



LES QUESTIONS - RÉPONSES

Comment faire évoluer le **diagnostic stationnel** forestier en contexte de changement climatique ?

Céline PERRIER, *CNPF-IDF*
Jean LADIER, *ONF*



Auteurs : Céline PERRIER, CNPF-IDF
Jean Ladier, ONF

Citation du document : PERRIER C. & LADIER J., 2025.
Comment faire évoluer le diagnostic stationnel forestier en
contexte de changement climatique ? *Question A3*.
Les cahiers du réseau AFORCE. Collection de cahiers
« Les Questions-Réponses ». RMT AFORCE. 32 pages.

Ont participé au financement de ce projet :

- le ministère en charge de l'Agriculture et des Forêts
- l'interprofession nationale France Bois Forêt

Conception graphique et mise en page : Agathe Legrand

ISBN : 978-2-38558-104-6
© RMT AFORCE, 2025

LES QUESTIONS - RÉPONSES

Comment faire évoluer le diagnostic stationnel forestier en contexte de changement climatique ?

Céline PERRIER, *CNPF-IDF*

Jean LADIER, *ONF*



PRÉAMBULE

Les dernières publications du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) font état d'une évolution alarmante des températures à l'échelle planétaire. Ce changement inquiète les forestiers qui font face depuis plusieurs années déjà à des impacts de plus en plus perceptibles (baisse de croissance, mortalités de branches, dépérissements d'arbres, etc.). Ils craignent qu'à cette évolution progressive viennent s'ajouter des à-coups climatiques (sécheresses, gels précoces ou tardifs, etc.) avec des impacts ayant de graves conséquences secondaires telles que des incendies ou des invasions par des bioagresseurs pouvant s'étendre sur de vastes territoires. La forêt devra aussi faire face à des changements plus globaux tels que des besoins et usages nouveaux du bois, une demande sociétale croissante, l'émergence de maladies liée à la mondialisation des échanges commerciaux.

Dans ce contexte, les forestiers s'interrogent sur l'attitude à adopter : faut-il cesser d'intervenir dans les peuplements pour laisser faire la nature, poursuivre les interventions comme prévu ou modifier la sylviculture par anticipation ? Les questions sont nombreuses et témoignent d'une inquiétude grandissante. Pour éclairer les décisions, le réseau AFORCE travaille à mettre à disposition des forestiers des synthèses de connaissances, un panorama des outils d'aide à la décision disponibles et des éléments techniques permettant d'appuyer l'évolution des pratiques et de rendre plus efficace l'adaptation des forêts.

PRÉSENTATION DE LA COLLECTION

Réalisé dans le cadre des actions du réseau AFORCE, avec l'appui d'un groupe de travail multi-acteurs, ce cahier appartient à une **Collection de cahiers « Les Questions-Réponses » centrée sur l'adaptation des forêts au changement climatique**. Chacun des cahiers de cette collection s'appuie sur les éléments de connaissance et le savoir-faire accumulés au sein et en dehors du réseau AFORCE ces dernières années (réalisation d'outils, questionnements des praticiens, définitions, simulations, bilans d'expérimentations, etc.), et sur une synthèse de documents sélectionnés dans la littérature scientifique et technique.

Les questions traitées dans cette collection de cahiers sont regroupées autour de cinq thématiques : diagnostic, choix des essences, gestion, renouvellement des peuplements et anticipation du risque associé au changement climatique. **Les réponses apportées visent à aider au raisonnement du forestier et à soutenir ses décisions pratiques** : comprendre l'enjeu, effectuer un bon diagnostic, utiliser les outils appropriés et identifier un panel d'options alternatives dans lesquelles piocher.

À QUI S'ADRESSE CETTE COLLECTION ?

Elle s'adresse prioritairement aux gestionnaires, aux propriétaires forestiers avertis, aux conseillers et aux agents de développement.

Elle peut également être mise à profit par les décideurs publics, les formateurs, les enseignants et les étudiants.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
I. RAPPEL DES CONNAISSANCES	8
1. Station forestière et type de station	9
2. Impacts observés des évolutions climatiques sur les composantes de la station	10
3. Principaux enjeux autour de la mise en œuvre du diagnostic stationnel en contexte de changement climatique	11
II. PRINCIPALES RECOMMANDATIONS	14
1. Choisir l'échelle appropriée pour l'appréhension des facteurs écologiques	15
2. Utilisation de données écologiques à basse résolution	17
2.1. Principaux supports fournissant des données écologiques à basse résolution	17
2.2. Intérêts et limites	18
3. Utilisation de données écologiques spatialisées à résolution fine	18
3.1. Exemples de valorisation des données écologiques spatialisées à résolution fine	19
3.2. Intérêts et limites	20
4. Mise en œuvre du diagnostic stationnel local	21
4.1. Nouvelles approches en support au diagnostic	23
4.2. Intérêts et limites	25
III. CONSEILS ET POINTS DE VIGILANCE	26
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	28

