles hygroclines

<i>Adoxa moschatellina</i>	Moschatelline
<i>Aegopodium podagraria</i>	Podagraire
<i>Alliaria petiolata</i>	Alliaire officinale
<i>Allium ursinum</i>	Ail des ours
<i>Anemone ranunculoides</i>	Anémone fausse renoncule
<i>Cardamine pratensis</i>	Cardamine des prés
<i>Corydalis sp.</i>	Corydalis
<i>Ficaria verna</i>	Ficaire
<i>Galium aparine</i>	Gaillet gratteron
<i>Geranium robertianum</i>	Géranium herbe à Robert
<i>Glechoma hederacea</i>	Gléchome - Lierre terrestre
<i>Hieracium sphondylium</i>	Grande berce
<i>Lamium maculatum</i>	Lamier maculé
<i>Plagiomnium undulatum</i>	Mnie ondulée
<i>Ranunculus auricomus</i>	Renoncule tête d'or
<i>Ribes rubrum</i>	Grosellier rouge
<i>Ribes uva-crispa</i>	Grosellier épineux
<i>Sambucus nigra</i>	Sureau noir
<i>Schedonorus giganteus</i>	Fétuque géante
<i>Silene dioica</i>	Compagnon rouge
<i>Stachys sylvatica</i>	Épiaire des bois
<i>Urtica dioica</i>	Ortie

GE 6 : Espèces à large amplitude trophique

<i>Betonica officinalis</i>	Bétoine - Epiaire officinale
<i>Carex sylvatica</i>	Laiche des bois
<i>Dryopteris filix-mas</i>	Fougère mâle
<i>Epipactis helleborine</i>	Épipactis à large feuilles
<i>Euphorbia amygdaloides</i>	Euphorbe des bois
<i>Galium odoratum</i>	Aspérule odorante
<i>Lamium galeobdolon</i>	Lamier jaune
<i>Melica uniflora</i>	Mélisse uniflore
<i>Neottia nidus-avis</i>	Néottie nid-d'oiseau
<i>Poa nemoralis</i>	Pâturin des bois
<i>Polygonatum multiflorum</i>	Sceau de Salomon multiflore
<i>Potentilla sterilis</i>	Potentille faux fraisier
<i>Stellaria holostea</i>	Stellaire holostée

GE 7 : Acidiclines (de null mésotrophe)

<i>Athyrium filix-femina</i>	Fougère femelle
<i>Atrichum undulatum</i>	Atrichie ondulée
<i>Carex pallescens</i>	Laiche pâle
<i>Circaea lutetiana</i>	Circée de Paris
<i>Deschampsia cespitosa</i>	Canche cespiteuse
<i>Dryopteris carthusiana</i>	Fougère spinuleuse
<i>Epipactis purpurata</i>	Epipactis pourpre
<i>Galeopsis tetrahit</i>	Galeopsis tétrahit
<i>Luzula pilosa</i>	Luzule poilue
<i>Lysimachia nemorum</i>	Lysimaque des bois
<i>Milium effusum</i>	Millet diffus
<i>Oxalis acetosella</i>	Oxalis petite oseille
<i>Poa chaixii</i>	Pâturin de Chaix
<i>Scrophularia nodosa</i>	Scrofoulaire noueuse
<i>Veronica montana</i>	Véronique des montagnes

GE 8 : Acidiphiles

<i>Carex pilulifera</i>	Laiche à pilules
<i>Crataegus germanica</i>	Néflier
<i>Hypericum pulchrum</i>	Millepertuis élégant
<i>Lonicera periclymenum</i>	Chèvrefeuille
<i>Luzula luzuloides</i>	Luzule blanchâtre
<i>Luzula sylvatica</i>	Luzule des bois
<i>Maianthemum bifolium</i> •	Maianthemum à deux feuilles •
<i>Melampyrum pratense</i> •	Mélampyre des prés •
<i>Polytrichum formosum</i>	Polytrich élegant
<i>Pteridium aquilinum</i>	Fougère aigle
<i>Teucrium scorodonia</i> •	Germandrée scorodone •
<i>Veronica officinalis</i>	Véronique officinale

GE 9 : Hyperacidiphiles (de dysmoder ou de mor)

<i>Avenella flexuosa</i>	Canche flexueuse
<i>Calluna vulgaris</i>	Callune
<i>Dicranum scoparium</i>	Dicrane en balai
<i>Leucobryum glaucum</i>	Leucobryum glauque
<i>Molinia caerulea</i> •	Molinie bleue •
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Myrtille

GE 10 : Hygrosciaphiles

<i>Actaea spicata</i>	Actée en épi
<i>Asplenium scolopendrium</i>	Scolopendre
<i>Cardamine heptaphylla</i>	Dentaire pennée
<i>Cardamine impatiens</i>	Cardamine impatiante
<i>Gymnocarpium robertianum</i>	Polypode du calcaire
<i>Lunaria rediviva</i>	Lunaire vivace
<i>Polystichum aculeatum</i>	Polystic à aiguillons
<i>Ranunculus platanifolius</i>	Renoncule à feuilles de platane
<i>Sambucus racemosa</i>	Sureau à grappes
<i>Ulmus glabra</i>	Orme des montagnes

GE 11 : Mésophylophiles

<i>Ainus glutinosa</i>	Aulne glutineux
<i>Angelica sylvestris</i>	Angélique des bois
<i>Carex pendula</i>	Laiche penchée
<i>Carex remota</i>	Laiche espacée
<i>Chrysosplenium sp.</i>	Dorines
<i>Cirsium oleraceum</i>	Cirse maraîcher
<i>Equisetum hyemale</i>	Prêle d'hiver
<i>Equisetum telmateia</i>	Prêle géante
<i>Eupatorium cannabinum</i>	Eupatoire chanvrine
<i>Filipendula ulmaria</i>	Reine des prés
<i>Humulus lupulus</i>	Houblon
<i>Rubus caesius</i>	Ronce bleue
<i>Solanum dulcamara</i>	Morelle douce amère
<i>Valeriana officinalis sambucifolia</i>	Valériane officinale rampante

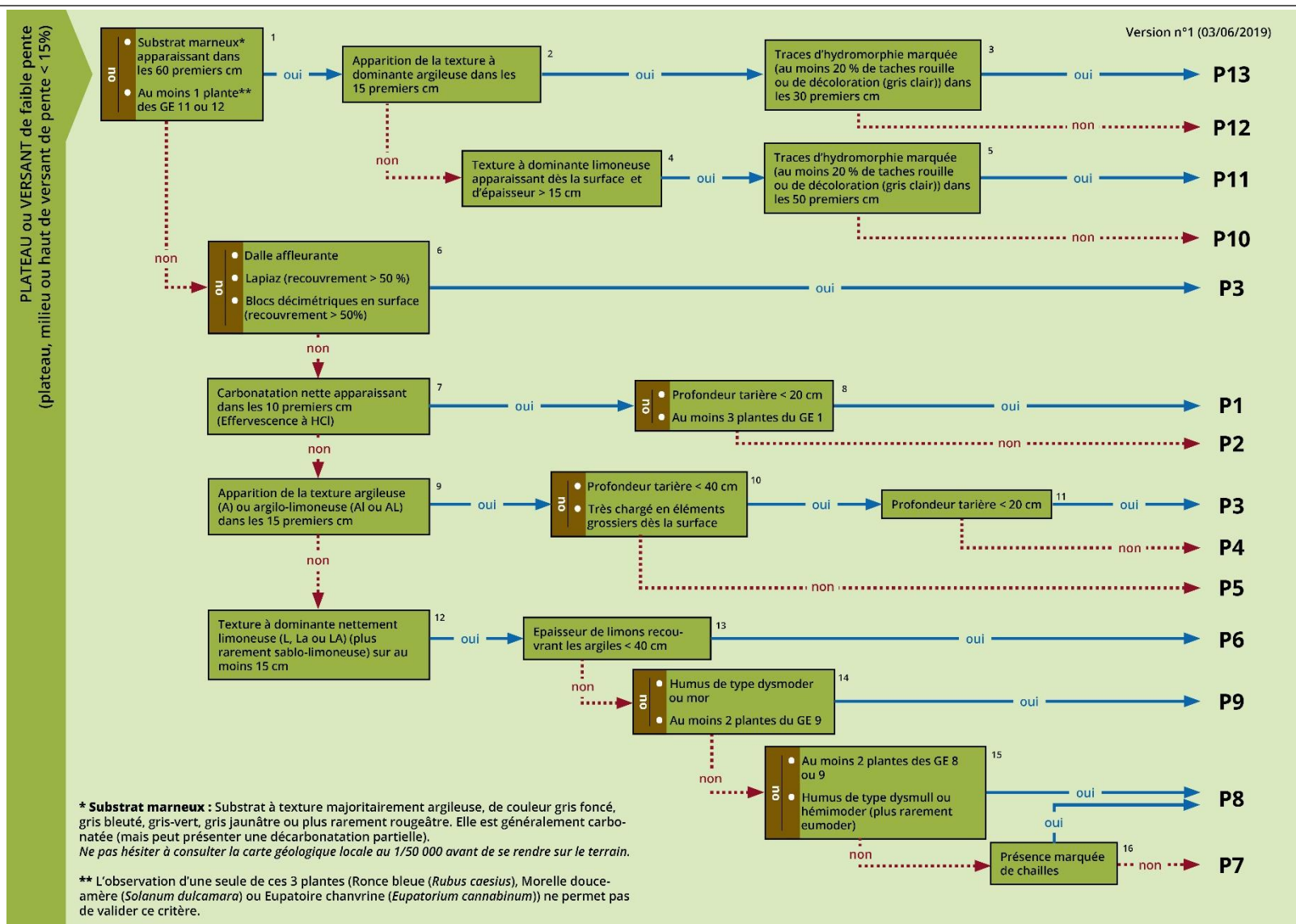
GE 12 : Hygrophiles

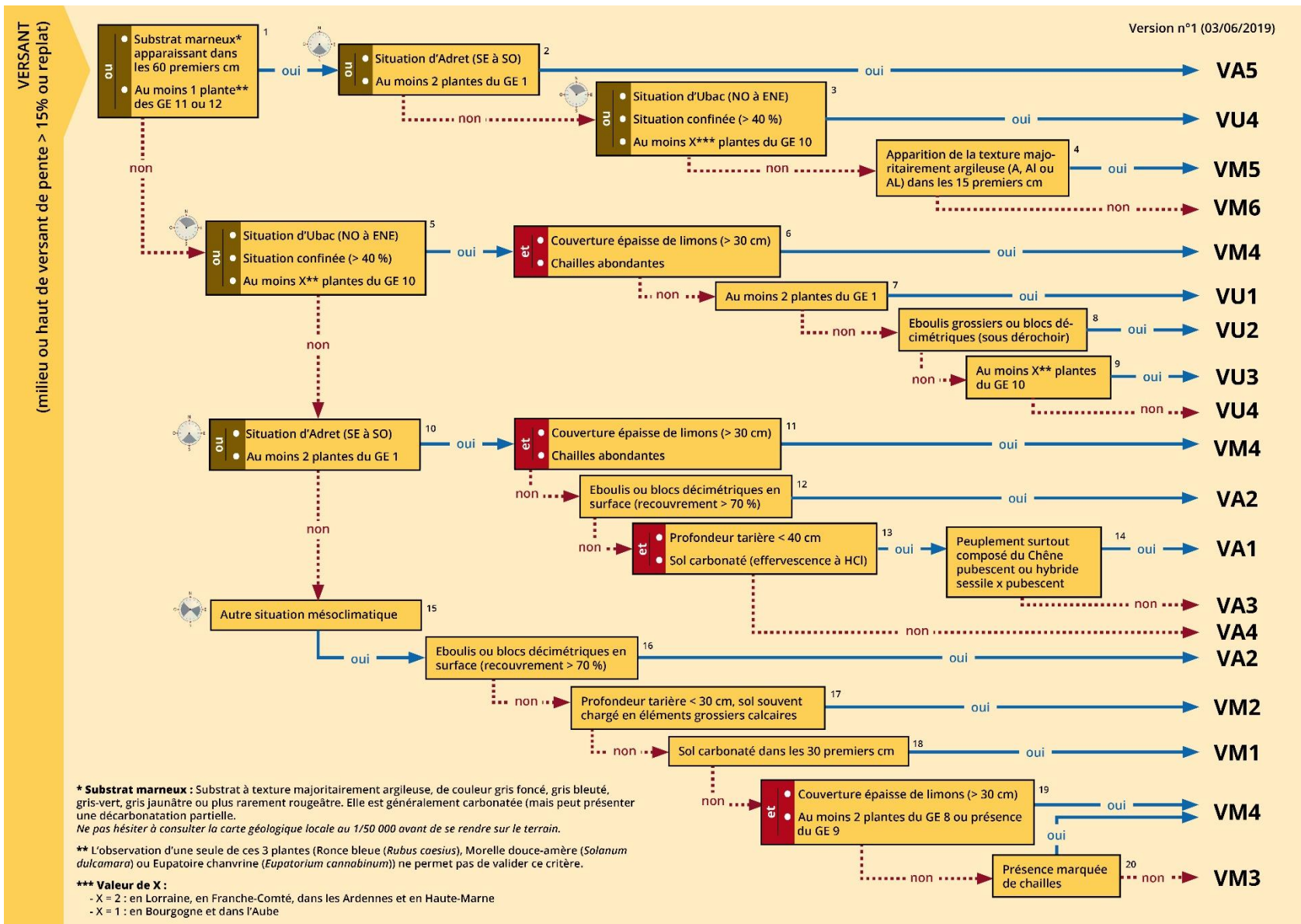
<i>Caltha palustris</i>	Populage des marais
<i>Carex acutiformis</i>	Laiche des marais
<i>Galium palustre</i>	Gaillat des marais
<i>Iris pseudacorus</i>	Iris faux acore
<i>Lysimachia vulgaris</i>	Lysimaque commune

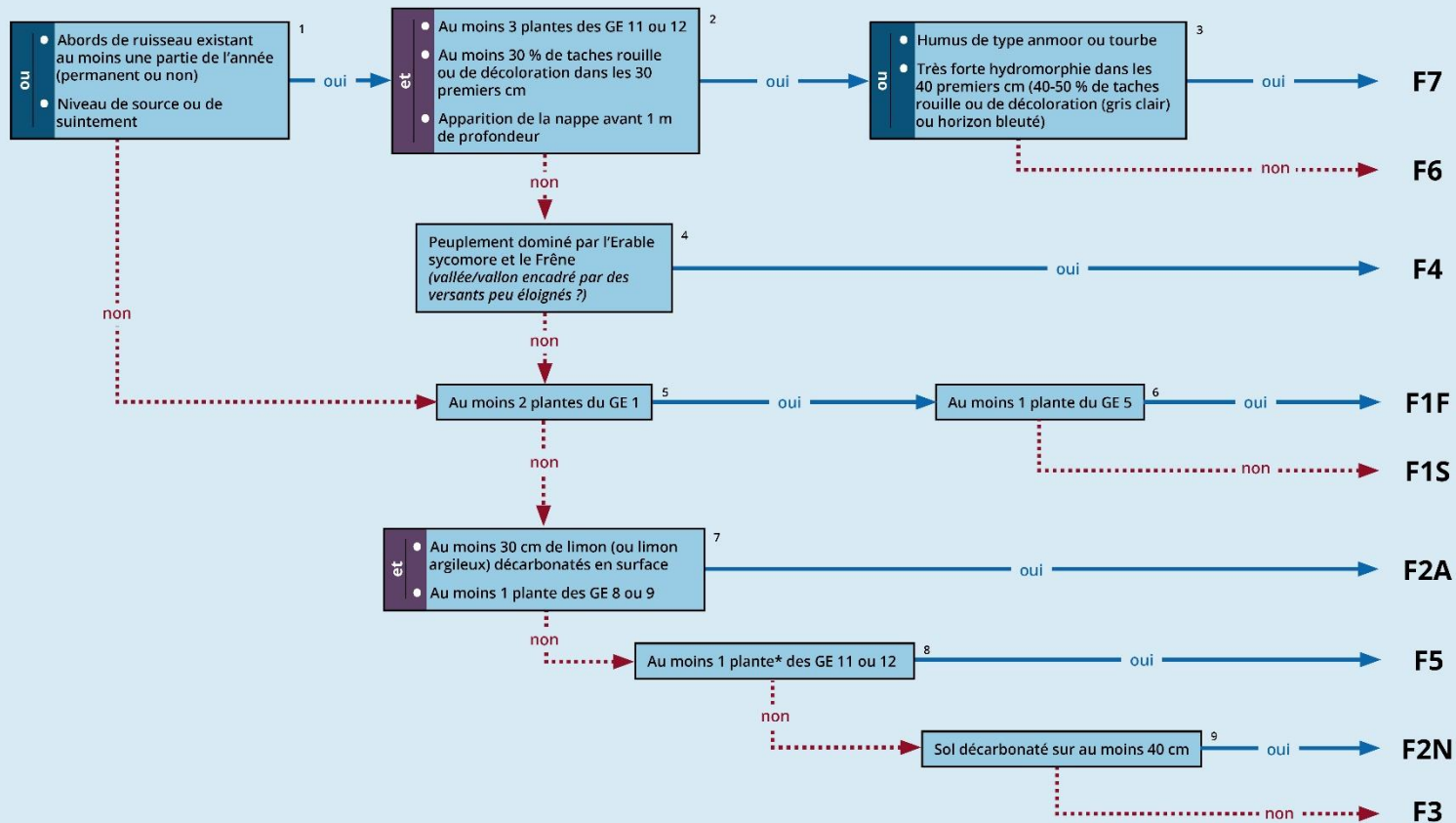
Remarque : si certains groupes écologiques vous semblent incomplets ou que vous estimez que certaines plantes doivent être éliminées des groupes, vous pouvez nous en faire part ci-dessous.

Plantes à supprimer	Pourquoi ?	GE	Plantes à ajouter

5. CLÉS DE DÉTERMINATION DE STATION (VERSION 1 JUIN 2019)







* L'observation d'une seule de ces 3 plantes (Ronce bleue (*Rubus caesius*), Morelle douce-amère (*Solanum dulcamara*) ou Eupatoire chanvrine (*Eupatorium cannabinum*)) ne permet pas de valider ce critère.

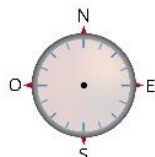
6. FICHE DE RELEVÉS TESTS

Nom et prénom : Numéro du relevé :

Organisme : Date du relevé :

Situation topographique et exposition

Exposition :
(indiquer par une flèche)



Topographie :

(cocher la/les cases correspondantes et, s'il y a lieu, mesurer la pente et le confinement)

- | | |
|--|---|
| ☐ 1 Plateau | ☐ 5 Mi versant |
| ☐ 2 Dépression | ☐ 6 Bas de versant |
| ☐ 3 Replat | ☐ 7 Vallée |
| ☐ 4 Haut de versant | ☐ 8 Vallon |

Localisation

Département :

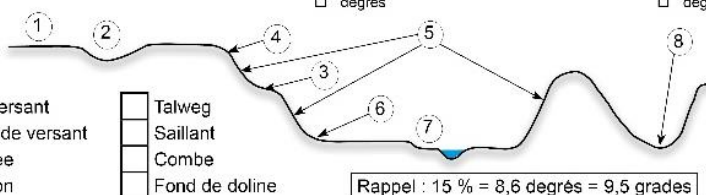
Système de coordonnées :

X : Y :

Commune :

Pente : ☐ grades ☐ % ☐ degrés

Confinement : ☐ grades ☐ % ☐ degrés



Description du sol

Substrat : ☐ Calcaire ☐ Marne

Nombre de sondages réalisés : ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Cause d'arrêt des sondages :

Type d'humus :

Présence d'éléments grossiers en surface ? ☐ Oui ☐ Non

Nature (éboulis, cailloux...) : Recouvrement :%

Outils utilisés pour le sondage : ☐ Tarière ☐ Pioche ☐ Pioche + Tarière ☐ Observation sur chablis

Sondage le plus profond : 0 cm	Texture	Effervescence HCl	Couleur	Eléments grossiers			Hydromorphie			
				Nature	Classe Taille	Classe Quantité	TR	TD	Bleuté ou réduit	Nappe
10										
20										
30										
40										
50										
60										
70										
80										
90										
100										

En cas de transition continue de texture, l'indiquer par une flèche entre les 2 textures.

S'il y a lieu, indiquer un changement brutal de compacité (plancher argileux).

Symboles de distinction des horizons : — Fin du sondage / — Changement d'horizon / - - - Changement d'outil

Relevé floristique (Indiquer la classe d'abondance simplifiée pour chaque espèce rencontrée)

Classes d'abondance simplifiées :
 1 : 1-2 individus, espèce très peu abondante
 2 : Espèce bien présente, abondance moyenne
 3 : Tapis recouvrant, espèce très abondante

GE 1 : Xérocalcaricoles	
<i>Carex humilis</i>	Laîche humble
<i>Anthericum ramosum</i>	Phalangère rameuse
<i>Buglossoides purpurocaerulea</i>	Grémil pourpre-bleu
<i>Bupleurum falcatum</i>	Buplèvre en faux
<i>Cervaria rivini</i>	Peucedan des cerfs
<i>Coronilla coronata</i>	Coronille des Montagnes
<i>Frangula alnus</i> *	Bourdaine *
<i>Geranium sanguineum</i>	Géranium sanguin
<i>Helleborus foetidus</i>	Hellébore fétide
<i>Melampyrum pratense</i> *	Mélampyre des prés *
<i>Melica nutans</i>	Mélisse penchée
<i>Melittis melissophyllum</i>	Mélitte à feuille de mélisse
<i>Polygonatum odoratum</i>	Sceau de Salomon odorant
<i>Prunus mahaleb</i>	Cerisier de Sainte Lucie
<i>Quercus pubescens</i>	Chêne pubescent
<i>Rubia peregrina</i>	Garance voyageuse
<i>Rubus saxatilis</i>	Ronce des rochers
<i>Ruscus aculeatus</i>	Fragon
<i>Sesleria caerulea</i>	Seslérie bleue
<i>Teucrium chamaedrys</i>	Germandrée petit-chêne
<i>Teucrium scorodonia</i> *	Germandrée scorodone *
<i>Vincetoxicum hircundinaria</i>	Dompte-venin

GE 2 : Calcaricoles	
<i>Anemone hepatica</i>	Anémone hépatique
<i>Carex alba</i>	Laîche blanche
<i>Carex digitata</i>	Laîche digitée
<i>Clematis vitalba</i>	Clématite
<i>Cornus mas</i>	Cornouiller mâle
<i>Orchis mascula</i>	Orchis mâle
<i>Primula veris</i>	Primevère officinale
<i>Viburnum lantana</i>	Viome lantane

GE 3 : Calcicoles	
<i>Asarum europaeum</i>	Asaret d'Europe
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	Brachypode des bois
<i>Campanula trachelium</i>	Campanule gantelée
<i>Carex flacca</i>	Laïche glauque
<i>Carex montana</i>	Laïche des montagnes
<i>Cornus sanguinea</i>	Comouillier sanguin
<i>Cyanus montanus</i>	Centaurée des montagnes
<i>Daphne laureola</i>	Lauréole
<i>Daphne mezereum</i>	Bois-joli
<i>Digitalis lutea</i>	Digitale jaune
<i>Dioscorea communis</i>	Tamier commun
<i>Euronymus europaeus</i>	Fusain
<i>Hordelymus europaeus</i>	Orge d'Europe
<i>Lathyrus vernus</i>	Gesse printanière
<i>Ligustrum vulgare</i>	Troëne
<i>Lonicera xylosteum</i>	Camerisier
<i>Mercurialis perennis</i>	Mercuriale pérenne
<i>Rhamnus cathartica</i>	Nerprun purgatif
<i>Ribes alpinum</i>	Groseiller des Alpes

En cas de doute sur la reconnaissance d'une plante, l'indiquer par un "?" à côté du nom de la plante.

Le nom des plantes bimodales (présentes dans les situations les plus extrêmes) est suivi d'un •.

GE 4 : Neuronitroclines	
<i>Ajuga reptans</i>	Bugle rampante
<i>Aquilegia vulgaris</i>	Ancolie
<i>Arum maculatum</i>	Goutet tacheté
<i>Euphorbia dulcis</i>	Euphorbe douce
<i>Geum urbanum</i>	Benoîte urbaine
<i>Loncomelos pyrenaicus</i>	Ornithogale des Pyrénées
<i>Neottia ovata</i>	Listère à feuilles ovales
<i>Paris quadrifolia</i>	Parisette
<i>Phyteuma spicatum</i>	Raiponce en épi
<i>Primula elatior</i>	Primevère élevée
<i>Ranunculus serpens</i>	Renoncule des bois
<i>Sanicula europaea</i>	Sanicle d'Europe
<i>Scilla bifolia</i>	Scille à deux feuilles
<i>Veronica chamaedrys</i>	Véronique petit chène

GE 5 : Neutronitrophiles hygroclines	
<i>Adoxa moschatellina</i>	Moschatelline
<i>Aegopodium podagraria</i>	Podagraire
<i>Alliaria petiolata</i>	Alliaire officinale
<i>Allium ursinum</i>	Ail des ours
<i>Anemone ranunculoides</i>	Anémone fausse renoncule
<i>Cardamine pratensis</i>	Cardamine des prés
<i>Corydalis sp.</i>	Corydalis
<i>Ficaria verna</i>	Ficaire
<i>Galium aparine</i>	Gailliet gratteron
<i>Geranium robertianum</i>	Géranium herbe à Robert
<i>Glechoma hederacea</i>	Gléchoine - Lierre terrestre
<i>Heracleum sphondylium</i>	Grande berce
<i>Lamium maculatum</i>	Lamier maculé
<i>Plagiomnium undulatum</i>	Mnie ondulée
<i>Ranunculus auricomus</i>	Renoncule tête d'or
<i>Ribes rubrum</i>	Grosellier rouge
<i>Ribes uva-crispa</i>	Grosellier épineux
<i>Sambucus nigra</i>	Sureau noir
<i>Schedonorus giganteus</i>	Fétuque géante
<i>Silene dioica</i>	Compagnon rouge
<i>Stachys sylvatica</i>	Épiaire des bois
<i>Urtica dioica</i>	Ortie

GE 6 : Espèces à large amplitude trophique	
<i>Betonica officinalis</i>	Bétoine - Epiaire officinale
<i>Carex sylvatica</i>	Laîche des bois
<i>Dryopteris filix-mas</i>	Fougère mâle
<i>Epipactis helleborine</i>	Épipactis à large feuilles
<i>Euphorbia amygdaloides</i>	Euphorbe des bois
<i>Galium odoratum</i>	Aspérule odorante
<i>Lamium galeobdolon</i>	Lamier jaune
<i>Melica uniflora</i>	Mélisse uniflore
<i>Neottia nidus-avis</i>	Néottie nid-d'oiseau
<i>Poa nemoralis</i>	Pâturin des bois
<i>Polygonatum multiflorum</i>	Sceau de Salomon multiflore
<i>Potentilla sterilis</i>	Potentille faux fraisier
<i>Stellaria holostea</i>	Stellaire holostée

GE 7 : Acidiclines (de null mésotrope)	
<i>Athyrium filix-femina</i>	Fougère femelle
<i>Atrichum undulatum</i>	Atrichie ondulée
<i>Carex pallescens</i>	Laîche pâle
<i>Circaea lutetiana</i>	Circée de Paris
<i>Deschampsia cespitosa</i>	Canche cespiteuse
<i>Dryopteris carthusiana</i>	Fougère spinuleuse
<i>Epipactis purpurata</i>	Epipactis pourpre
<i>Galeopsis tetrahit</i>	Galeopsis tétrahit
<i>Luzula pilosa</i>	Luzule poilue
<i>Lysimachia nemorum</i>	Lysimaque des bois
<i>Milium effusum</i>	Millet diffus
<i>Oxalis acetosella</i>	Oxalis petite oseille
<i>Poa chaixii</i>	Pâturin de Chaix
<i>Scrophularia nodosa</i>	Scrofulaire noueuse
<i>Veronica montana</i>	Véronique des montagnes

GE 8 : Acidiphiles	
<i>Carex pilulifera</i>	Laîche à pilules
<i>Crataegus germanica</i>	Néflier
<i>Hypericum pulchrum</i>	Millepertuis élégant
<i>Lonicera periclymenum</i>	Chèvrefeuille
<i>Luzula luzuloides</i>	Luzule blanchâtre
<i>Luzula sylvatica</i>	Luzule des bois
<i>Maianthemum bifolium</i> •	Maianthème à deux feuilles •
<i>Melampyrum pratense</i> •	Mélampyre des prés •
<i>Polytrichum formosum</i>	Polytric élégant
<i>Pteridium aquilinum</i>	Fougère aigle
<i>Teucrium scorodonia</i> •	Germadrée scorodaine •
<i>Veronica officinalis</i>	Véronique officinale

GE 9 : Hyperacidiphiles (de dysmoder ou de mor)	
<i>Avenella flexuosa</i>	Canche flexueuse
<i>Calluna vulgaris</i>	Callune
<i>Dicranum scoparium</i>	Dicrane en balai
<i>Leucobryum glaucum</i>	Leucobryum glauque
<i>Molinia caerulea</i> *	Molinie bleue *
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Myrtille

Si certains groupes écologiques vous semblent incomplets ou que vous estimez que certaines plantes doivent être éliminées des groupes, vous pouvez nous en faire part dans la partie consacrée aux remarques dans l'item "Groupes écologiques" du guide de stations.

Composition du peuplement A : Ligneux de hauteur > 8 m / a : Ligneux de hauteur 1 - 8 m / s : régénération basse < 1m

[illegible]

GE 10 : Hygrosciaphiles	
<i>Actaea spicata</i>	Actée en épi
<i>Asplenium scolopendrium</i>	Scolopendre
<i>Cardamine heptaphylla</i>	Dentaire pennée
<i>Cardamine impatiens</i>	Cardamine impatiente
<i>Gymnocarpium robertianum</i>	Polypode du calcaire
<i>Lunaria rediviva</i>	Lunaire vivace
<i>Polystichum aculeatum</i>	Polystic à aiguillons
<i>Ranunculus platanifolius</i>	Renoncule à feuilles de platane
<i>Sambucus racemosa</i>	Sureau à grappes
<i>Ulmus glabra</i>	Orme des montagnes

GE 11 : Mésophylophiles	
<i>Ainus glutinosa</i>	Aulne glutineux
<i>Angelica sylvestris</i>	Angélique des bois
<i>Carex pendula</i>	Laiche penchée
<i>Carex remota</i>	Laiche espacée
<i>Chrysosplenium</i> sp.	Dorines
<i>Cirsium oleraceum</i>	Cirse maraîcher
<i>Equisetum hyemale</i>	Prêle d'hiver
<i>Equisetum telmateia</i>	Prêle géante
<i>Eupatorium cannabinum</i>	Eupatoire chanvrine
<i>Fillipendula ulmaria</i>	Reine des prés
<i>Humulus lupulus</i>	Houblon
<i>Rubus caesius</i>	Ronce bleue
<i>Solanum dulcamara</i>	Morelle douce amère
<i>Valeriana officinalis sambucifolia</i>	Valériane officinale rampante

GE 12 : Hygrophilies		
	<i>Calltha palustris</i>	Populage des marais
	<i>Carex acutiformis</i>	Laïche des marais
	<i>Galium palustre</i>	Gaillet des marais
	<i>Iris pseudacorus</i>	Iris faux acore
	<i>Lysimachia vulgaris</i>	Lysimaque commune

[illegible]

Observations (allure du peuplement, ...) :

[illegible]

1. Diagnostic

Avez-vous eu des hésitations lors du diagnostic ?

☐ Oui ☐ Non

Si OUI, est-ce que cela concernait :

- ☐ La topographie (cas non repertorié, distinction versant/replat...) ? Préciser :
- ☐ La description du sol :
 - ☐ Détermination de l'humus ? Préciser :
 - ☐ Détermination de texture ? Préciser :
 - ☐ Identification du substrat ? Préciser :
 - ☐ Diagnostic de l'hydromorphie ? Préciser :
- ☐ La description du peuplement ? Préciser :
- ☐ L'inventaire floristique (problèmes d'identification) ?

2. Utilisation de la clé de détermination (sans recours aux fiches descriptives des US)

Aboutissez-vous à une US à l'aide de la clé ?

N° version clé :

☐ Oui : US N° version : ☐ Non

Si NON, pourquoi ?

Avez-vous eu des hésitations lors de l'utilisation de la clé ?

☐ Oui ☐ Non

Si OUI, quel(s) critère(s) ont posé problème et pour quelle(s) raison(s) ?

- Critère n° Problème rencontré :
- Critère n° Problème rencontré :
- Critère n° Problème rencontré :
- Critère n° Problème rencontré :

Merci de préciser si les problèmes rencontrés lors de l'utilisation sont liés à un problème de compréhension ou de clarté des critères, à un problème de diagnostic (manque d'information pour répondre à un critère), etc.

3. Description de la station – cohérence avec la situation

La description de l'US est-elle globalement cohérente avec ce que vous observez ?

☐ Oui ☐ Non

Si NON, consultez les confusions possibles indiqués dans la fiche de l'US et vérifiez si une des US proposées convient mieux.

☐ Pas de critère de confusion

Aboutissez-vous à une US cohérente avec ce que vous observez ?

☐ Oui : US N° version : ☐ Non

Si NON, existe-t-il une US qui convient mieux dans le guide ?

☐ Oui : US N° version : ☐ Non

Reste-t-il dans cette US des caractéristiques incohérentes avec ce que vous observez ? Préciser :

Pensez-vous qu'il soit nécessaire de créer une nouvelle US correspondante à ce que vous observez ? ☐ Oui ☐ Non

Choix d'essences

Les choix d'essences proposés sont-ils cohérents avec ce que vous observez ou avec votre expertise ?

☐ Oui ☐ Non

Si NON, pourquoi ?

- Faut-il ajouter des essences ? Préciser :
- Faut-il supprimer des essences ? Préciser :

Catalogue local (facultatif)

Si vous utilisez un catalogue ou un guide de stations local, lequel est-ce ?

☐ BB-70 ☐ BB-39 ☐ R-21 ☐ D-Bourg. ☐ DR-52 ☐ M-55 ☐ G-08 ☐ B-Lorr. ☐ NR-Chât.

☐ Autre :

Aboutissez-vous à un type de station à l'aide de ce catalogue ?

☐ Oui US ☐ Non

La description de cette station (catalogue) est-elle cohérente avec ce que vous observez ?

☐ Oui ☐ Non

Est-ce cohérent avec la correspondance indiquée dans la fiche de l'US ?

☐ Catalogue non proposé ☐ Oui ☐ Non

S'il y a des incohérences, quelles sont-elles ? Préciser :

Autres remarques ou suggestions :

*Merci de renvoyer cette fiche complétée à : Sabine BARETS - CRPF Grand Est
Maison régionale de la Forêt et du Bois / Route de Suippes / 51000 Châlons-en-Champagne*

Merci de votre participation ! :-)

7. LISTE DES ESPÈCES ÉTUDIÉES

Nom latin	Nom français	Nom latin	Nom français	Nom latin	Nom français
<i>Abies alba</i>	Sapin pectiné	<i>Juglans nigra</i>	Noyer noir	<i>Quercus petraea</i>	Chêne sessile
<i>Abies nordmanniana</i> subsp. <i>Nordmanniana</i>	Sapin de Nordmann	<i>Juglans x intermedia</i>	Noyer hybride	<i>Quercus pubescens</i>	Chêne pubescent
Sapins méditerranéens ¹⁹		<i>Larix decidua</i>	Mélèze d'Europe	<i>Quercus robur</i>	Chêne pédonculé
<i>Acer Campestre</i>	Erable champêtre	<i>Larix eurolepis</i>	Mélèze hybride	<i>Quercus rubra</i>	Chêne rouge
<i>Acer platanoïdes</i>	Erable plane	<i>Larix japonica</i>	Mélèze du Japon	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinier faux acacia
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Erable sycomore	<i>Malus sylvestris</i>	Pommier commun	<i>Sequoia sempervirens</i>	Sequoia toujours vert
<i>Acer monspessulanum</i>	Erable de Montpellier	<i>Picea abies</i>	Epicéa commun	<i>Sorbus aria</i>	Alisier blanc
<i>Acer opalus</i>	Erable à feuilles d'obier	<i>Picea sitchensis</i>	Epicéa de Sitka	<i>Sorbus aucuparia</i>	Sorbier des oiseleurs
<i>Alnus glutinosa</i>	Aulne glutineux	<i>Pinus halepensis</i>	Pin d'Alep	<i>Sorbus domestica</i>	Cormier
<i>Betula pendula</i>	Bouleau verruqueux	<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>Nigra</i>	Pin noir d'Autriche	<i>Sorbus torminalis</i>	Alisier torminal
<i>Betula pubescens</i>	Bouleau pubescent	<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>Laricio</i> var. <i>corsica</i>	Pin laricio de Corse	<i>Thuja plicata</i>	Thuja géant
<i>Carpinus betulus</i>	Charme	<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>Laricio</i> var. <i>calabrica</i>	Pin laricio de Calabre	<i>Tilia cordata</i>	Tilleul à petites feuilles
<i>Castanea sativa</i>	Châtaignier	<i>Pinus pinaster</i>	Pin maritime	<i>Tilia platyphyllos</i>	Tilleul à grandes feuilles
<i>Cedrus atlantica</i>	Cèdre de l'Atlas	<i>Pinus sylvestris</i>	Pin sylvestre	<i>Tsuga heterophylla</i>	Tsuga hétérophylle
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	Cyprés de Lawson	<i>Pyrus communis</i>	Poirier commun	<i>Ulmus glabra</i>	Orme de montagne
<i>Fagus sylvatica</i>	Hêtre	<i>Populus tremula</i>	Tremble	<i>Ulmus laevis</i>	Orme lisse
<i>Fraxinus angustifolia</i>	Frêne oxyphylle	<i>Prunus avium</i>	Merisier	<i>Ulmus minor</i>	Orme champêtre
<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Douglas vert		
<i>Juglans regia</i>	Noyer commun	<i>Quercus cerris</i>	Chêne chevelu		

¹⁹ Sapins méditerranéens : *Abies pinsapo* var. *pinsapo*, *pinsapo* var. *marocana*, *numidica*, *nebrodensis*, *borisii-regis*, *cephalonica*, *nordmanniana* subsp. *equi-trojani*, *cilicica*

En rouge : espèce non préconisée par les catalogues mais à étudier à titre expérimental

8. TABLEAU DE COMPARAISON DES OUTILS DISPONIBLES POUR CARACTÉRISER L'AUTÉCOLOGIE DES ESSENCES

Référence	Description	Information	Echelle	Source
Autécologie des essences forestières (Masson, 2005)	• optimum écologique • limites	quantitatives	nationale	bibliographiques
Conseils d'utilisation des ressources génétiques forestières (Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture, 2008)	conseils d'utilisation des ressources génétiques forestières	qualitatives	nationale	dire d'expert et bibliographiques
Cours d'autécologie (Lebourgeois, 2000, 2007)	• optimum écologique (stade de régénération et production) • modèles de croissance • modèles stations production	qualitatives quantitatives	nationale locale	bibliographiques
<i>Données arboretum</i>	?	?	?	?
Données IFN	• aire de répartition • possibilité de réaliser des modèles de croissance	quantitatives	nationale	relevés de terrain
Etude spécifique d'une espèce	toute modalité possible	qualitatives quantitatives	nationale locale	toute modalité possible
European Atlas of Forest Tree Species (San-Miguel-Ayanz <i>et al.</i> , 2016)	• probabilité relative de présence • adéquation maximale avec l'habitat • optimum écologique	qualitatives	européen ne	relevés de terrain (Inventaires Forestiers Nationaux)
European Forest Genetic Resources Programme (« European Forest Genetic Resources Programme EUFORGEN », s. d.)	distribution native d'essences	qualitatives	européen ne	dire d'expert et bibliographiques

En italique : information incertaine

Fichier écologique des essences (Claessens <i>et al.</i> , 2017)	• optimum écologique • limites • sensibilité	qualitatives et quantitatives	nationale Wallonie	<i>bibliographiques et dire d'expert ?</i>
Flore forestière française (Dumé <i>et al.</i> , 2018)	• distribution • optimum écologique	qualitatives	nationale	dire d'expert et relevés IGN
Guide de dendrologie (Jacamon, 1992)	• distribution • préférences écologiques	qualitatives	nationale	<i>Bibliographique et dire d'expert</i>
IKSMAPS	<i>cartes d'évolution des aires climatiques des principales essences forestières françaises</i>	?	?	<i>modélisation</i>
Modèles station-production, modèles de croissance	• adéquation à la station • préférences écologiques	qualitatives	locale	relevés de terrain puis modélisation
Caractérisation des conditions écologiques favorables à la distribution des principales essences présentes en France (Piedallu <i>et al.</i> , 2016)	• distribution en présence absence • optimum écologique • limites	quantitatives	nationale	modélisation (données IFN, Aurélhy, Digitalis)
Synthèse Autécologie des feuillus précieux (Gonin <i>et al.</i> , 2013)	• optimum écologique • limites	quantitatives	nationale	bibliographique

En italique : information incertaine

9. DESCRIPTION ET CRITIQUES DU TABLEAU DE SYNTHÈSE AUTÉCOLOGIQUE

Variable	Type de donnée	Utilité	Limites	Exemple 1	Exemple 2
Topographie	Qualitative	Connaître les types de stations limitantes	Absence de donnée ; dépend du climat considéré	<i>Acer monspessulanum</i> : stations froides et humides	
Altitude (m)	Quantitative	Connaître les limites altitudinales	Gamme très large, finalement peu utile	<i>Abies alba</i> : 400 – 1800	
Pluviosité moyenne annuelle (mm)	Quantitative	Connaître les besoins en eau de l'essence et connaître ses limites climatiques	Pas le facteur le plus pertinent	<i>Fagus sylvatica</i> : >700-800 / 1000 -1500	<i>Pinus pinaster</i> : Pics précipitations au printemps et à l'automne, creux estival
Humidité atmosphérique	Qualitative	Avoir une idée générale des besoins en eau de l'essence et connaître ses limites climatiques	Peu de données chiffrées ; indicateurs utilisés très différents	<i>Abies alba</i> : Elevée et constante / indice de martonne <40	
Neige	Factorielle	Sensibilité de l'essence à la neige		<i>Acer campestre</i> : peu sensible	<i>Alnus glutinosa</i> : sensible
Température moyenne annuelle (°C)	Quantitative	Connaître les limites climatiques ; beaucoup de données		<i>Acer campestre</i> : 7-15 (climat suffisamment chaud pendant période de végétation) / 6,9-12,4	
Température maximale (°C)	Quantitative	Connaître les limites climatiques	Peu de données chiffrées ; représente souvent des extrêmes exceptionnels et non la norme	<i>Abies alba</i> : 37°C	<i>Acer platanoides</i> : Sensible aux température extrêmement élevées

En rouge : facteur limitant ; en vert : optimum ; en orange : facteur intermédiaire ; en bleu : données issues de Piedallu et al. 2016

Variable	Type de donnée	Utilité	Limites	Exemple 1	Exemple 2
Température minimale (°C)	Quantitative	Connaître les limites climatiques	Peu de données chiffrées ; représente souvent des extrêmes exceptionnels et non la norme ²³	<i>Abies alba</i> : -35°C	<i>Acer campestre</i> : Non chiffré mais tolère températures extrêmes continentales
Gelées tardives	Factorielle	Sensibilité	Données contradictoires	<i>Alnus glutinosa</i> : Peu sensible ou sensible selon les sources	
Gelées précoces	Factorielle	Sensibilité	Données contradictoires	<i>Alnus glutinosa</i> : Peu sensible ou sensible selon les sources	
Sécheresse	Factorielle	Sensibilité	Pas de données chiffrées	<i>Fagus sylvatica</i> : Sensible / 0-56mm SWD	<i>Acer campestre</i> : Peu sensible
Lumière	Factorielle	Besoin en lumière (variable factorielle)	Pas discriminant pour le choix de la station et du climat	<i>Alnus glutinosa</i> : Héliophile stricte	
Vent	Factorielle	Sensibilité	Pas discriminant pour le choix de la station et du climat	<i>Abies alba</i> : peu sensible	
Roche mère	Qualitative	Vérifier que l'essence est adaptée au substrat calcaire	Peu d'information	<i>Cedrus atlantica</i> : Roche siliceuse non granitique, alluvion récente, calcaire, calcaire dolomitique, alternance calcaire-marne, alluvion ancienne / granite, substrat marnocalcaire / marne, argile, dolomie	
Matériau	Qualitative	Vérifier si l'essence est adaptée à la station	Peu d'information	<i>Acer opalus</i> : éboulis ou rochers calcaires, argiles de décarbonatation, marnes, schistes, micaschistes, granites, gneiss	

En rouge : facteur limitant ; en vert : optimum ; en orange : facteur intermédiaire ; en bleu : données issues de Piedallu et al. 2016

Variable	Type de donnée	Utilité	Limites	Exemple 1	Exemple 2
Profondeur de sol	Qualitative	Vérifier si l'essence est adaptée à la station	Très peu d'information quantitative alors que c'est ce qui était recherché initialement	<i>Ulmus glabra</i> : sol profond	
Carbonate de calcium	Factorielle	Sensibilité de l'essence aux sols carbonatés ; beaucoup d'informations disponibles	Difficile distinguer si l'essence est très sensible (ne pousse pas sur sols carbonatés) ou faiblement sensible (limite la croissance)	<i>Quercus rubra</i> : Très sensible (<40-50 cm), facteur limitant le plus important	
pH	Qualitative	Vérifier si l'essence est adaptée à la station (notamment substrat calcaire)	Très peu d'information quantitative alors que c'est ce qui était recherché initialement	<i>Alnus glutinosa</i> : 4,5-7,5 / 5-5,5	<i>Abies alba</i> : acidophile à neutrocline (pH > 3,8)
Humus	Qualitative	Vérifier si l'essence est adaptée à la station	Assez redondant avec pH	<i>Fagus sylvatica</i> : mor à moder / mull	
CN	Quantitative	Vérifier si l'essence est adaptée à la station	Assez redondant avec pH et Humus ; quasiment pas d'information en dehors de l'étude de Piedallu <i>et al.</i> , 2016.	<i>Abies alba</i> : 12,5-32,7	
Texture du sol	Qualitative	Vérifier si l'essence est adaptée à la station		<i>Acer pseudoplatanus</i> : S, SA, LS, SL, Alo / A, AS / texture à dominante limoneuse, AL	
Structure	Qualitative	Vérifier si l'essence est adaptée à la station	Presqu'aucune information	<i>Castanea sativa</i> : Massive	
Compacité du sol	Factorielle	Sensibilité (notamment pour vérifier si l'essence est adaptée aux stations sur marne)	Peu d'information ; données contradictoires	<i>Malus sylvestris</i> : sensible	<i>Pinus nigra var. nigra</i> : Sensible ou Peu sensible selon les sources