CONSEILS DE LECTURE

Le vocabulaire nécessaire à la compréhension est défini en notes de bas de page. Si besoin, d'autres définitions sont consultables à cette adresse : www.reseau-aforce.fr

Les références de type D_2 , C_1 , etc. incluses dans le texte sont des renvois aux autres questions traitées dans les cahiers « Les Questions-Réponses ».

INTRODUCTION

Le forestier s'appuie sur un diagnostic stationnel pour déterminer les essences à planter lors d'un renouvellement ou à favoriser en gestion courante, dans un peuplement en place. C'est une étape déterminante qui fournit la matière nécessaire pour raisonner la prise de décisions et qui, de ce fait, conditionne la réussite de la gestion. Cette prise de décision s'appuie également sur plusieurs autres diagnostics (peuplement, état sanitaire...) (cf. A₁ et A₂). **Dans le cas du diagnostic de la station, le forestier s'intéresse plus particulièrement aux caractéristiques écologiques et aux potentialités sylvicoles d'une parcelle, favorables ou défavorables à la production forestière.**

Auparavant, les caractéristiques écologiques étaient implicitement considérées comme stables dans le temps. Mais depuis plusieurs années, l'une des composantes majeures de la station, le climat, subit des changements importants. Cela amène à s'interroger sur l'évolution des potentialités des stations et sur la nécessité d'adapter la méthode utilisée pour leur caractérisation. Pour autant, ce nouveau contexte ne remet pas en cause l'importance de

ce diagnostic. Bien au contraire ! Il est à présent crucial de bien identifier et de mesurer quelles vont être les nouvelles conditions dans lesquelles les arbres vont croître dans l'avenir. Les contraintes hydriques, climatiques et édaphiques, doivent faire partie des critères évalués. Le forestier doit également s'interroger sur l'augmentation des vulnérabilités et des risques induits. Il importe enfin qu'il élargisse son échelle d'observation pour compléter l'information relevée localement.

Les outils d'aide au diagnostic disponibles commencent à intégrer ces besoins d'évolution et de nouveaux outils sont en cours de développement pour aider le forestier dans cette nécessaire anticipation. Leur usage nécessite cependant de prendre quelques précautions qui sont détaillées dans ce cahier.

I. RAPPEL DES CONNAISSANCES



1. Station forestière et type de station

La station forestière est définie comme « *une étendue de terrain de superficie variable, homogène dans ses conditions physiques et biologiques (mésoclimat¹, topographie, composition floristique et structure de la végétation spontanée, sol). Elle justifie, pour une essence déterminée, une (ou plusieurs) sylviculture(s) avec laquelle (ou lesquelles), on peut espérer une productivité comprise entre des limites connues* » (Bastien & Gauberville, 2011). **Décrire les stations permet ainsi d'évaluer les caractéristiques et potentialités forestières d'une parcelle.** S'appuyant sur cette analyse, les essences principales et d'accompa-

gnement susceptibles d'y produire un peuplement durable, vigoureux et de qualité, peuvent être identifiées.

À partir des années 1970, de nombreuses études régionales ont permis de définir des types de stations (ou unités stationnelles) regroupant des stations comparables du point de vue des conditions de croissance. **Des documents de référence ont alors été établis : les catalogues de stations et, sous une forme simplifiée, les guides de stations (cf. Illustration 1).** La couverture géographique de ces documents reste encore très inégale d'une région à l'autre².

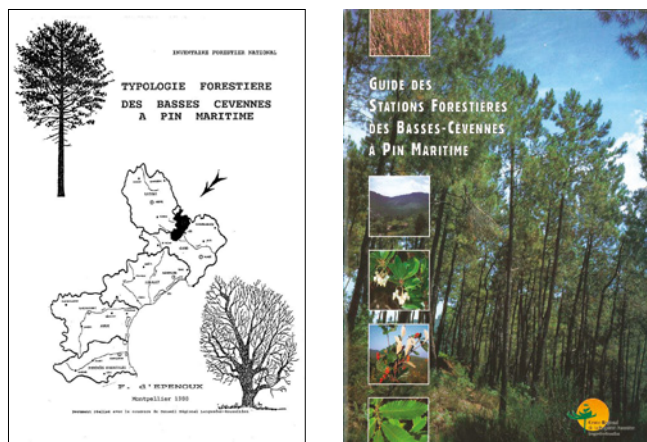


Illustration 1 : Catalogue des stations (typologie) et guide simplifié des basses-Cévennes à pin maritime

¹ Concerne une région naturelle de taille variable, allant de quelques centaines à quelques milliers de km² (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

² L'inventaire forestier de l'Institut National de l'information Géographique et forestière (IGN) permet de visualiser sur son site Internet les parties du territoire national bénéficiant d'un document édité (jusque 2018), relatif à la typologie des stations forestières (IGN, 2018).