En rouge : facteur limitant ; en vert : optimum ; en orange : facteur intermédiaire ; en bleu : données issues de Piedallu *et al.* 2016

Variable	Type de donnée	Utilité	Limites	Exemple 1	Exemple 2
Charge en éléments grossiers	Qualitative	Vérifier si l'essence est adaptée à la station	Presqu'aucune information ou donnée peu précise	<i>Acer pseudoplatanus</i> : Sol pierreux (éboulis, colluvions) si mésoclimat frais	<i>Castanea sativa</i> : Supporte jusqu'à 30% de charge si profondeur et richesse suffisantes
Alimentation en eau	Qualitative	Connaître les besoins en eau de l'essence	Données peu précises ou gamme trop large ²⁵	<i>Juglans regia</i> : Mésophile à mésohygrophile	<i>Quercus petraea</i> : Elevée
Réserve utile maximale (mm)	Qualitative	Connaître les besoins en eau de l'essence	Très peu d'information quantitative alors que c'est ce qui était recherché initialement	<i>Fagus sylvatica</i> : Elevée (100-150) / <50->200	<i>Abies alba</i> : élevée
Engorgement temporaire (cm)	Factorielle	Vérifier si l'essence supporte les engorgements	Très peu d'information quantitative alors que c'est ce qui était recherché initialement : souvent distinction engorgement temporaire ou permanent n'est pas faite	<i>Larix decidua</i> : Très sensible <30 cm	<i>Malus sylvestris</i> : très sensible
Engorgement permanent (cm)	Factorielle	Vérifier si l'essence supporte les engorgements	Très peu d'information quantitative alors que c'est ce qui était recherché initialement : souvent distinction engorgement temporaire ou permanent n'est pas faite	<i>Larix decidua</i> : Très sensible <30 cm	<i>Malus sylvestris</i> : très sensible
Appétence gibier	Factorielle	Sensibilité au gibier		<i>Abies alba</i> : sensible	

En rouge : facteur limitant ; en vert : optimum ; en orange : facteur intermédiaire ; en bleu : données issues de Piedallu et al. 2016

Variable	Type de donnée	Utilité	Limites	Exemple 1	Exemple 2
Risque (sanitaire, hybridation)	Qualitative	Recherche de gros problème sanitaire pour le signaler	Pas de recherche spécifique d'où peu d'information	<i>Fraxinus excelsior</i> : chalarose	Sapins méditerranéens : Hybridation avec autres <i>Abies</i> sp.
Association	Qualitative	Avoir une idée très rapide du type de station sur lesquelles l'essence se trouve habituellement		<i>Alnus glutinosa</i> : Aulnaie alluviale ; aulnaie marécageuse ; chênaie-charmaies et chênaies-boulais à aulne	
Remarque	Qualitative	Tout autre remarque permettant d'avoir un aperçu de l'autécologie de l'essence		<i>Acer platanoïdes</i> : Besoin hydrique intermédiaire entre <i>Acer c</i> , et <i>Acer p</i> , / Feuillus précieux plus pessimistes sur résistance à sécheresse que FEE	<i>Quercus cerris</i> : Essence subméditerranéenne orientale, plantée surtout dans l'ouest, peu connue

10. PARAMÈTRES UTILISÉS DANS LA MODÉLISATION DE CROISSANCE EN HAUTEUR DOMINANTE

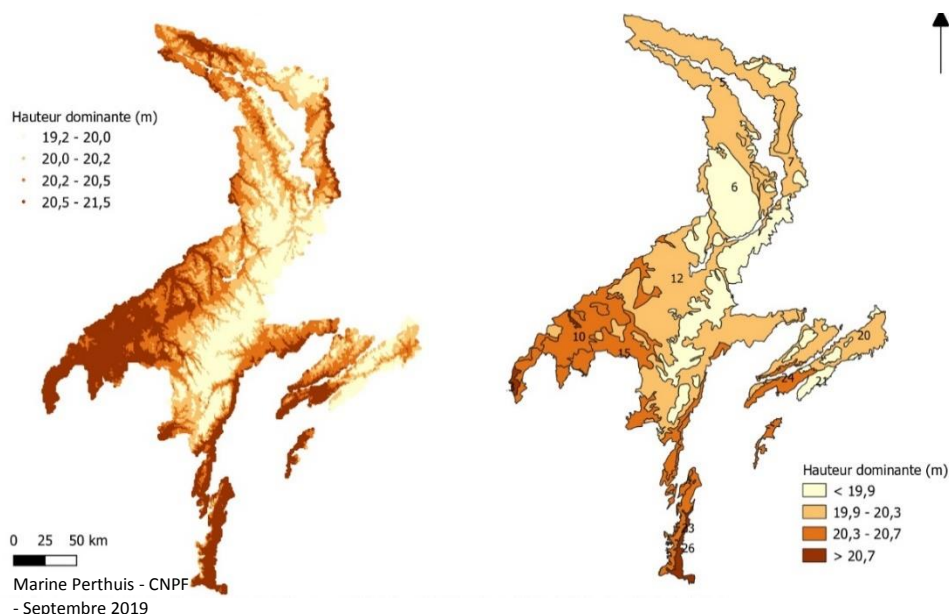
Paramètre	Type	Méthode de calcul	Valeur (si paramètre fixé)
Altitude (km), Altitude ² (km ²)	Climatique (variable)	Donnée brute Digitalis V2	/
Température min de Mars (°C)	Climatique (variable)	Donnée brute Digitalis V2	/
Pente (%)	Stationnel (fixé)	Relevé type	P4 : 0 P7 : 0
Profondeur du sol (cm)	Stationnel (fixé)	Relevé type	P4 : 45 P7 : 100
Réserve utile (mm)	Stationnel (fixé)	1. Relevé type 2. Calcul à partir des coefficients d'Al Majou	P4 : 46,5 P7 : 131,25
Bilan hydrique de juillet (mm), Bilan hydrique de juillet ² (mm ²)	Climatique (fixé)	Donnée brute Digitalis V2	/
Déficit hydrique de juillet (mm)	Climatique (fixé)	Donnée brute Digitalis V2	/
Indice d'azote (Ellenberg)	Stationnel (fixé)	1. Moyenne relevés de terrain 2. Calculs à partir BD Ellenberg	P4 : 5 P7 : 6
pH ²	Stationnel (fixé)	1. Moyenne relevés de terrain 2. Calculs à partir BD Ecoplant	P4 : 7,1 P7 : 6,2
Indice de lumière (Ellenberg), Indice de lumière (Ellenber) ²	Stationnel (fixé)	1. Moyenne relevés de terrain 2. Calculs à partir BD Ellenberg	P4 : 5 P7 : 5
Indice de densité, Indice de densité ²	Stationnel (fixé)	Sélection peuplement type dans BD IGN	Chêne sessile_ P4 : 0,28987018 Chêne sessile_ P7 : 0,32302315 Epicéa_P4 : 0,14215899 Epicéa_P7 : 0,33734973
GRECO A, GRECO G, GRECO H	Booléen (fixé)		0
Roche mère	Booléen (fixé)		Calcaire : 1 Siliceuse : 0

11. CARTES DE LA CROISSANCE EN HAUTEUR DOMINANTE PAR ESSENCE

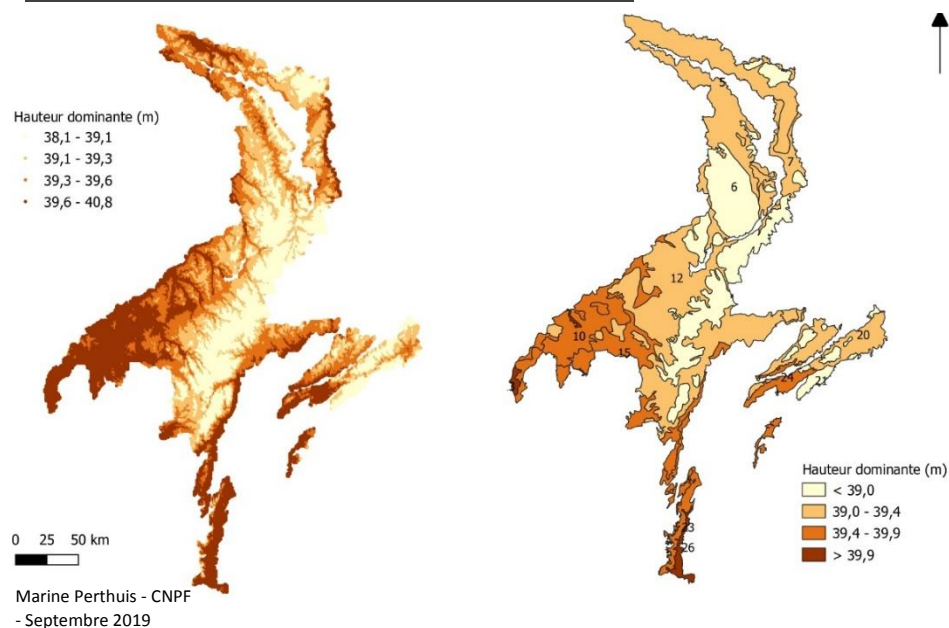
Chêne sessile

$$H_{dom} = (36,87 + 1,17 \times \text{Température min de Mars} - 0,10 \times \text{Pente} + 0,27 \times \text{Réserve utile} - 6,82 \times \text{Roche mère calcaire} - 3,06 \times \text{Indice de lumière} + 14,94 \times \text{Indice de densité} - 7,06 \times \text{Indice de densité}^2 - 2,91 \times \text{GRECO A}) \times \frac{1}{(1 + (\frac{51,56}{\text{âge}})^{1,14})}$$

- a. Hauteur dominante d'un peuplement de chênes sessiles de 78 ans en US P4 (à gauche : au pas du kilomètre, à droite : moyenne par climat)



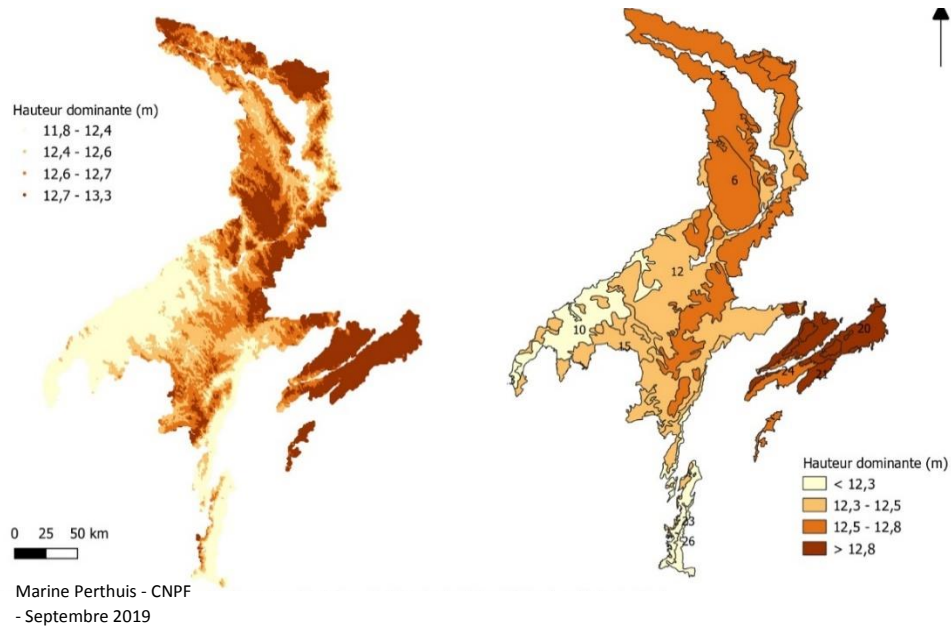
- b. Hauteur dominante d'un peuplement de chênes sessiles de 109 ans en US P7 (à gauche : au pas du kilomètre, à droite : moyenne par climat)



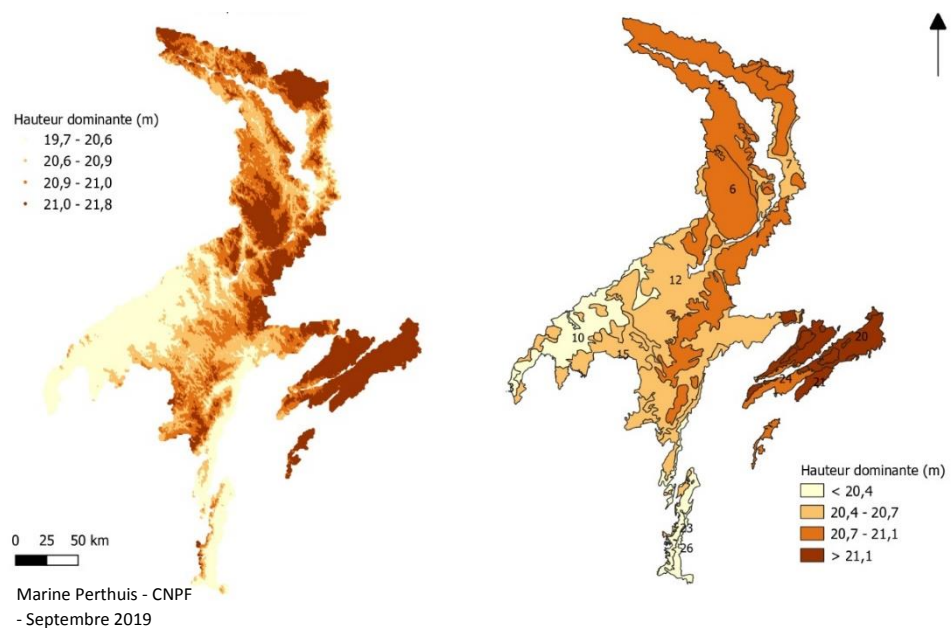
Epicéa

$$H_{dom} = (6,29 + 7,99 \times \text{Altitude} - 7,59 \times \text{Altitude}^2 + 0,0303 \times \text{Réserve utile} - 0,049 \times \text{Déficit hydrique de juillet} + 0,89 \times \text{Indice d'azote} + 3,36 \times \text{Roche mère siliceuse} + 9,17 \times \text{Indice de lumière} - 1,02 \times \text{Indice de lumière}^2 + 2,96 \times \text{Indice de densité}) \times \frac{1}{(1 + (\frac{32,86}{\text{âge}})^{1,96})}$$

- a. Hauteur dominante d'un peuplement d'épicéas de 26 ans en US P4 (à gauche : au pas du kilomètre, à droite : moyenne par climat)



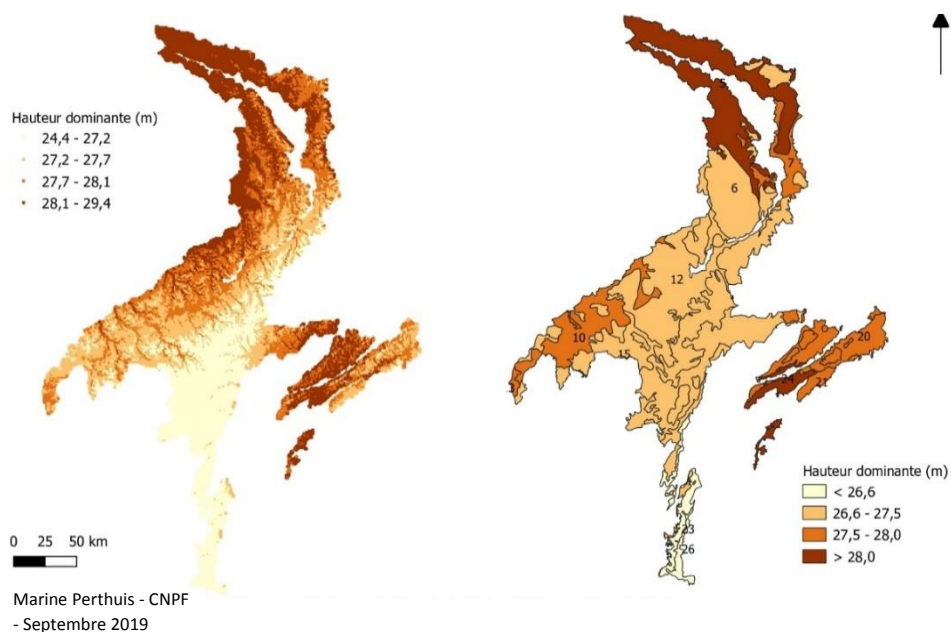
- b. Hauteur dominante d'un peuplement d'épicéas de 38 ans en US P7 (à gauche : au pas du kilomètre, à droite : moyenne par climat)



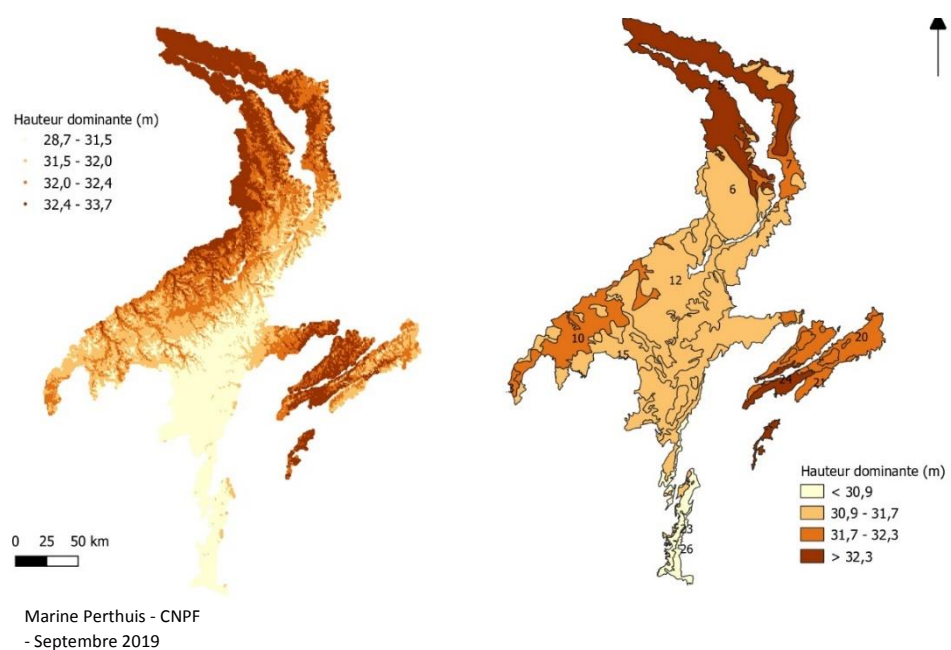
Hêtre

$$H_{dom} = (33,81 - 8,69 \times \text{Altitude} + 0,0490 \times \text{Réserve utile} - 0,00055 \times \text{Bilan hydrique juillet}^2 + 0,86 \times \text{Indice d'azote} - 0,82 \times \text{Indice de lumière} - 1,85 \times \text{GRECO G}) \times \frac{1}{(1 + (\frac{37,91}{\text{âge}})^{1,87})}$$

- a. Hauteur dominante d'un peuplement de hêtres de 100 ans en US P4 (à gauche : au pas du kilomètre, à droite : moyenne par climat)



- b. Hauteur dominante d'un peuplement de hêtres de 100 ans en US P7 (à gauche : au pas du kilomètre, à droite : moyenne par climat)



12. LISTE DE LA FLORE INDICATRICE DE CLIMATS

Nom latin	Nom vernaculaire	Distribution géographique (Dumé et al., 2018)	Occurrence sur la SER
<i>Acer opalus</i>	Erable à feuilles d'obier	Sud-européenne périalpine	45
<i>Anemone hepatica</i>	Anémone hépatique	Médioeuropéenne méridionale	257
<i>Anemone ranunculoides</i>	Anémone fausse renoncule	Eurasiatique (continentale)	52
<i>Asplenium scolopendrium</i>	Scolopendre	Subatlantique en Europe, circumboréale	42
<i>Athyrium filix femina</i>	Fougère femelle	Eurasiatique	387
<i>Cardamine heptaphylla</i>	Dentaire pennée	Périalpine, ouest- européenne	15
<i>Carex alba</i>	Laïche blanche	Eurasiatique, subocéanique	291
<i>Carex montana</i>	Laïche des montagnes	Médioeuropéenne (subméditerranéenne)	570
<i>Cornus mas</i>	Cornouiller mâle	Sud-européenne, supraméditerranéenne	2471
<i>Dryopteris carthusiana</i>	Fougère spinuleuse	Eurasiatique (subocéanique)	422
<i>Dryopteris dilatata</i>	Fougère dilatée	Eurasiatique, oroatlantique	124
<i>Melica nutans</i>	Mélique penchée	Eurasiatique	68
<i>Neottia nidus avis</i>	Néottie nid-d'oiseau	Eurasiatique (subocéanique)	508
<i>Polysticum aculeatum</i>	Polystic à aiguillons	Eurasiatique	20
<i>Prunus mahaleb</i>	Cerisier de Sainte- Lucie	Subméditerranéenne	436
<i>Quercus pubescens</i>	Chêne pubescent	Sud-européenne, subméditerranéenne	294
<i>Ranunculus platanifolius</i>	Renoncule à feuilles de platane	Périalpine	12
<i>Ribes alpinum</i>	Groseillier des Alpes	Eurasiatique, périalpine médioeuropéenne	1133
<i>Rubia peregrina</i>	Garance voyageuse	Subméditerranéenne, subatlantique	292
<i>Ruscus aculeatus</i>	Fragon	Méditerranéo-atlantique	100
<i>Sambucus racemosa</i>	Sureau à grappes	Circumboréale, eurasiatique	77
<i>Sesleria caerulea</i>	Seslérie blanchâtre	Alpine, périalpine	186
<i>Ulmus glabra</i>	Orme de montagne	Médioeuropéenne	89
<i>Vincetoxicum hirundinaria</i>	Dompte-venin	Eurasiatique, continentale, subméditerranéenne	155

13. DISTRIBUTION DE LA FLORE INDICATRICE DE CLIMATS SUR LA SER C20 PAR CLIMAT

Ulmus glabra

Climats	Relevés totaux	Occurrence	Densité de présence* 1000	Classes
5	1033	20	19,36	C
6	1807	26	14,39	C
7	163	3	18,4	C
10	429	0	0	A
12	1899	10	5,27	B
13	12	0	0	A
15	377	2	5,31	B
20	395	9	22,78	C
21	186	13	69,89	D
23	72	0	0	A
24	118	6	50,85	D
26	19	0	0	A