Impacts observés des évolutions climatiques sur les composantes de la station

Les grandes composantes de la station (climat, sol, végétation) sont en interaction les unes avec les autres (*cf. Illustration 2*). Une modification de l'une d'elles peut avoir des répercussions plus ou moins grandes sur les autres et sur les équilibres existants.

■ **Le climat**, autrefois constant à l'échelle de la vie du peuplement, subit une évolution tendancielle et par à-coup vers des conditions nouvelles, parfois non documentées. Il doit aujourd'hui être décrit comme un élément dynamique, avec une attention particulière à porter sur les régimes pluviométrique et thermique, essentiels pour répondre aux besoins physiologiques de l'arbre (lumière, chaleur, alimentation en eau).

■ **Le sol**, bien que beaucoup plus stable, est affecté indirectement. L'irrégularité des précipitations influe sur le bilan hydrique³ et par conséquent, sur la quantité d'eau disponible pour la végétation dans le réservoir d'eau du sol. Si la taille de ce réservoir est globalement peu affectée par les chan-

gements climatiques à l'échelle humaine, il faut considérer que son niveau de remplissage estival sera plus faible. Il pourra aussi être réduit dès le printemps (où il devrait être à son maximum), notamment pour les sols disposant d'un grand réservoir. Dans certains cas, la sécheresse peut être à l'origine d'une modification de la composition de la microfaune du sol⁴ et des processus de décomposition de la litière.

À plus long terme, le changement climatique est aussi susceptible de favoriser la minéralisation⁵ de l'azote. Enfin, un accroissement des précipitations hivernales peut induire un engorgement accru dans les sols à nappe superficielle et une altération de la structure des horizons des sols engorgés.

■ **La végétation**, subit également des modifications puisque les aires de répartition des espèces changent, avec une plus ou moins grande inertie, sous l'influence du climat (*cf. B1*).

³ Variation du contenu en eau du sol résultant des apports et des pertes, calculés sur une période déterminée (jour, semaine, décennie, saison, année) (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

⁴ Très petits animaux (entre 10 et 200 µm) présents dans le sol, dans les horizons de décomposition de la litière végétale.

⁵ Dégradation complète de la matière organique du sol sous l'influence des micro-organismes, conduisant à la libération de molécules ou d'ions minéraux simples (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

Ainsi, en impactant les composantes de la station, le changement climatique peut faire évoluer ses potentialités forestières, avec une influence à terme sur la dynamique spontanée de la

végétation qui s'y développe. Les contours (délimitation géographique) et les caractéristiques des types stationnels (ou unités stationnelles) sont donc susceptibles de se modifier.

Source : Sylvain Caudin © CNPF



Illustration 2 : Jeune futaie de pin sylvestre de versant à Callune (*Calluna vulgaris*)

3. Principaux enjeux autour de la mise en œuvre du diagnostic stationnel en contexte de changement climatique

La connaissance des conditions de croissance pour les arbres est un préalable incontournable pour appuyer toute prise de décision forestière. **Elle doit aujourd'hui être complétée par une observation de l'évolution locale du climat et par une évaluation de la sensibilité potentielle de**

la station à cette évolution. Cette appréciation peut s'avérer complexe en contexte d'incertitude (cf. C1).

Connaître les caractéristiques des sols qui peuvent être considérées en première approche comme stables, devient indispensable (cf. Illustration 3).

Un intérêt particulier doit être apporté à leurs propriétés physiques (profondeur, pierrosité, texture) qui conditionnent le fonctionnement hydrique de la station et la ressource en eau disponible pour les arbres, principaux facteurs limitants de leur croissance. Cette connaissance du sol est aussi essentielle pour guider les pratiques des forestiers (interventions à réaliser avec des engins forestier, intensité des récoltes...). Ces pratiques ne doivent pas amener de perturbations supplémentaires, au

risque d'ajouter des facteurs aggravants (tassement, orniérage, baisse de fertilité...) à l'impact climatique existant.