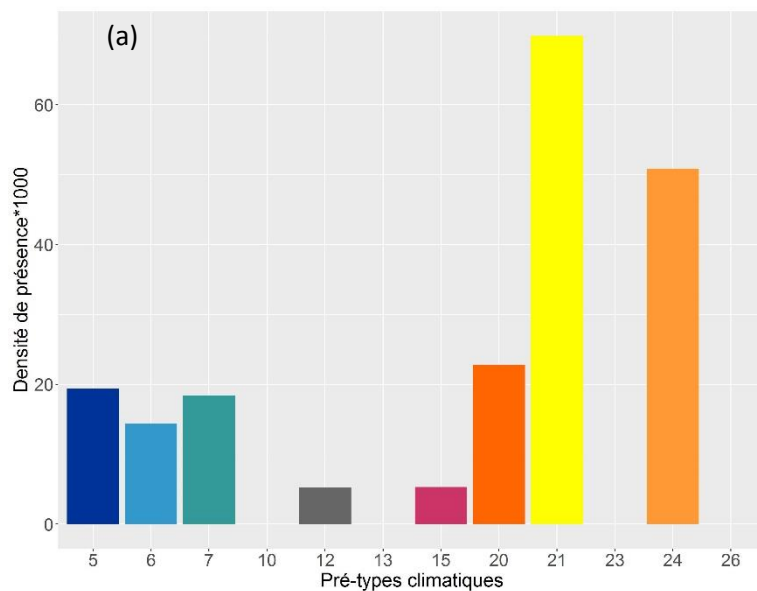
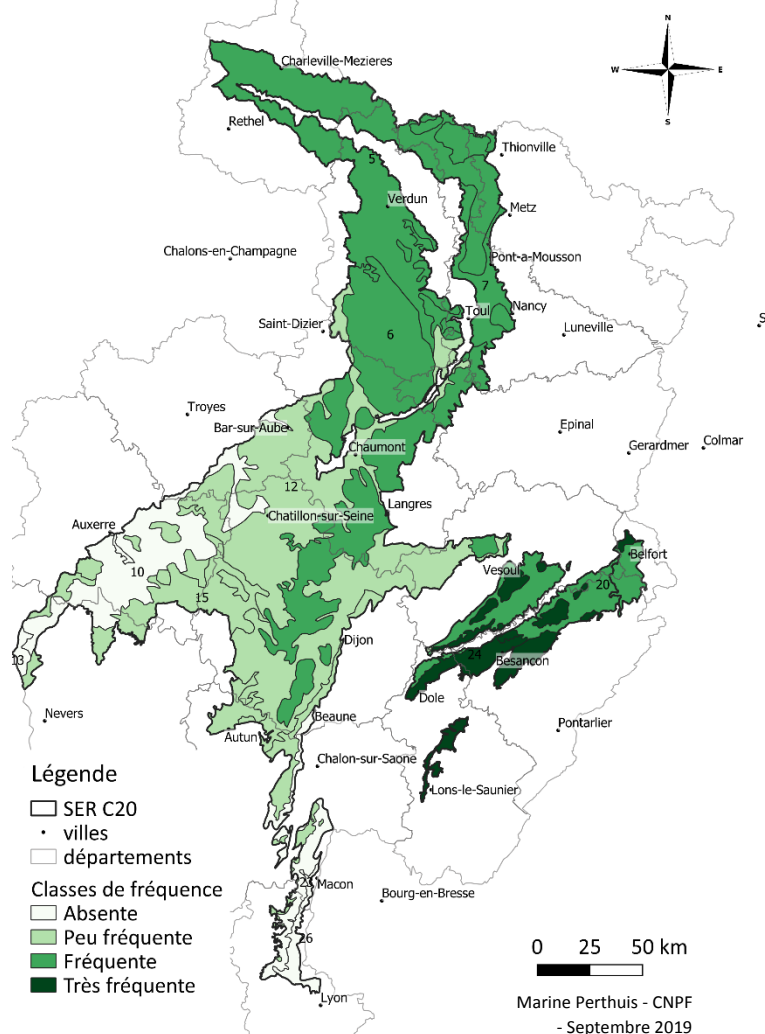


Tableau 14 : Occurrence, densité de présence et classe de fréquence par climat

Figure nn : Histogramme de densité de présence par climat

Figure oo : Carte de fréquence de l'espèce sur la SER C20 par climat



14. CORRÉLATION ENTRE LES AXES FACTORIELS DE L'ACM ET LES VARIABLES CLIMATIQUES

Axe 1

Variable	Rayonnement annuel	Evapotranspiration potentielle annuelle	Température moyenne annuelle	Température minimale annuelle	Température maximale annuelle	Amplitude thermique annuelle
R	0,78	0,87	0,85	0,76	0,92	0,86

Tableau 15 : Corrélation entre l'axe factoriel 1 de l'ACM et des variables climatiques

L'axe 1 est très corrélé aux températures, au rayonnement et de ce fait, à l'évapotranspiration potentielle : il discrimine ainsi les climats chauds des climats froids et représente assez bien le gradient Nord-Sud de la SER.

Axe 2

Variable	Précipitations annuelles	Précipitations estivales	Bilan hydrique climatique annuel	Bilan hydrique climatique estival	Température moyenne hivernale
R	0,62	0,62	0,62	0,64	-0,53

Tableau 16: Corrélation entre l'axe factoriel 2 de l'ACM et des variables climatiques

L'axe 2 est plus difficile à interpréter mais il pourrait discriminer les climats humides et froids, par conséquent davantage montagnards.

Axe 3

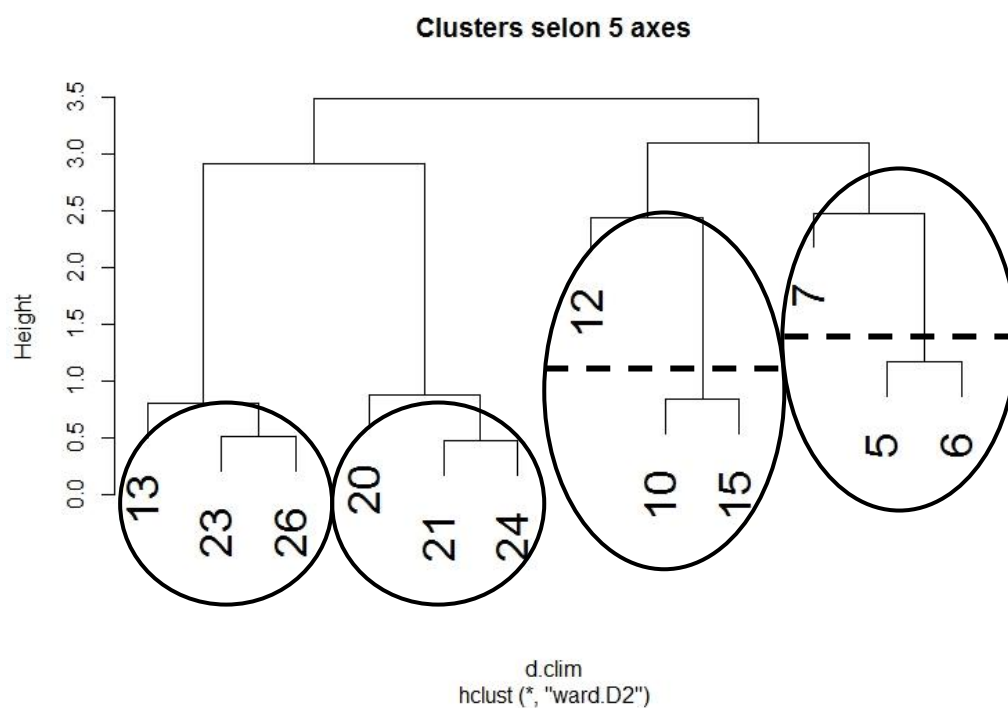
Variable	Précipitations printanières	Précipitations durant la saison de végétation	Bilan hydrique climatique printannier	Bilan hydrique climatique pendant la saison de végétation	Altitude
R	-0,75	-0,71	-0,74	-0,70	-0,74

Tableau 17: Corrélation entre l'axe factoriel 3 de l'ACM et des variables climatiques

Enfin le troisième axe est anti-corrélé aux précipitations et au bilan hydrique climatique en saison de végétation, et dans une moindre mesure à l'altitude. Il pourrait mettre en évidence les climats avec des sécheresses estivales, par conséquent plus subméditerranéens.

15. PROPOSITION DE REGROUPEMENT DES CLIMATS PAR ANALYSE DE LA DISTRIBUTION D'UNE FLORE INDICATRICE

Première proposition de regroupement

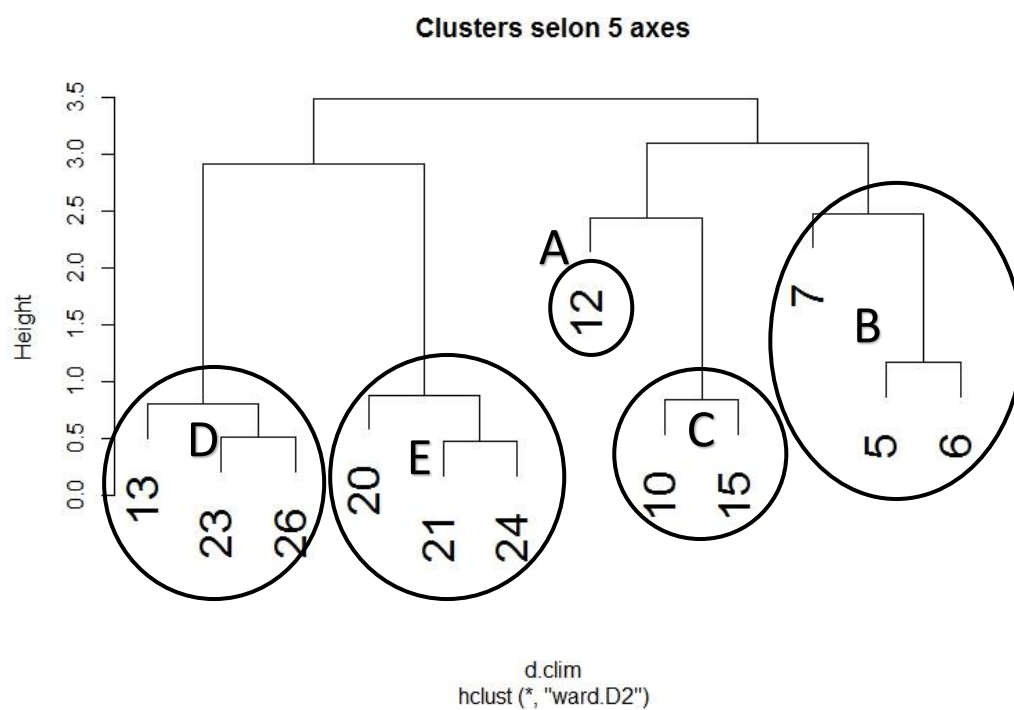


Matrice de confusion :

	A	B	C	D
A	98,32	1,68	0	0
B	5,98	92,74	1,17	0,11
C	0	14,49	85,43	0,08
D	0	2,41	0,55	97,04

Coefficient de bon reclassement : 0,953

Deuxième proposition de regroupement

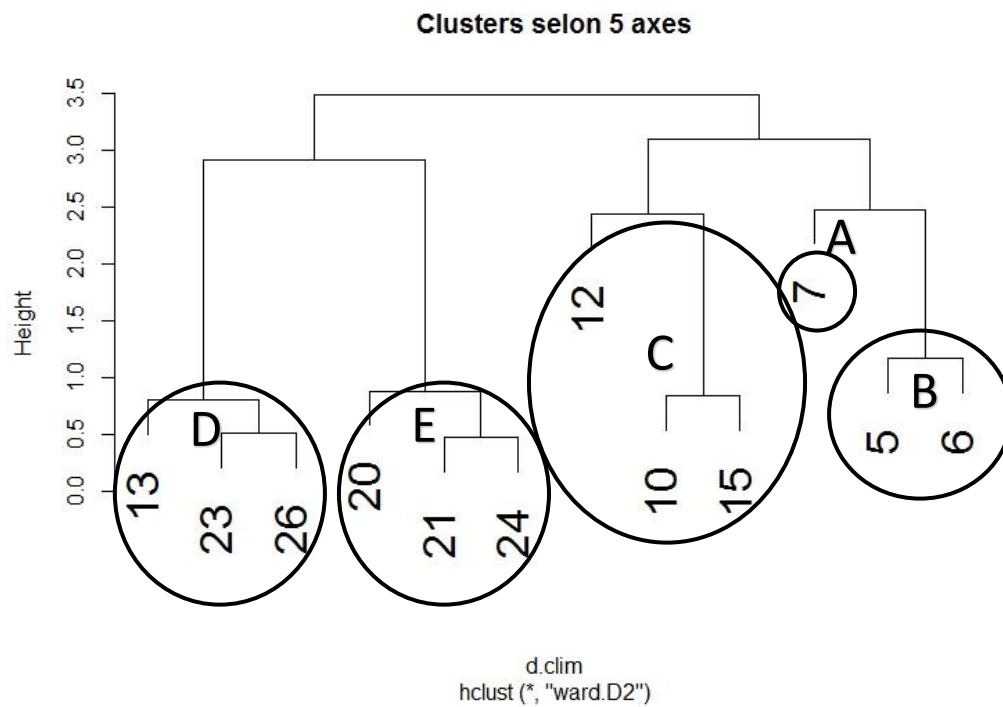


Matrice de confusion :

	A	B	C	D	E
A	87,17	7,17	5,42	0,11	0,13
B	3,19	96,81	0	0	0
C	12,62	0	84,58	2,78	0,02
D	0	0	14,57	85,34	0,08
E	2,72	0	0	0,64	96,64

Coefficient de bon reclassement : 0,918

Troisième proposition de regroupement

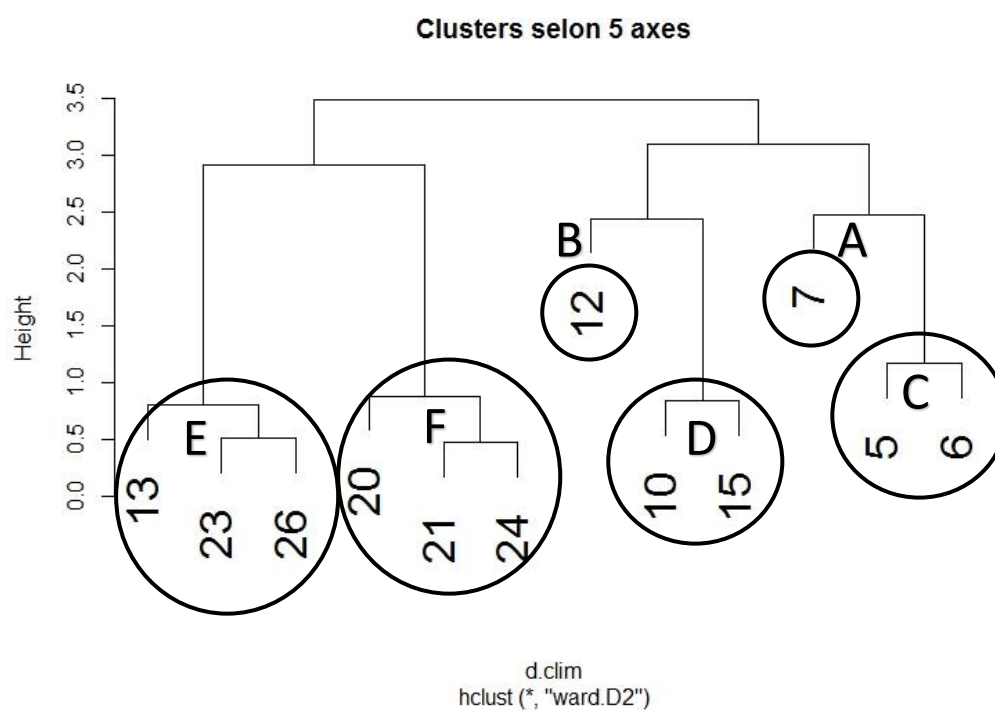


Matrice de confusion :

	A	B	C	D	E
A	84,03	11,89	4,08	0	0
B	1,16	97,9	0,94	0	0
C	0,51	5,36	92,77	1,3	0,06
D	0	0	14,25	85,67	0,08
E	0	0	2,65	0,67	96,67

Coefficient de bon reclassement : 0,947

Quatrième proposition de regroupement



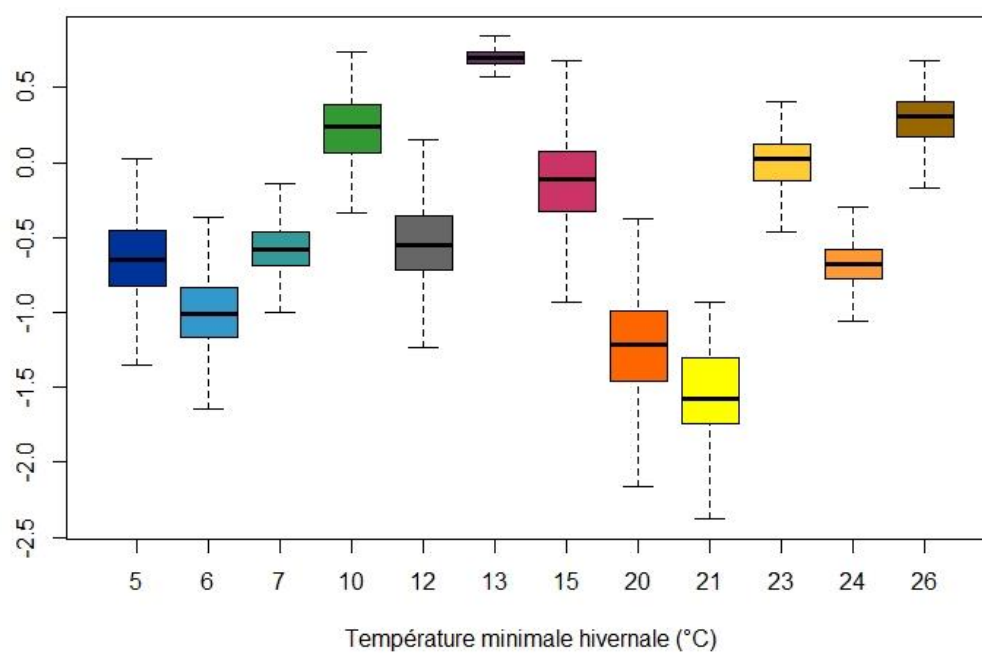
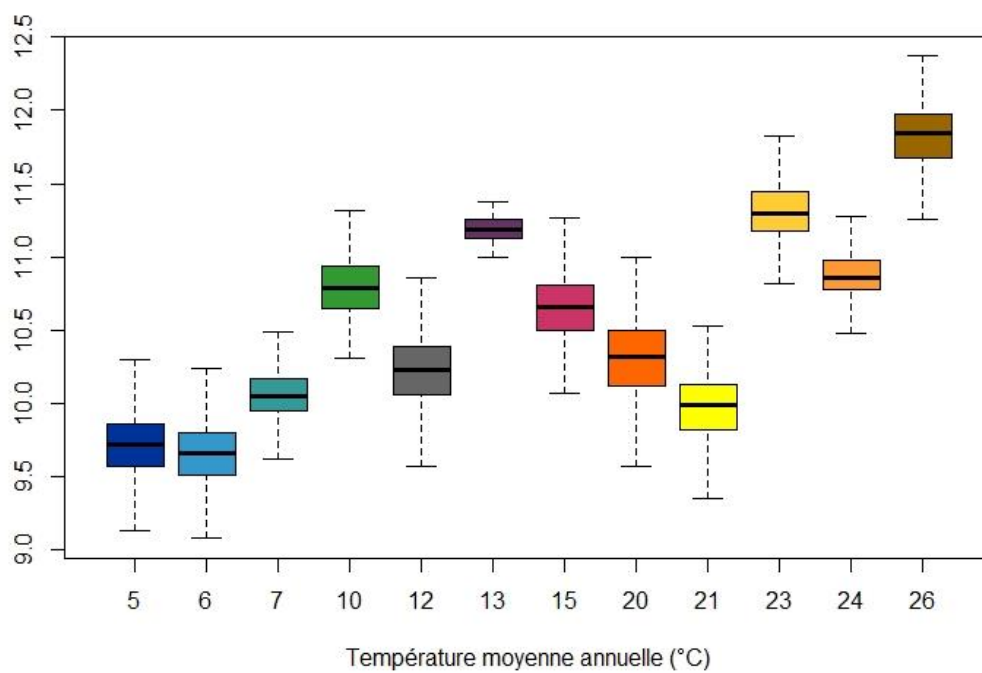
Matrice de confusion :

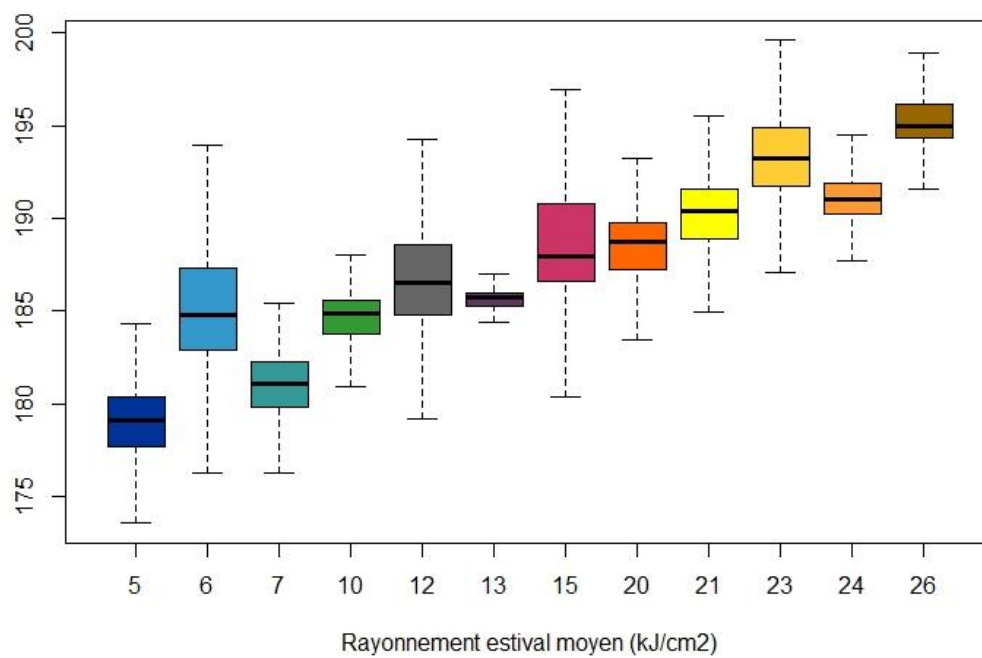
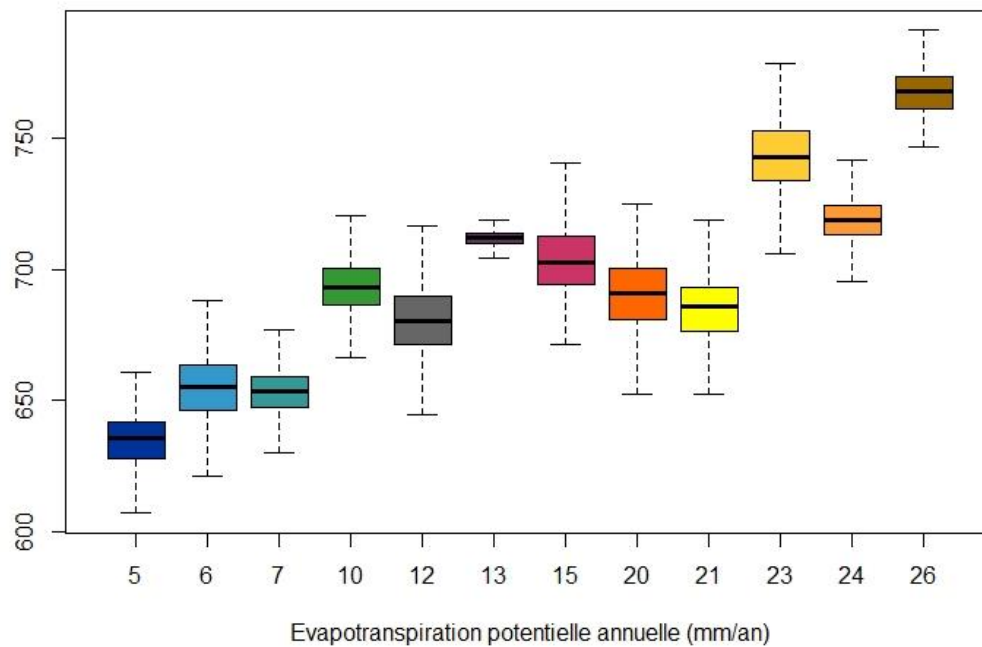
	A	B	C	D	E	F
A	85,55	5,71	8,74	0	0	0
B	0,92	88,69	5,16	5,04	0,14	0,04
C	0,85	2,18	96,97	0	0	0
D	0	11,78	0	85,31	2,9	0,02
E	0	0	0	14,49	85,43	0,08
F	0	3,11	0	0	0,7	96,19