Enfin, l'importance accrue de ce diagnostic et les nouvelles conditions dans lesquelles il est mis en œuvre impliquent l'utilisation d'outils adaptés - intégrant le changement climatique - et nécessitant un accompagnement par des professionnels.

*Illustration 3 : Description de sol après sondage
à la tarière pédologique (a)
et sur fosse (b).*

(a) Source : Sylvain Gaudin © CNPF



(b) Source : Aurélien Perret © CNPF



II. PRINCIPALES RECOMMANDATIONS



Le diagnostic stationnel peut être mené à plusieurs échelles (local, régional, national) (cf. A1) en fonction des objectifs du propriétaire, du besoin de précision (variable selon le stade de la gestion par exemple) et des capacités de mise en œuvre. Ainsi, pour bien appréhender les grandes tendances, notamment les perspectives d'évolution du climat et des facteurs limitants pour les essences, il est intéressant de se situer d'abord dans un contexte régional voire national. Pour cela, des données spatialisées à large échelle sont maintenant facilement accessibles. Mais au moment d'une décision importante sur une parcelle, tel qu'un changement d'essence, un diagnostic stationnel local complémentaire reste nécessaire. Il y a aussi des avancées notables dans ce domaine.

1. Choisir l'échelle appropriée pour l'appréhension des facteurs écologiques

Alors qu'auparavant le gestionnaire forestier ne disposait que des données de la station météorologique la plus proche pour approcher le climat de sa parcelle, et d'indicateurs floristiques et pédologiques relevés localement pour déterminer le type de station, **il a maintenant accès à toutes ces informations via des bases de données spatialisées à différentes échelles.** Cependant, il convient d'être vigilant dans l'utilisation de telles données. Qu'elles soient sous forme de cartes ou qu'il s'agisse de données brutes, leur interprétation doit tenir compte de leur échelle de validité, qui est corrélée à leur résolution spatiale.

À l'échelle nationale, de grands types de climat peuvent aisément être identifiés, avec des transitions plus ou moins rapides entre climat

atlantique, continental et méditerranéen. Ces types de climats se distinguent principalement par leurs régimes pluviométriques. **À une échelle plus fine, il est nécessaire de distinguer contexte de plaine et contexte de montagne** notamment pour les facteurs de type précipitations ou températures (cf. *Illustration 4*).

■ **En plaine,** quand le relief est peu accidenté, le climat est assez homogène à l'échelle d'une région naturelle, surtout en matière de températures. Un tel constat n'est plus aussi vrai à des échelles plus larges telles que les régions naturelles (SER) ou les Grandes régions écologiques (GRECO). Les écarts locaux de température en fonction de la situation (plateau, vallon, coteau

et orientation) restent modérés. C'est à cette échelle que l'on peut distinguer les séquences géologiques et leur rôle dans la structuration du paysage. Ces deux arguments, climatique et géologique, ont justifié le découpage des régions naturelles et les premières études de stations ont été calées dessus. Les unités de relief, plateaux, collines, versants, vallons, sont généralement assez typées dans une région naturelle, et constituent des motifs de répétition structurants. C'est dans ces unités que sont définies les

stations forestières, en fonction des conditions locales de topographie et de sol.

■ **En montagne**, tout est compliqué par le relief qui amplifie les oppositions de versants et crée des gradients altitudinaux de température et de pluviométrie. Le climat n'est donc pas du tout homogène à l'échelle d'une région naturelle. C'est au sein des unités de relief, découpées en classes d'exposition et en classes d'altitude, que l'on peut définir des entités climatiquement homogènes.

Facteur écologique	Échelle nationale	Grande région écologique		Région naturelle		Unité de relief Massif		Petite forêt Parcelle		Station forestière	
	P & M	P	M	P	M	P	M	P	M	P & M	
Type de climat	V+	H		H		H		H		H	
Précipitations	V	V+		H	V+	H	V+	H		H	
Température & Evapotranspiration potentielle (ETP)	I	V	I	V+	V	H	V+	H		H	
Lithologie¹	I	I	I	V	V+	V+	H	H	V+	H	
					H			V+			
Topographie locale	I	I		I		V		V+		H	
Sol & Déficit hydrique	I	I		I		V	I	V+		H	

Illustration 4 : Finesse d'appréhension des facteurs écologiques en fonction du contexte géographique et de l'échelle d'observation (V = facteur variable à cette échelle (+ = meilleure échelle d'appréhension) ; H = facteur homogène à cette échelle ; I = facteur invisible à cette échelle ; P = plaine / M = montagne).