Coefficient de bon reclassement : 0,920

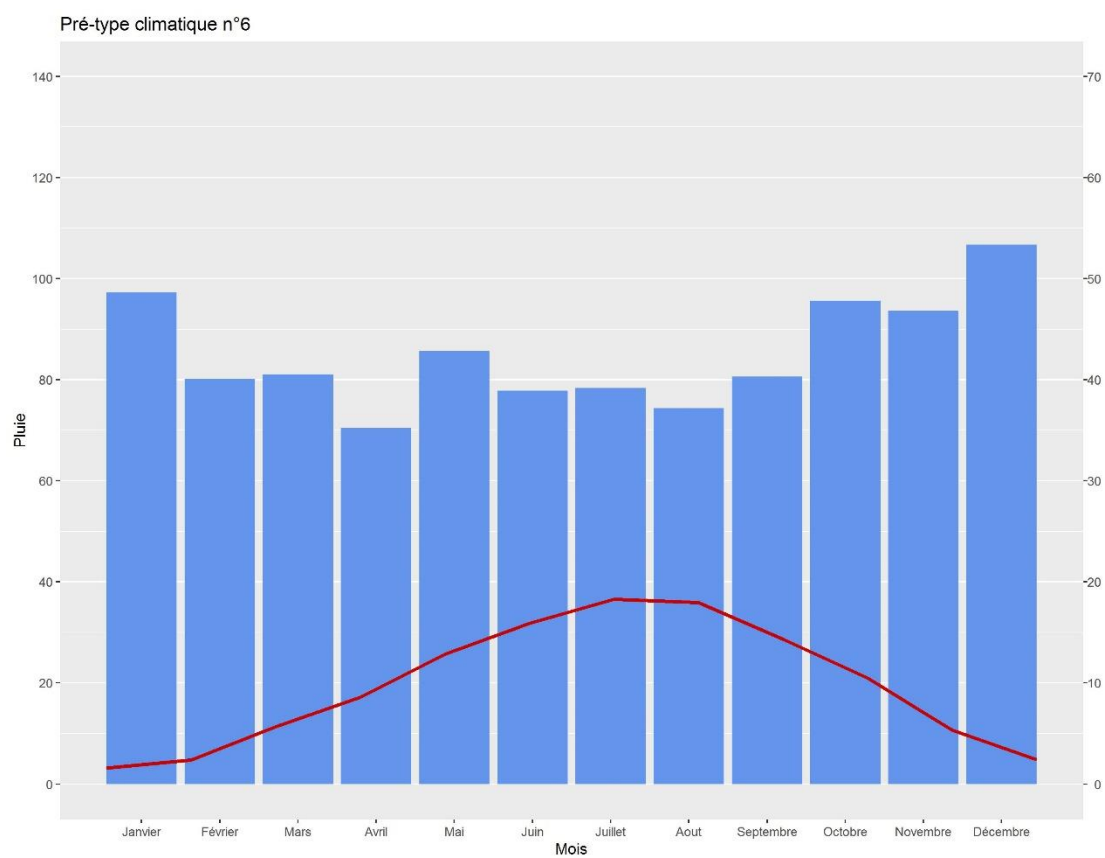
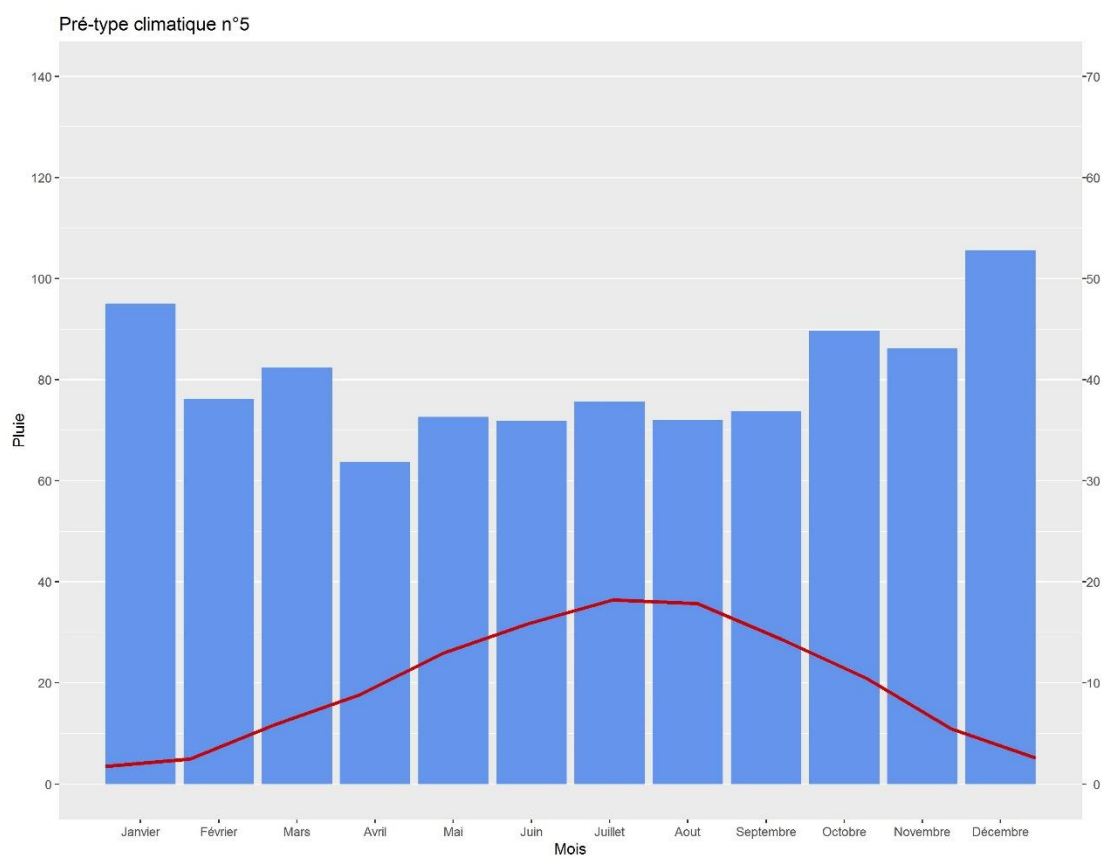
16. CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES DES 12 CLIMATS DE LA SER

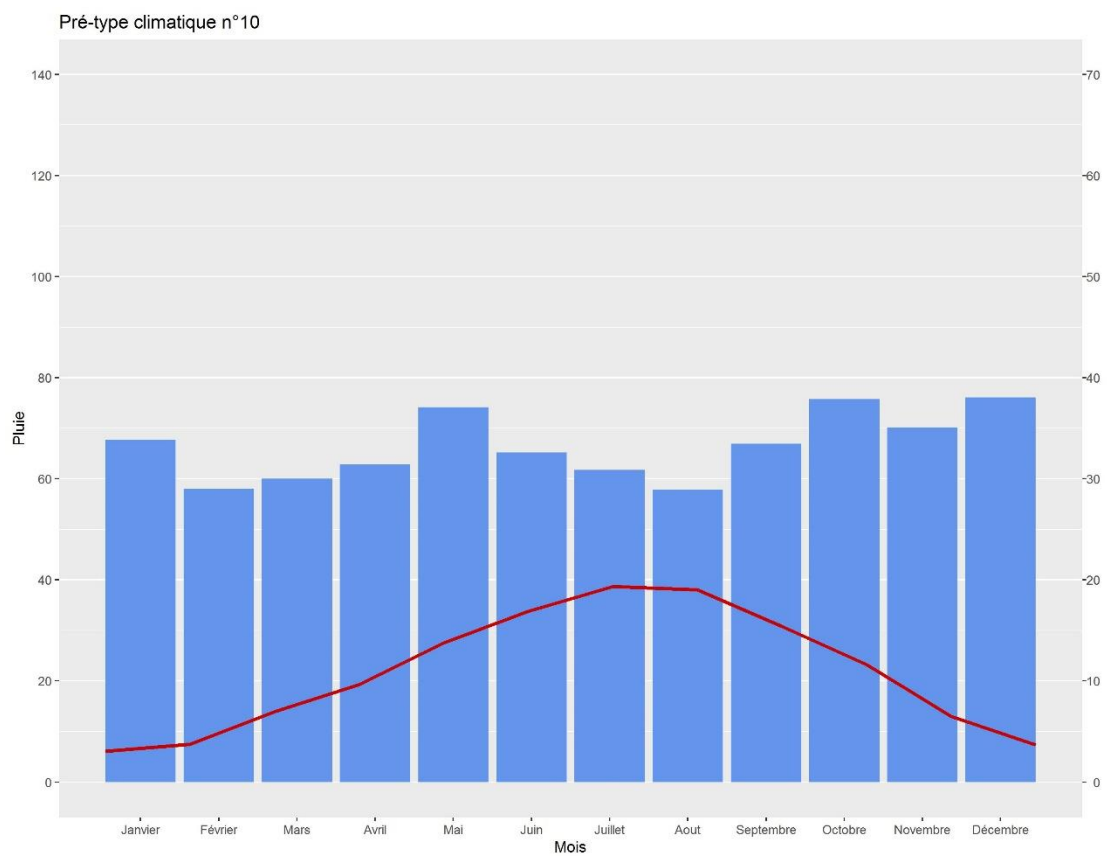
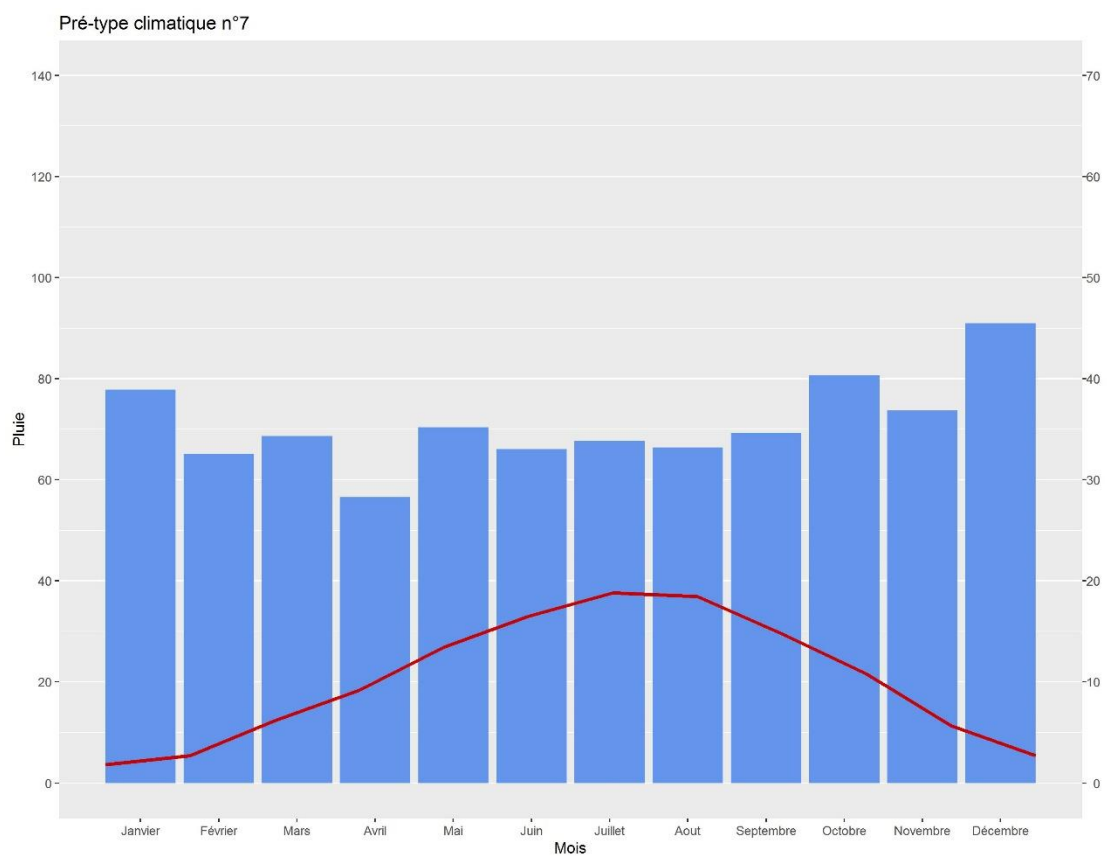
Température moyenne annuelle, température minimale hivernale, évapotranspiration potentielle et rayonnement estival moyen

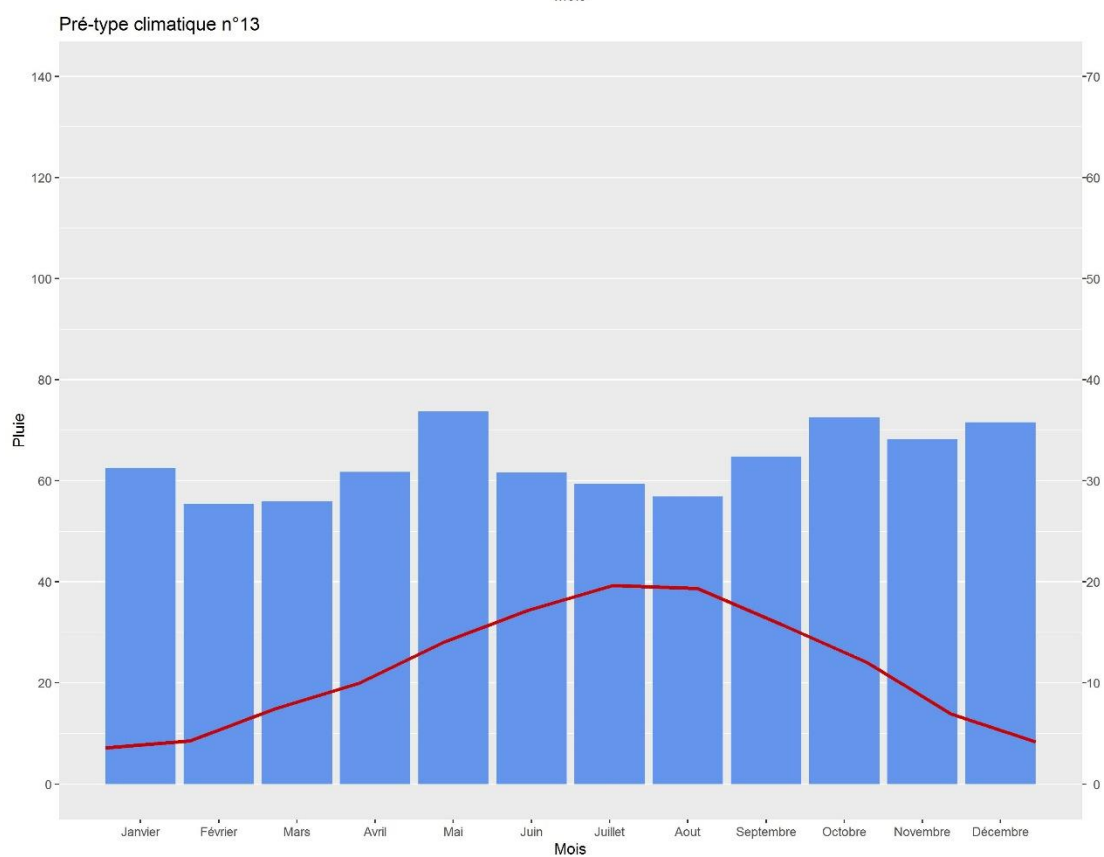
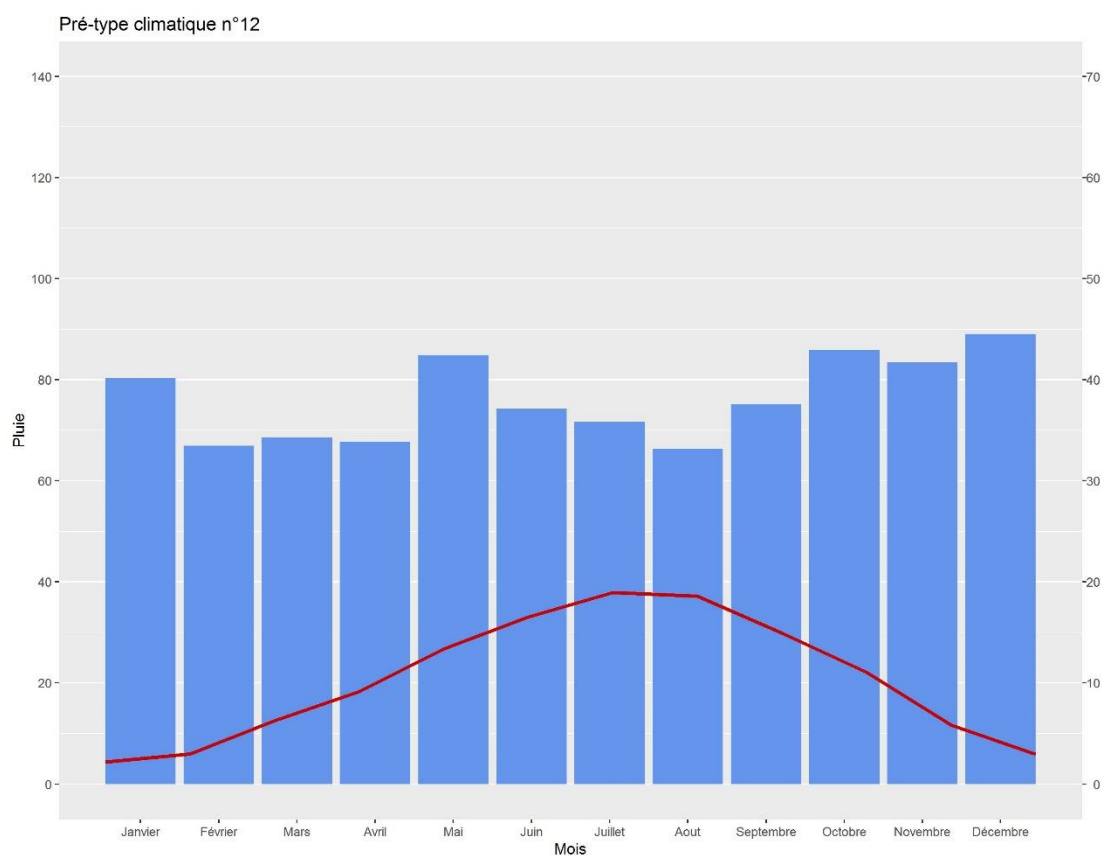


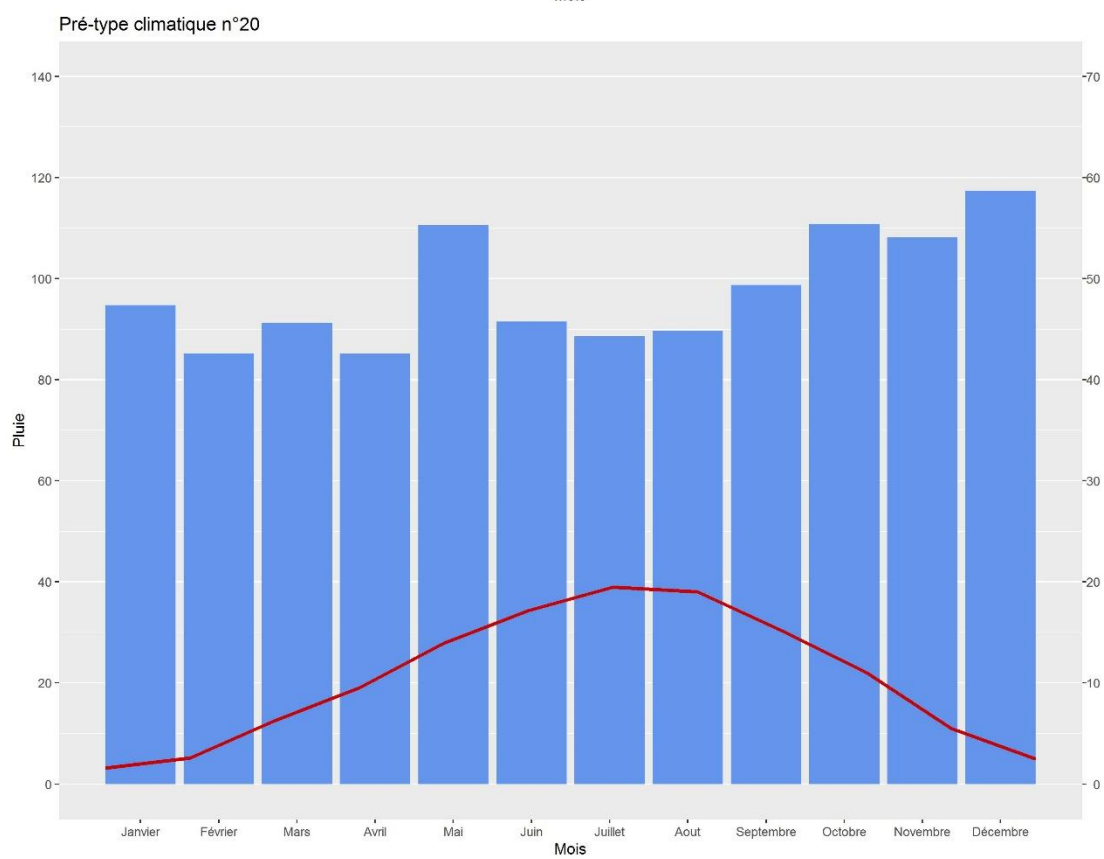
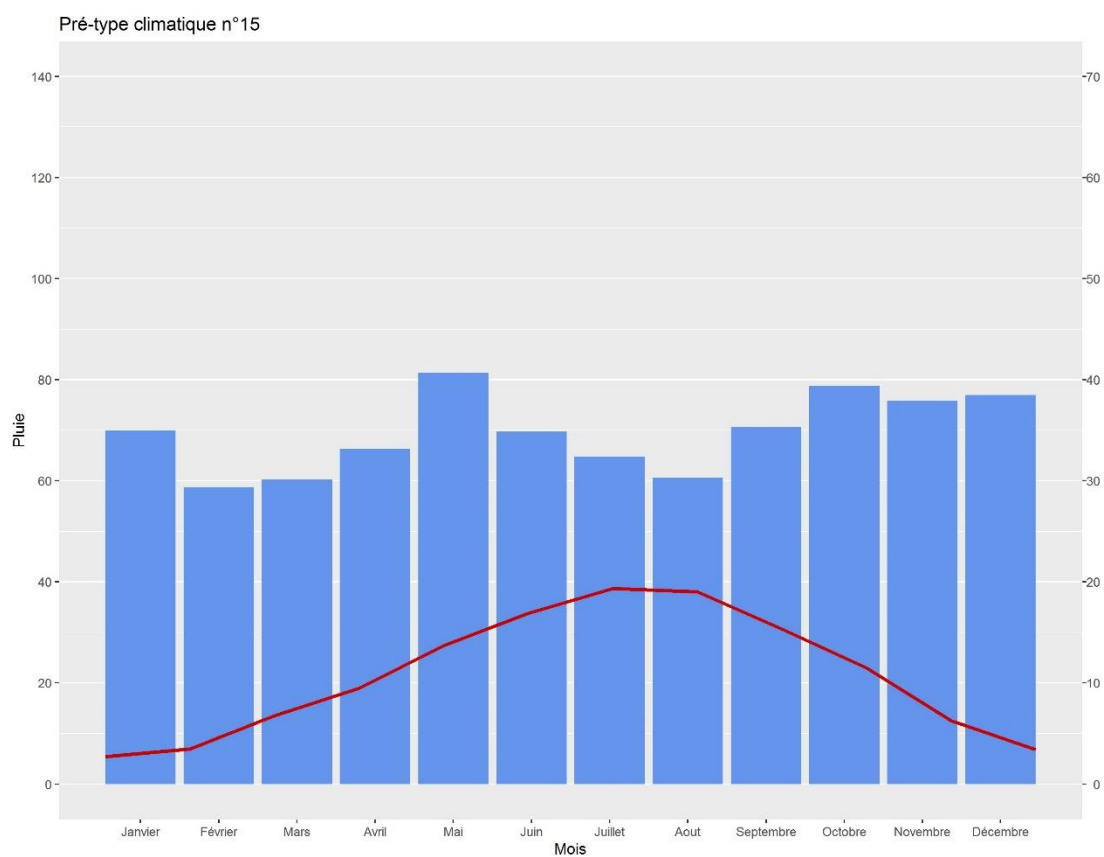


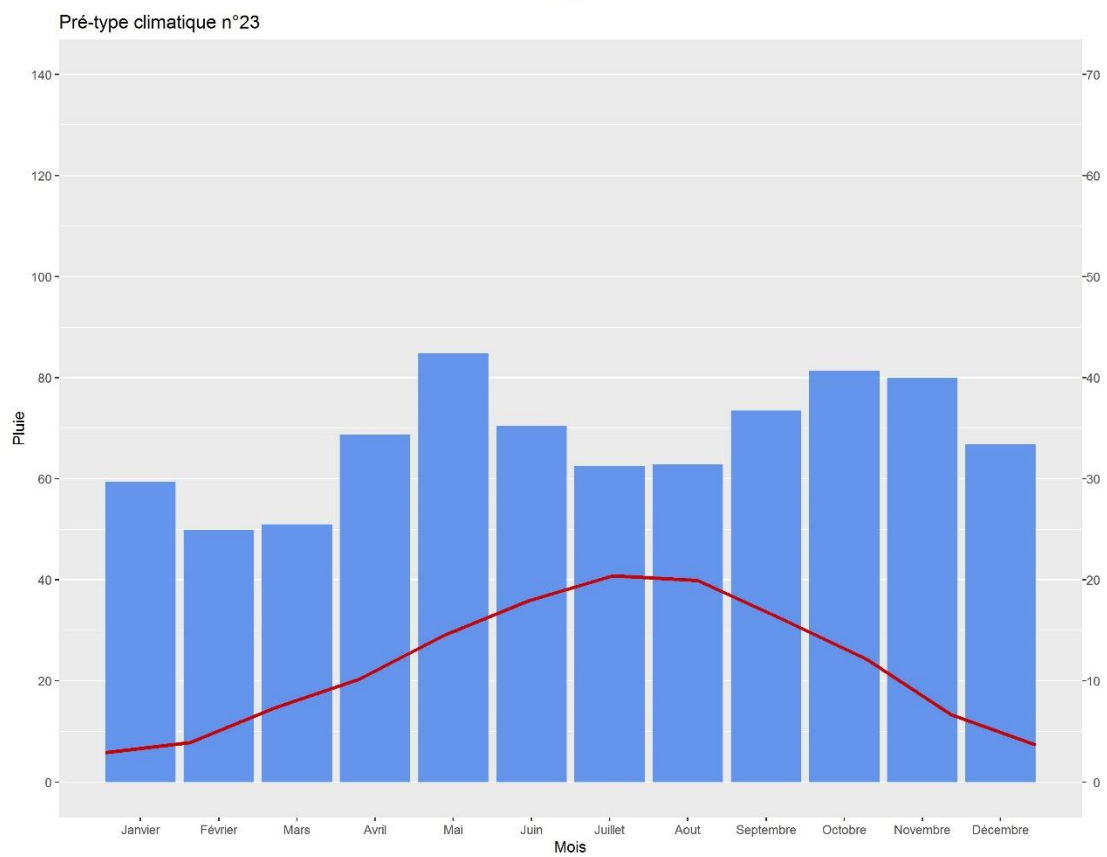
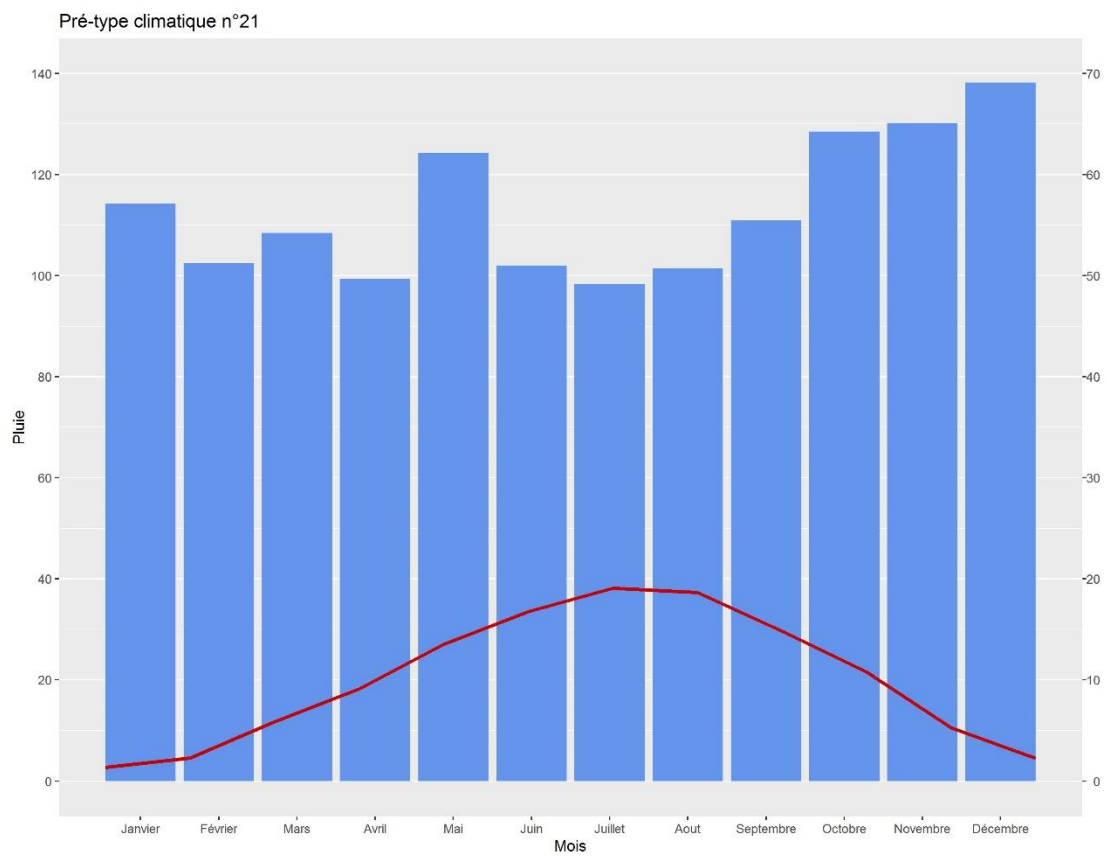
Diagrammes ombrothermiques

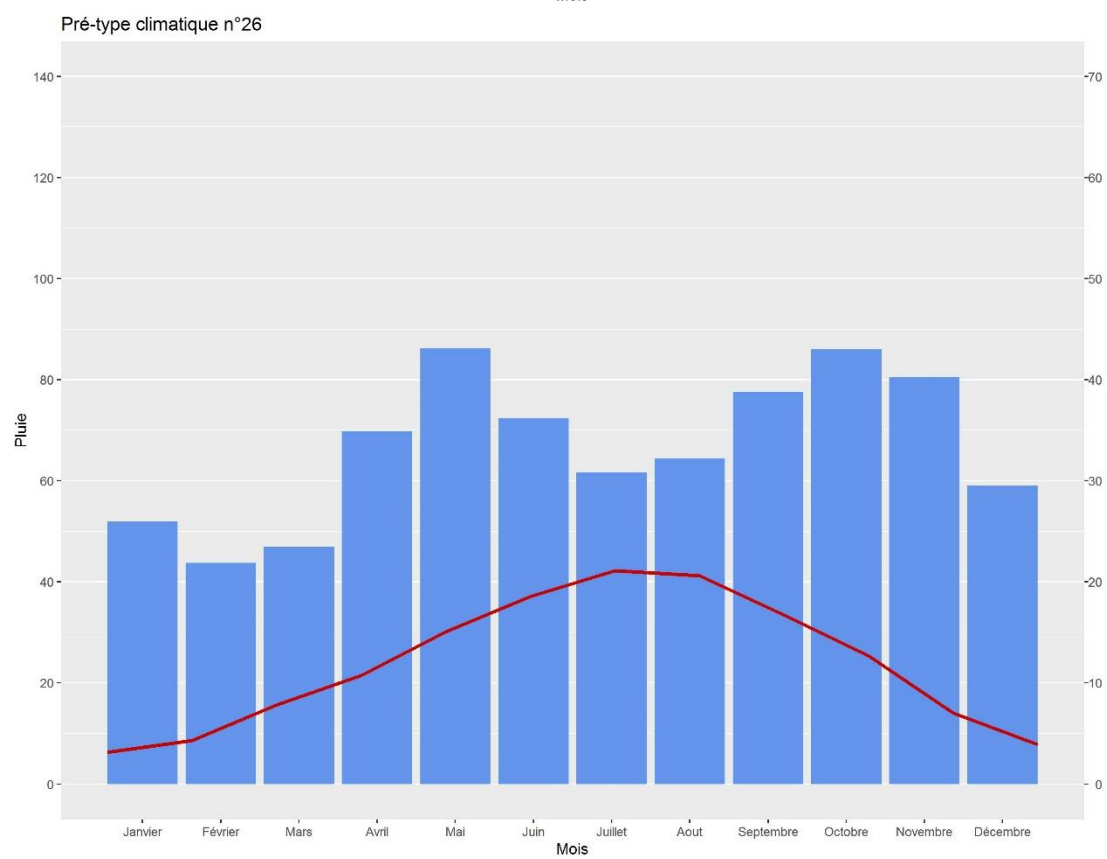
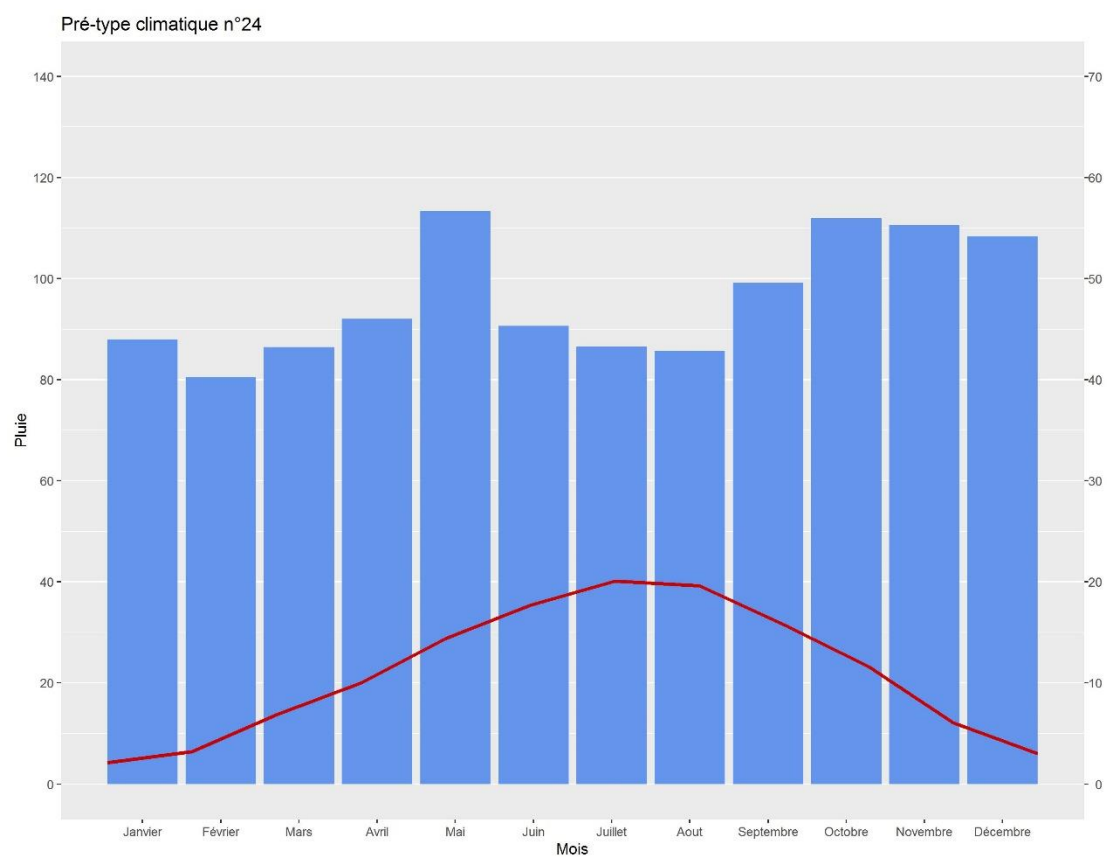






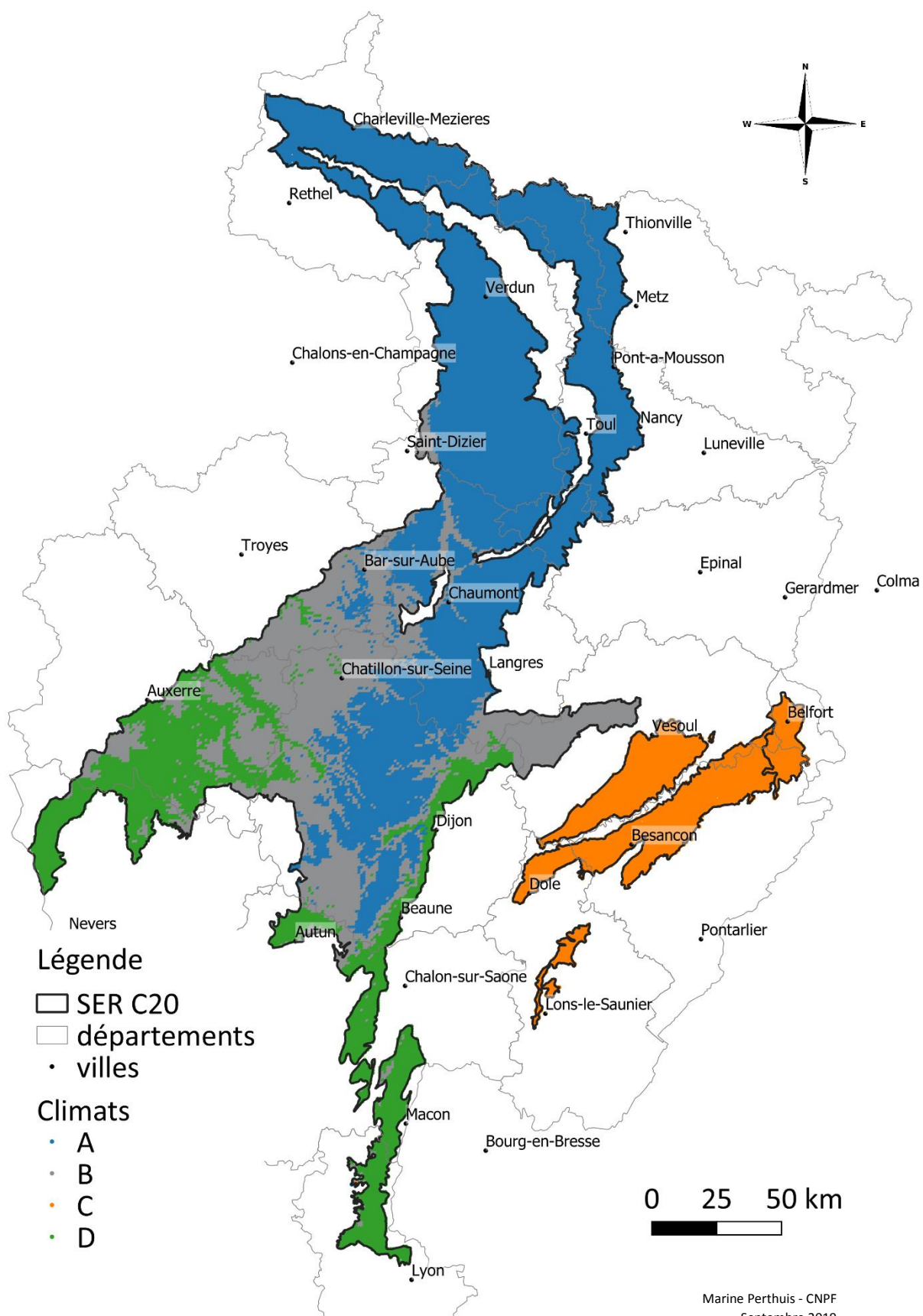




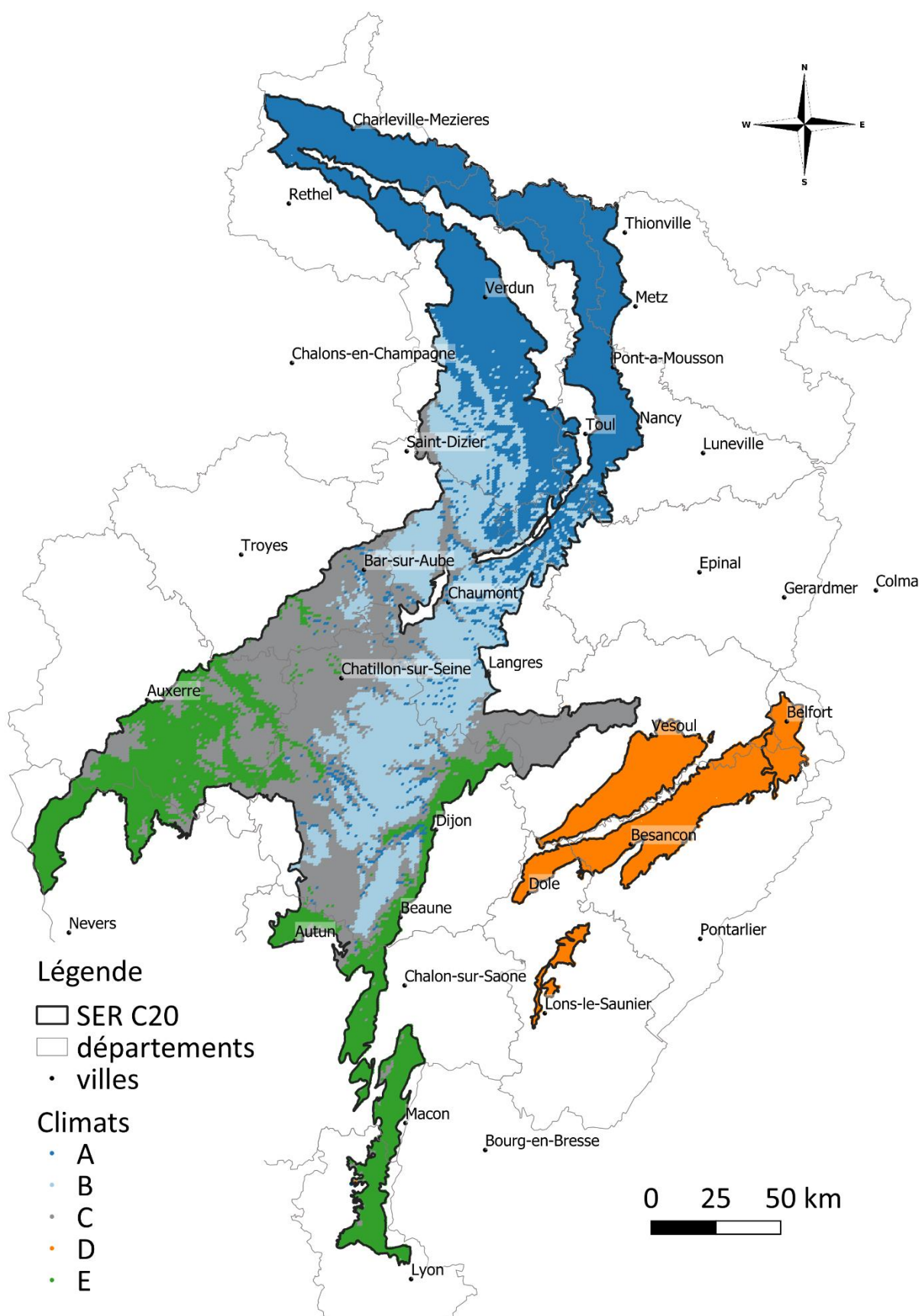


17. RÉSULTATS CARTOGRAPHIQUES DE L'ANALYSE CLIMATIQUE

Typologie en quatre climats

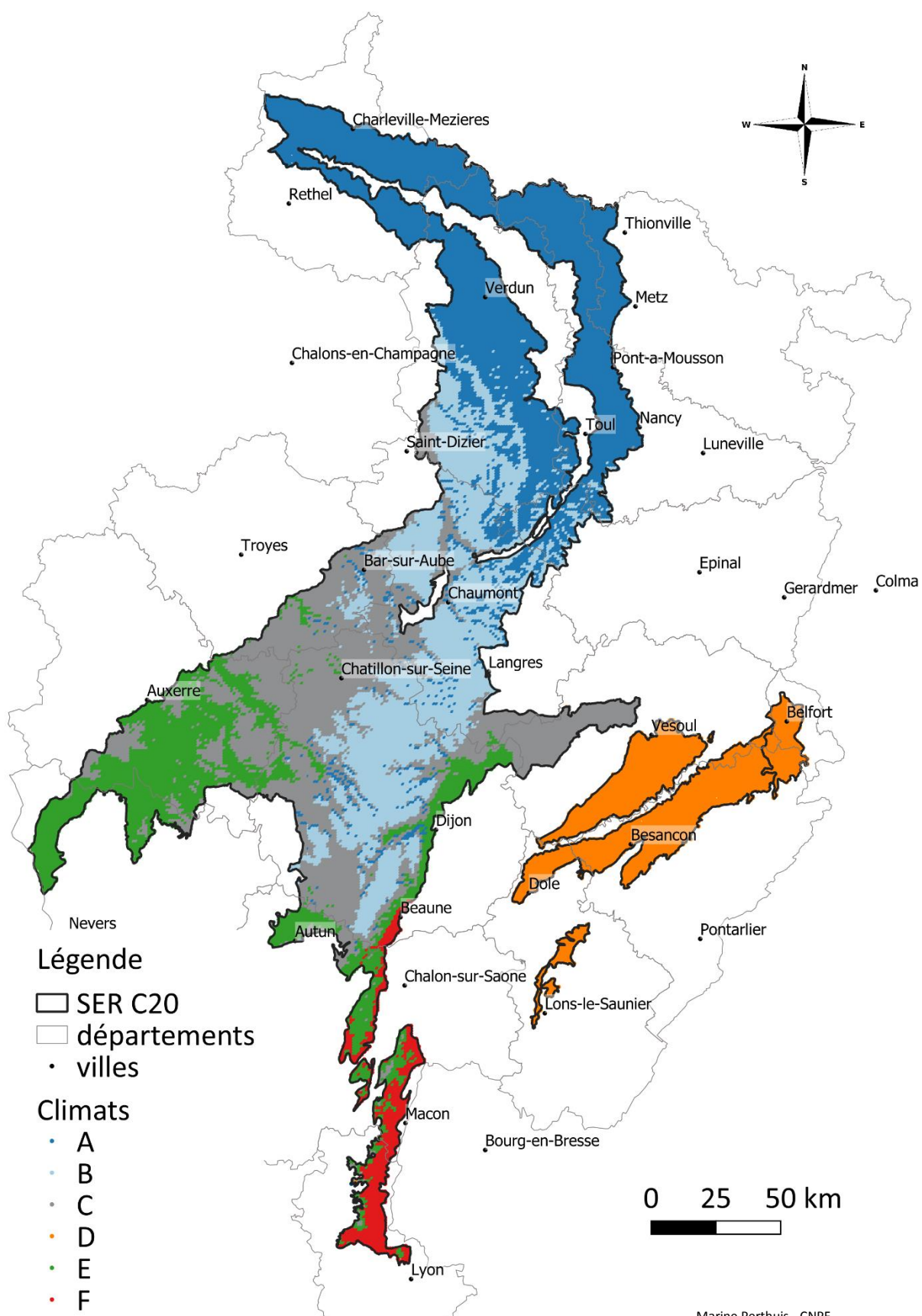


Typologie en cinq climats



Marine Perthuis - CNPF
- Septembre 2019

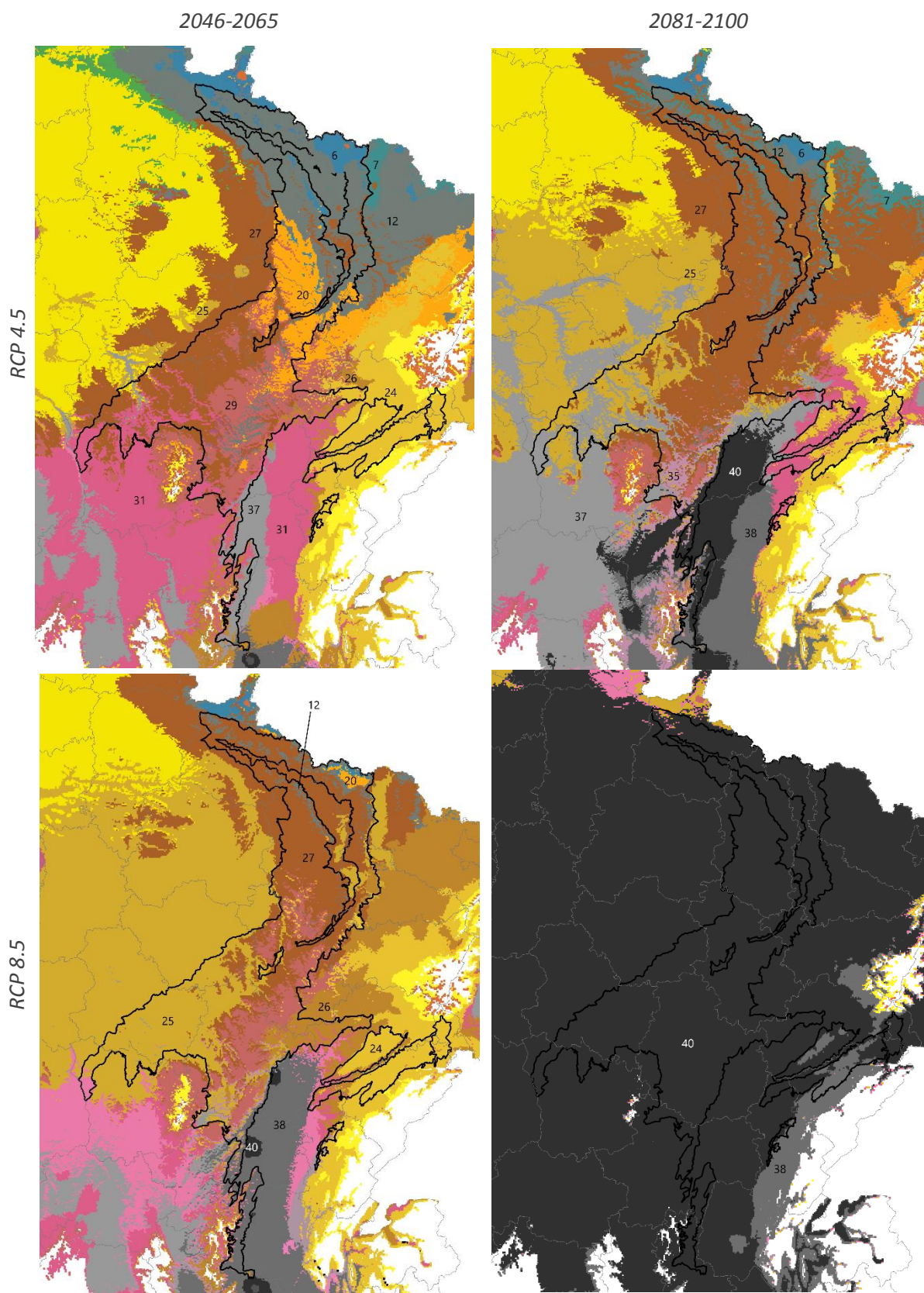
Typologie en six climats



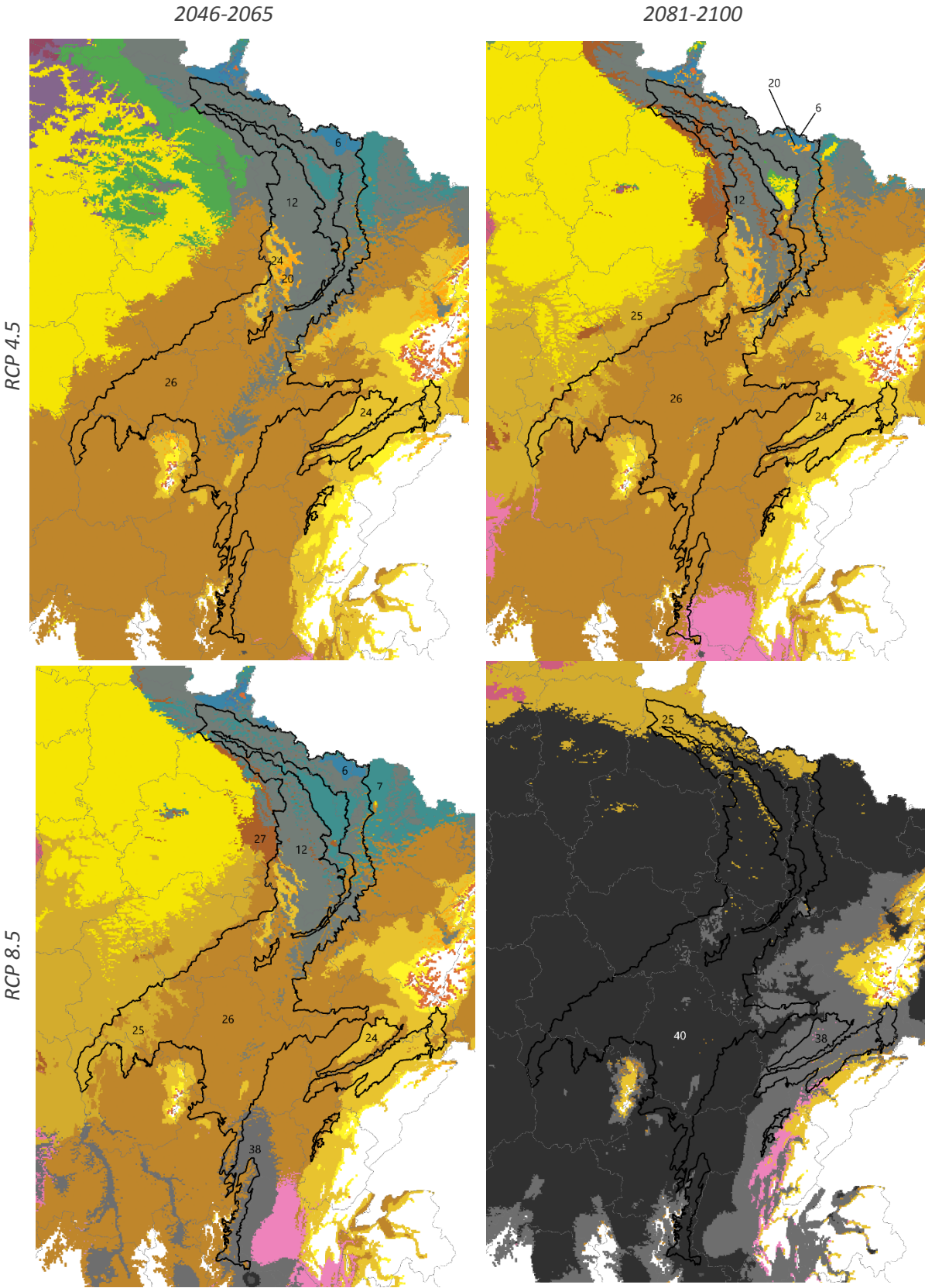
Marine Perthuis - CNPF
- Septembre 2019

18. MODÉLISATION DES POTENTIELLES ÉVOLUTIONS CLIMATIQUES

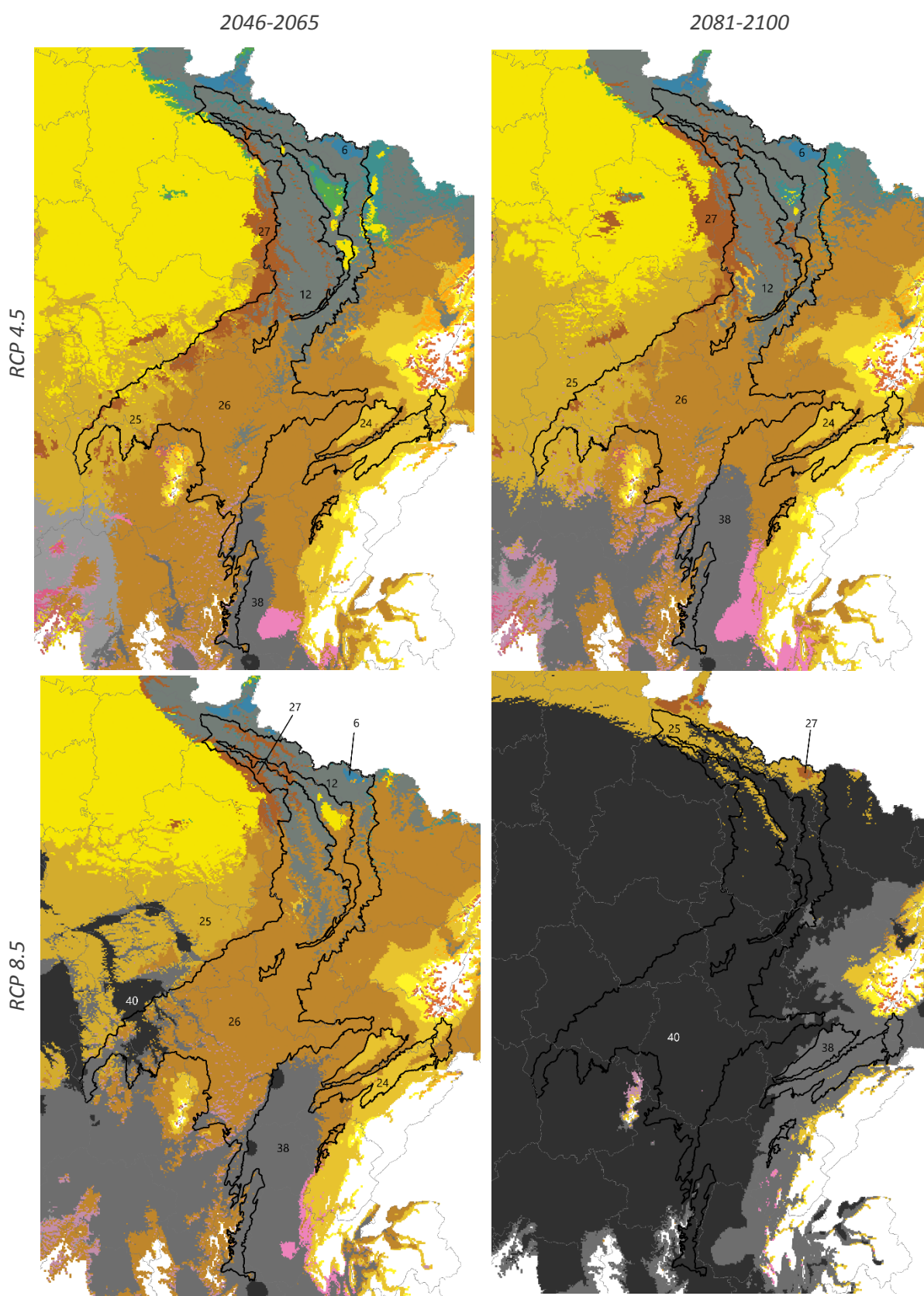
Modèle ACCESS-1-0



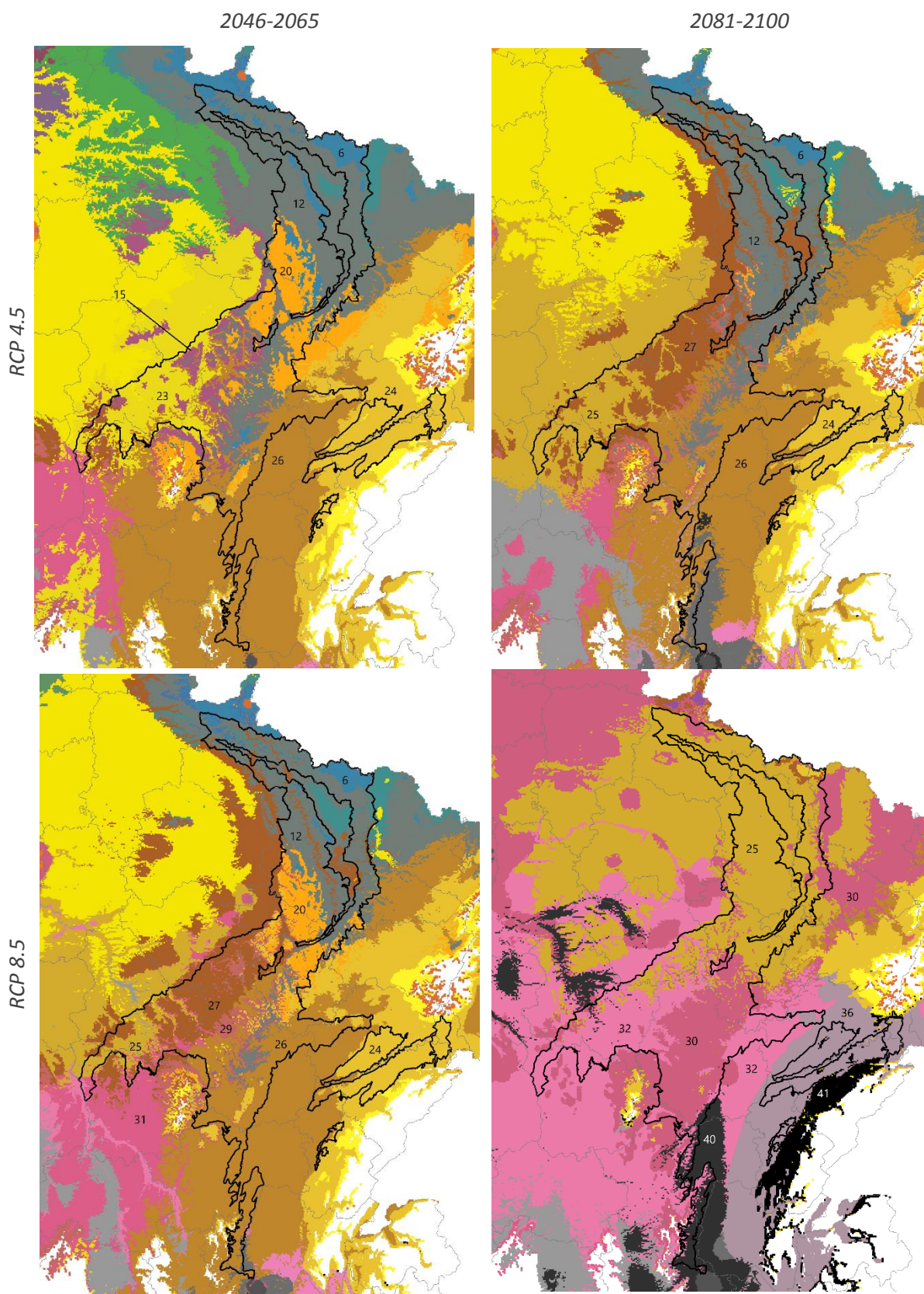
Sabine Baretts - CNPF - Août 2019



Sabine Barets - CNPF - Août 2019

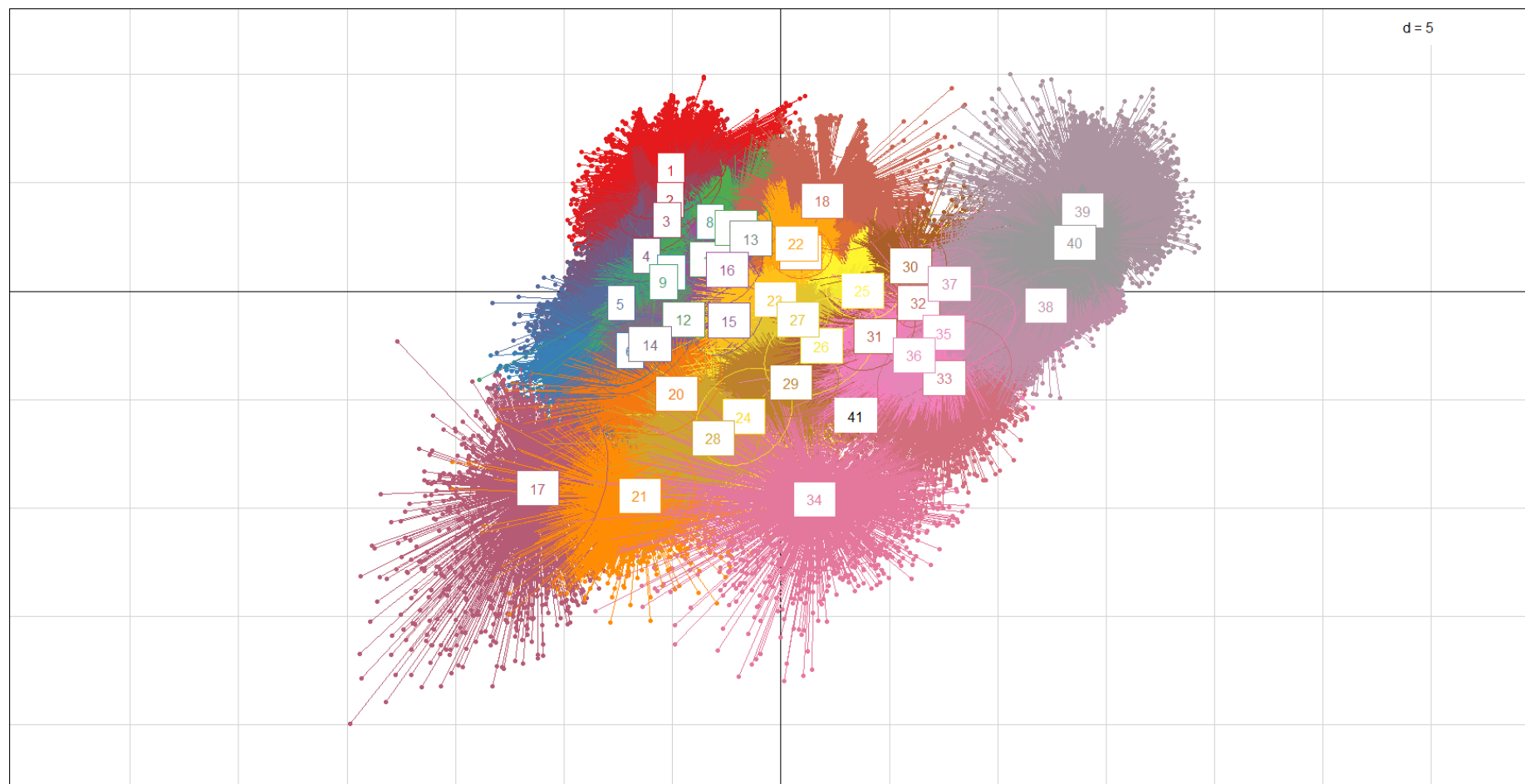


Sabine Baretts - CNPF - Août 2019



Sabine Baretts - CNPF - Août 2019

19. DISTRIBUTION DES INDIVIDUS PAR CLIMAT SUR LES AXES FACTORIELS 1 ET 2 DE L'ACP DE LA PRÉ-TYPOLOGIE CLIMATIQUE



20. FICHES DE DESCRIPTION DES US ET LEURS PRÉCONISATIONS DE CHOIX D'ESSENCES (VERSION 2 AOÛT 2019)

P1	Chênaie-Hêtraie sur sol carbonaté très superficiel											
Topographie	Plateau, dôme, abords de doline, rebord de plateau											
Extension spatiale	Ponctuelle à linéaire											
Fréquence	Champagne-Ardenne, Lorraine				Bourgogne				Franche-Comté			
	Assez rare				Assez rare				Assez commune			
Humus	Eumull ou mésomull carbonaté (ou calcique) Plus rarement : amphotomull											
Description du sol	Sol superficiel (≤ 20 cm) : texture variable souvent mêlée à la matière organique, matériau carbonaté dès la surface ou dans les 10 premiers cm, généralement très chargé en éléments grossiers calcaires.											
Substrat	Calcaire dur, souvent oolithique ou calcaire crayeux											
Végétation	GE 1	GE 2	GE 3	GE 4	GE 5	GE 6	GE 7	GE 8	GE 9	GE 10	GE 11	GE 12
	••••	••••	••••	••	•	•••						
Confusions possibles	• Si le peuplement est de belle venue, <u>effectuez un sondage supplémentaire à la pioche pour mieux appréhender la profondeur de sol</u> et vérifier si P2 ne convient pas mieux.											
Alimentation en eau	Bilan hydrique déficitaire, réserve utile faible à très faible											
Facteurs favorables												
Facteurs défavorables	Faible volume prospectable par les racines, contrainte forte à l'enracinement, faible capacité de réserve en eau, carbonatation proche de la surface											
Fertilité	Très faible à assez faible											
Peuplement observé	Hêtre, Chênes sessile et pubescent et leurs hybrides, Alisiers blanc et torminal, Cormier, Erable champêtre, Poirier et pommier, Tilleul à grandes feuilles, Bouleau verruqueux, Charme, Frêne, Merisier, Chêne pédonculé											
Essences conseillées pour la production	Essences naturellement présentes				Introductions possibles				Tentations à éviter			
	Faible qualité : Hêtre Chênes sessile, pubescent et hybride Alisiers blanc et torminal Poirier				/				Essences demandant une bonne alimentation en eau Essences ne supportant pas la carbonatation à faible profondeur			
Intérêt patrimonial	Assez rare, arbres truffiers possibles											
US Catalogue	BB-70	BB-39	DR-52		D-Bourg.		B-Lorr.	R-21	G-08	NR-Chat.		M-55
	1p	2	1110, 1120, 1130		1120, 1130		2	3		100, 110		

P1		A	B	C	D	E
Essences naturellemen t présentes	Alisier blanc	A	A	A	A	A
	Alisier torminal	A	A	A	A	A
	Bouleau verruqueux	A	A	A	A	A
	Charme	A	A	A	A	A
	Chêne pédonculé	A	A	A	A	A
	Chêne pubescent ou hybride	X	P	P	P	P
	Chêne sessile	P	P	P	P	P
	Cormier	A	A	A	A	A
	Erable champêtre	A	A	A	A	A
	Erable à feuilles d'obier	X	X	A	A	A
	Erable plane	A	A	A	A	A
	Erable sycomore	A	A	A	A	A
	Frêne	A	A	A	A	A
	Hêtre	P	P	P	P	P
	Merisier	A	A	A	A	A
	Tilleul à grandes feuilles	A	A	A	A	A
Introductions possibles	Aucune					

P3	Hêtraie-Chênaie (-Charmaie) sur dalle affleurante, lapiaz ou sol très superficiel											
Topographie	Plateau, replat, versant de pente faible, rebord de plateau, dôme ou abords de doline Sol décapé											
Extension spatiale	Ponctuelle, très peu étendue en général											
Fréquence	Champagne-Ardenne, Lorraine				Bourgogne				Franche-Comté			
	Assez commune				Assez commune				Assez commune			
Humus	Eumull calcique (mor sur les affleurements rocheux)											
Description du sol	Sol lithocalcique, dalle affleurante. Entre les blocs : argiles de décarbonatation, rarement mêlées de limons, sol décarbonaté sur au moins 10 cm en général, charge importante en éléments grossiers calcaires.											
Substrat	Calcaire dur											
Végétation	GE 1	GE 2	GE 3	GE 4	GE 5	GE 6	GE 7	GE 8	GE 9	GE 10	GE 11	GE 12
	••	••••	••••	•••	•	••••	+			+		
Confusions possibles	• Si le peuplement est de belle venue, <u>effectuez un sondage supplémentaire à la pioche pour mieux appréhender la profondeur de sol</u> et vérifier si P4 (voire P5) ne convient pas mieux. • Si vous n'observez aucune plante du GE 1, vérifier si P4 ne convient pas mieux.											
Alimentation en eau	Bilan hydrique très déficitaire, réserves en eau très faibles											
Facteurs favorables	Sol saturé, (en altitude) la réserve hydrique est moins contraignante											
Facteurs défavorables	Forte contrainte à l'enracinement, réserves en eau très limitées et faible volume de sol exploitable par les racines											
Fertilité	Très faible à assez faible											
Peuplement observé	Hêtre, Chênes sessile et pédonculé, Chênes pubescent et hybrides sessile x pubescent, Alisiers blanc et torminal, Cormier, Erable champêtre, Erable à feuilles d'obier, Tilleul à grandes feuilles, Poirier commun, Pommier sauvage, Erable sycomore, Orme des montagnes, Merisier ?, Frêne ?											
Essences conseillées pour la production	Essences naturellement présentes				Introductions possibles				Tentations à éviter			
	Qualité médiocre : Hêtre Chênes pubescent, sessile et hybride Alisiers blancs et torminals Tilleul à grandes feuilles Erables champêtre et à feuilles d'obier Poirier et pommier				Très variable selon la zone climatique				Essences demandant une bonne alimentation en eau			
Intérêt patrimonial												
US Catalogue	BB-70	BB-39	DR-52	D-Bourg.	B-Lorr.	R-21	G-08	NR-Chat.	M-55			
		3, 4	1210, 1220	1210	1	2, 4, 5		150, 170				

P3		A	B	C	D	E
Essences naturellement présentes	Alisier blanc	A	A	A	A	A
	Alisier torminal	A	A	A	A	A
	Bouleau verruqueux	A	A	A	A	A
	Charme	A	A	P	P	P
	Chêne pédonculé	A	A	A	A	A
	Chêne pubescent ou hybride sessile x pubescent		A	P	P	P
	Chêne sessile	P	P	P	P	P
	Cormier	A	A	A	A	A
	Erable champêtre	A	A	A	A	A
	Erable à feuilles d'obier			A	A	A
	Erable plane	A	A	A	A	A
	Erable sycomore	A	A	A	A	A
	Frêne	A	A	A	A	A
	Hêtre	P	P	P	P	A
	Merisier	A	A	A	A	A
	Tilleul à grandes feuilles	A	A	A	A	A
Introductions possibles	Aucune					

P4	Chênaie-Charmaie-(Hêtraie) calcicole xérocline sur argile de décarbonatation peu épaisse											
Topographie	Plateau, rebord de plateau, versant de faible pente											
Extension spatiale	Etendue											
Fréquence	Champagne-Ardenne, Lorraine				Bourgogne				Franche-Comté			
	Très commune				Très commune				Très commune			
Humus	Eumull ou mésomull calcique à eutrophe Plus rarement : oligomull ou dysmull											
Description du sol	Sol assez superficiel (20 - 40 cm), texture le plus souvent argileuse ou argilo-limoneuse (en Franche-Comté : tecture souvent à dominante limoneuse), décarbonaté sur plus de 15 cm ou sur tout le profil, chargé en éléments grossiers calcaires											
Substrat	Calcaire dur, parfois calcaire marneux											
Végétation	GE 1	GE 2	GE 3	GE 4	GE 5	GE 6	GE 7	GE 8	GE 9	GE 10	GE 11	GE 12
	••	••••	••••	•••••	•••	•••	••					
Confusions possibles	• Si vous observez le Merisier dans la strate arborée ou si le peuplement a un bel aspect, <u>effectuez un sondage supplémentaire à la pioche pour mieux appréhender la profondeur de sol</u> et vérifiez que vous n'êtes pas sur P5											
Alimentation en eau	Bilan hydrique déficitaire, réserve utile assez faible											
Facteurs favorables	Sol saturé, décarbonaté											
Facteurs défavorables	Faible volume prospectable, forte pierrosité, faible capacité de réserve en eau											
Fertilité	Assez faible à très moyenne											
Peuplement observé	Hêtre, Chênes sessile et pédonculé, Charme, Alisiers blanc et torminal, Cormier, Erable champêtre, Tilleul à grandes feuilles, Poirier, Pommier, Erables plane et sycomore, Frêne, Merisier, Erable à feuille d'obier ? Chêne pubescent ?											
Essences conseillées pour la production	Essences naturellement présentes				Introductions possibles				Tentations à éviter			
	Hêtre Chêne sessile et pubescent Charme Alisiers blanc et torminal Cormier Tilleul à grandes feuilles Merisier et Erable sycomore (selon climat) ?				Rentabilité incertaine : Cèdre de l'Atlas (si roche calcaire fissurée) Pin noir d'Autriche Pin laricio de Calabre				Essences demandant une bonne alimentation en eau			
Intérêt patrimonial												
US Catalogue	BB-70	BB-39	DR-52		D-Bourg.		B-Lorr.	R-21	G-08	NR-Chat.		M-55
	1p, 2	5	1230		1220		5	6p	2	160		

P4		A	B	C	D	E
Essences naturellement présentes	Alisier blanc	A	A	A	A	A
	Alisier torminal	A	A	A	A	A
	Bouleau verruqueux	A	A	A	A	A
	Charme	A	A	P	P	P
	Chêne pédonculé	A	A	A	A	A
	Chêne pubescent ou hybride sessile x pubescent		A	A	A	P
	Chêne sessile	P	P	P	P	P
	Cormier	A	A	A	A	A
	Erable champêtre	A	A	A	A	A
	Erables à feuilles d'obier			A	A	A
	Erable plane	A	A	A	A	A
	Erable sycomore	A	A	A	A	A
	Frêne	A	A	A	A	A
	Hêtre	P	P	P	P	A
	Merisier	A	A	A	A	A
	Tilleul à grandes feuilles	A	A	A	A	A
	Tilleul à petites feuilles	A	A	A	A	A
Introductions possibles	Cèdre de l'Atlas	AP	AP	AP	AP	AP
	Pin noir d'Autriche	AP	AP	AP	AP	AP

P7	Hêtraie-Chênaie-Charmaie mésoneutrophile à acidiline sur limons assez épais											
Topographie	Plateau, replat, dépression peu profonde de plateau, haut de versant de pente faible à moyenne (<25%)											
Extension spatiale	Assez étendue											
Fréquence	Champagne-Ardenne, Lorraine			Bourgogne				Franche-Comté				
	Assez commune			Assez peu commune				Assez commune				
Humus	Mésomull à oligomull (rarement eumull)											
Description du sol	Sol profond à très profond (généralement > 70 - 80 cm), couverture limoneuse, limono-sableuse ou limono-argileuse de plus de 40 cm reposant sur argile de décarbonatation, sol majoritairement décarbonaté, peu d'éléments grossiers (calcaires ou chailles), hydromorphie possible en profondeur (> 40 cm)											
Substrat	Calcaire dur ou marne											
Végétation	GE 1	GE 2	GE 3	GE 4	GE 5	GE 6	GE 7	GE 8	GE 9	GE 10	GE 11	GE 12
		••	•••	•••	•	••••	•••••	•••			+	
Confusions possibles	• Si la dalle calcaire apparaît à moins de 60 cm, reportez-vous à la description de l'US P6											
Alimentation en eau	Bilan hydrique positif, bonne réserve utile											
Facteurs favorables	Bonne profondeur prospectable, bonne capacité de réserve en eau, sol pas complètement désaturé en éléments minéraux											
Facteurs défavorables	Faible acidité en surface											
Fertilité	Bonne à très bonne											
Peuplement observé	Hêtre, Chênes sessile et pédonculé, Alisier torminal, Merisier, Erables plane et sycomore, Charme, Châtaignier, Tilleul à petites feuilles, Noyer commun, Frêne, Sorbier des oiseaux, Pommier, Bouleau verruqueux											
Essences conseillées pour la production	Essences naturellement présentes			Introductions possibles				Tentations à éviter				
	Hêtre, Chêne sessile Alisier torminal Merisier Erables plane et sycomore Châtaignier Tilleul à petites feuilles, Charme Noyer commun ?			Douglas, Mélèze d'Europe Sapin de Nordmann ou de Bornmuller Pins laricio de Corse et de Calabre, Pin sylvestre Chêne rouge , Robinier faux acacia Si hydromorphie > 50cm : Cèdre				/				
Intérêt patrimonial												
US Catalogue	BB-70	BB-39	DR-52		D-Bourg.		B-Lorr.	R-21	G-08	NR-Chat.		M-55
	6	10	1320, 1340 ?		1320		7	8		195		

P7		A	B	C	D	E
Essences autochtones	Alisier blanc	A	A	A	A	A
	Alisier torminal	A	A	A	A	A
	Bouleau verruqueux	A	A	A	A	A
	Charme	P	P	P	P	P
	Chêne pédonculé	P	A	A	A	A
	Chêne sessile	P	P	P	P	P
	Erable champêtre	A	A	A	A	A
	Erable plane	A	A	A	A	A
	Erable sycomore	A	A	A	A	A
	Frêne	A	A	A	A	A
	Hêtre	P	P	P	P	P
	Merisier	A	A	A	A	A
	Tremble	A	A	A	A	A
	Tilleul à petites feuilles	A	A	A	A	A
Si hydromorphie profonde (> 50 cm)	Châtaignier	A	A	A	A	A
	Noyer commun	A	A	A	A	A
Introductions possibles	Epicéa commun	A	A	A	A	A
	Mélèze d'Europe	AP	AP	AP	AP	AP
	Pins laricio de Corse et de Calabre	AP	AP	AP	AP	AP
	Pin sylvestre	AP	AP	AP	AP	AP
	Robinier faux acacia	AP	AP	AP	AP	AP
	Sapins de Bornmuller et de Nordmann	AP	AP	AP	AP	AP
	Cèdre de l'Atlas	AP	AP	AP	AP	AP
si hydromorphie profonde (> 50 cm)	Chêne rouge	AP	AP	AP	AP	AP
	Douglas	AP	AP	AP	AP	AP
	Noyers noir et hybrides	AP	AP	AP	AP	AP

VA3	Chênaie - Hêtraie thermoxérophile de versant ensoleillé											
Topographie	Haut ou mi versant d'Adret											
Extension spatiale	Linéaire ou étendue											
Fréquence	Champagne-Ardenne, Lorraine				Bourgogne				Franche-Comté			
	assez commune				peu commune				assez commune			
Humus	eumull, mésomull ou amphotomull carbonaté (ou calcique)											
Description du sol	Sol superficiel (< 30 - 40 cm), argilo-limoneux, parfois humifère, généralement carbonaté sur tout le profil ou décarbonaté sur moins de 10 cm en surface (plus rarement décarbonaté entièrement (VA4 superficielle)), à forte charge en éléments grossiers calcaires. GROIZE POSSIBLE											
Substrat	Calcaire dur ou tendre (oolithique)											
Végétation	GE 1	GE 2	GE 3	GE 4	GE 5	GE 6	GE 7	GE 8	GE 9	GE 10	GE 11	GE 12
	• • •	• • • •	• • • • •	+	+	• • •	•					
Confusions possibles	• Si la description ne convient pas, les conditions mésoclimatiques sont peut-être moins prononcées qu'il n'y paraît. Reportez-vous à la clé des versants mésothermes .											
Alimentation en eau	Bilan hydrique très déficitaire, réserve utile médiocre											
Facteurs favorables	le sol est parfois décarbonaté en surface											
Facteurs défavorables	forte charge en éléments grossiers (contrainte à l'enracinement), capacité de réserve hydrique très faible, exposition chaude											
Fertilité	très faible à faible											
Peuplement observé	Hêtre, Chêne sessile, Chêne pubescent et hybride, Alisiers blanc et torminal, Cormier, Erable champêtre, Tilleul à grandes feuilles, Chêne pédonculé, Frêne, Erable sycomore, Merisier, Charme											
Essences conseillées pour la production	Essences naturellement présentes				Introductions possibles				Tentations à éviter			
	Alisiers blanc et torminal Cormier Erable champêtre Chêne pubescent				Rentabilité incertaine : Cèdre de l'Atlas Pin noir d'Autriche				Essences demandant une bonne alimentation en eau. Essences ne supportant pas la carbonatation à faible profondeur.			
Intérêt patrimonial	assez rare dans le nord-est de la SER (espèces montagnardes rares en plaine)											
US Catalogue	BB-70	BB-39	DR-52	D-Bourg.		B-Lorr.	R-21	G-08	NR-Chat.	M-55		
	11	15	2210, 2220, 2300p	2120		14	12, 22, 23	5p	210, 250			

VA3		A	B	C	D	E
Essences autochtones	Alisier blanc	A	A	A	A	A
	Alisier torminal	A	A	A	A	A
	Charme	A	A	A	A	A
	Chêne pédonculé	A	A	A	A	A
	Chênes pubescent et hybride		P	P	P	P
	Chêne sessile	P	P	P	P	P
	Cormier	A	A	A	A	A
	Erable champêtre	A	A	A	A	A
	Erable à feuilles d'obier		A	A	A	A
	Erable plane	A	A	A	A	A
	Erable sycomore	A	A	A	A	A
	Frêne	A	A	A	A	A
	Hêtre	P	P	P	A	A
	Merisier	A	A	A	A	A
Introductions possibles	Tilleul à grandes feuilles	A	A	A	A	A
	Tilleul à petites feuilles	A	A	A	A	A
	Pin noir d'Autriche	AP	AP	AP	AP	AP
	Cèdre de l'Atlas	AP	AP	AP	AP	AP

VU4	Hêtraie-Chênaie-Charmaie calcicole d'Ubac											
Topographie	Pente moyenne à faible d'Ubac ou en situation confinée, haut de versant d'Ubac											
Extension spatiale	Linéaire (rarement étendue)											
Fréquence	Champagne-Ardenne, Lorraine				Bourgogne				Franche-Comté			
	Assez commune				Commune				Assez commune			
Humus	Eumull											
Description du sol	Sol généralement assez profond (> 50 - 60 cm), texture argilo-limoneuse ou limono-argileuse sur argile, généralement décarbonaté sur quelques cm en surface, charge variable en éléments grossiers calcaires (souvent moins qu'en VU3). GROISE POSSIBLE											
Substrat	Colluvions calcaires, calcaire dur ou marne											
Végétation	GE 1	GE 2	GE 3	GE 4	GE 5	GE 6	GE 7	GE 8	GE 9	GE 10	GE 11	GE 12
	+	••	••••	•••	••	••••	+			••	+	
Confusions possibles	• Si vous n'observez aucune plante du GE 10 ou que vous trouvez une plante du GE 1 ou bien si le peuplement n'est pas de belle venue, vérifiez que vous n'êtes pas sur une VU1. • Si vous êtes en haut de versant de pente <25%, reportez -vous à la clé des plateaux. • Si aucune description ne convient, la situation mésoclimatique est peut-être moins marquée qu'il n'y paraît, reportez-vous à la clé des versants mésothermes.											
Alimentation en eau	Bilan hydrique très positif, réserve utile bonne à excellente											
Facteurs favorables	Sol profond, très bonne capacité de réserve en eau et bons apports hydriques, sols saturés à bonne activité biologique											
Facteurs défavorables	Contrainte à l'enracinement forte si la charge en éléments grossiers est importante											
Fertilité	Bonne à excellente (notamment sur marne profonde)											
Peuplement observé	Hêtre, Erables plane et sycomore, Alisiers blanc et torminal, Frêne, Orme de montagne, Tilleul à grandes feuilles, Erable champêtre, Merisier, Chêne sessile, Charme, Tilleul à petites feuilles											
Essences conseillées pour la production	Essences naturellement présentes				Introductions possibles				Tentations à éviter			
	Hêtre Erables plane et sycomore Merisier ? Tilleul à grandes feuilles Tilleul à petites feuilles Chêne sessile ?				Mélèze d'Europe Sapin de Nordmann ou de Bornmuller?				Si carbonaté : essences ne supportant pas la carbonatation			
Intérêt patrimonial												
US Catalogue	BB-70	BB-39	DR-52		D-Bourg.		B-Lorr.	R-21	G-08	NR-Chat.		M-55
	14	20	2700		2500		10	20	7	235		

VU4		A	B	C	D	E
Essences autochtones	Alisier blanc	A	A	A	A	A
	Alisier torminal	A	A	A	A	A
	Charme	A	A	A	A	A
	Chêne sessile	A	A	A	A	A
	Chêne pédonculé	A	A	A	A	A
	Erable champêtre	A	A	A	A	A
	Erable plane	A	A	A	A	A
	Erable sycomore	A	A	A	A	A
	Frêne	A	A	A	A	A
	Hêtre	P	P	P	P	P
	Merisier	A	A	A	A	A
	Orme des montagnes	A	A	A	A	A
	Tilleul à grandes feuilles	A	A	A	A	A
	Tilleul à petites feuilles	A	A	A	A	A
Introductions possibles	Aucune					

VM3	Hêtraie - chênaie - charmaie sur colluvions argilo-limoneuses assez profondes de versant mésotherme											
Topographie	Mi ou bas de versant mésotherme, pente moyenne à forte, replat											
Extension spatiale	linéaire à étendue											
Fréquence	Champagne-Ardenne, Lorraine				Bourgogne				Franche-Comté			
	assez rare				assez commune				commune			
Humus	Eumull, mésomull											
Description du sol	sol assez profond (> 30 - 50 cm), à texture argileuse ou argilo-limoneuse (ou limono-argileuse sur moins de 30 cm), décarbonaté sur plus de 40 cm ou sur tout le profil, à charge variable en éléments grossiers calcaires ou avec peu de chailles											
Substrat	calcaire plus ou moins fissuré											
Végétation	GE 1	GE 2	GE 3	GE 4	GE 5	GE 6	GE 7	GE 8	GE 9	GE 10	GE 11	GE 12
		•	••••	•••	••	•••	••	+				
Confusions possibles	• Si vous observez 1 plante du GE 1 et que la charge en éléments grossiers calcaires est importante, cette US peut être confondue avec VA4. • Dans la partie inférieure du versant, l'alimentation en eau peut-être proche de celle de F2N. • Si la couche de limons est très épaisse ou si pente <25%, vérifiez que vous n'êtes pas en P7.											
Alimentation en eau	Bilan hydrique positif, réserve utile assez bonne à bonne (en fonction de la profondeur)											
Facteurs favorables	Profondeur de sol peut être importante, charge en éléments grossiers peut être peu élevée et donc la capacité de réserve en eau peut être bonne voire très bonne											
Facteurs défavorables	Profondeur de sol peut être peu importante, charge en éléments grossiers peut être élevée et donc la capacité de réserve en eau peut être moyenne											
Fertilité	très moyenne à bonne											
Peuplement observé	Hêtre, Chênes sessile et pédonculé, Alisiers torminal et blanc, Cormier, Erable champêtre, Erables plane et sycomore, Tilleuls à grandes feuilles et à petites feuilles, Merisier, Frêne, Charme, Bouleau verruqueux, Tremble, Pommier											
Essences conseillées pour la production	Essences naturellement présentes				Introductions possibles				Tentations à éviter			
	Hêtre Chêne sessile Alisier torminal Cormier Erables plane et sycomore Merisier Tilleul à petites feuilles				Cèdre, Sapin de Nordmann ou de Bornmuller Pin laricio de Corse <i>Sols les plus profonds :</i> Douglas, Mélèze d'Europe Robinier faux-acacia Chêne rouge				Essences demandant une bonne alimentation en eau (Frêne)			
Intérêt patrimonial												
US Catalogue	BB-70	BB-39	DR-52		D-Bourg.		B-Lorr.	R-21	G-08	NR-Chat.		M-55
	16	22	2820p		2230			26p		290		

VM3		A	B	C	D	E
Essences autochtones	Alisier blanc	A	A	A	A	A
	Alisier torminal	A	A	A	A	A
	Charme	P	P	P	P	P
	Chêne pédonculé	A	A	A	A	A
	Chêne sessile	P	P	P	P	P
	Cormier	A	A	A	A	A
	Erable champêtre	A	A	A	A	A
	Erable plane	A	A	A	A	A
	Erable sycomore	A	A	A	A	A
	Frêne	A	A	A	A	A
	Hêtre	P	P	P	P	A
	Merisier	A	A	A	A	A
	Tilleul à grandes feuilles	A	A	A	A	A
	Tilleul à petites feuilles	A	A	A	A	A
Introductions possibles	Cèdre de l'Atlas	AP	AP	AP	AP	A
	Pins laricio de Corse et de Calabre	AP	AP	AP	AP	AP
	Pin sylvestre	AP	AP	AP	AP	AP
si sols profonds (> 60cm)	Douglas	AP	AP	A	AP	A
	Mélèze d'Europe	AP	AP	AP	AP	A
	Sapin de Nordmann ?	AP	AP	AP	AP	A