¹ Ensemble des caractéristiques (couleur, composition, texture, etc.) des roches constituant une couche ou une formation géologique (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

2. Utilisation de données écologiques à basse résolution

Les modèles climatiques produisent généralement des données à large échelle, avec une résolution située entre 8 km et 100 km, donc trop basse (trop faible) pour aider à la réalisation d'un diagnostic stationnel local. **C'est pourquoi des travaux complémentaires visant une descente d'échelle sont souvent nécessaires, afin de produire des jeux de données plus adaptés à cette application** (cf. §II.3).

2.1. Principaux supports fournissant des données écologiques à basse résolution

■ **Pour caractériser le climat**, les produits de Météo-France que sont *Aurelhy*² pour le climat actuel et *DRIAS* pour les climats futurs sont une référence (cf. Illustration 5)



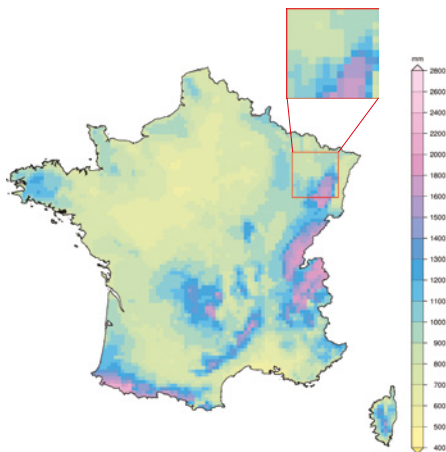
Cumul de précipitations [mm]
pour le RCP4.5 : Scénario avec une politique climatique visant à stabiliser les concentrations en CO2
Horizon proche (2021-2050) - Moyenne annuelle
DRIAS-2020 : Modèles CNRM-CMS / ALADIN3 : correction ADAMONT

Source : Drias, les futurs du climat

Illustration 5 : Représentation cartographique du cumul de précipitation sur la France (moyenne annuelle) pour le RCP 4.5 (scénario d'évolution future des concentrations de gaz à effet de serre), à l'horizon 2050. Zoom sur le nord des Vosges mettant en évidence la basse résolution des données (maille de 8 km de côté).

(cf. C1). Il existe d'autres bases de données et modèles spatialisés pour l'Europe ou pour le monde. La plateforme *ClimEssences* utilise les données du modèle *CHELSA* qui propose des données climatiques à une résolution de 1 km pour le climat actuel et pour des scénarios de climat futur.

■ **Pour caractériser les substrats**, les cartes géologiques du BRGM³, du 1 : 1 000 000 au 1 : 50 000, sont en libre accès sur *Infoterre*. Il existe également des cartes pédologiques, à l'échelle nationale et régionale, mais elles s'appuient



² Les mots en italique renvoient à des plateformes, guides ou outils. Les liens vers ces éléments, ou vers des articles en faisant la présentation, sont consultables dans les références bibliographiques de ce cahier.

³ Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

plutôt sur des données agricoles. Elles sont recensées par certains des outils du *Gis Sol*⁴. Pour décrire les sols forestiers, le portail *Silvae* propose certains paramètres pédologiques modélisés (pH, réserve utile en eau, engorgement, etc.). Ils sont construits à partir des relevés de l'Inventaire Forestier de l'IGN et de valeurs bioindiquées issues de la base de données de végétation *Ecoplant* (accessible via le portail *Silvae*).

2.2. Intérêts et limites

Les représentations de données écologiques à l'échelle nationale ou régionale utilisant des données à basse résolution mettent en évi-

dence les variabilités de conditions de croissance et de distribution potentielle des espèces (dépendantes de leur niche écologique⁵). **Elles offrent ainsi une bonne capacité d'appréhension globale, notamment des enjeux climatiques.** Elles permettent de prendre de la hauteur vis-à-vis des variations locales et s'adressent donc préférentiellement aux décideurs et aux aménagistes.

La principale limite d'utilisation de telles données résulte de leur basse résolution spatiale, qui restreint leur échelle de validité. En particulier, la variabilité locale des sols ne peut être représentée.

3. Utilisation de données écologiques spatialisées à résolution fine

Dans les meilleurs cas, les plans de gestion s'appuient sur des cartes de stations. Ces cartes peuvent cependant s'avérer insuffisantes si, par exemple, elles n'intègrent pas bien le bilan hydrique, au moment où l'avenir de certaines essences pose question. **Les données spatialisées**

à résolution fine (données phyto-écologiques⁶, pédologiques) sont aujourd'hui plus diverses et plus facilement mobilisables que par le passé. Parallèlement, des travaux ont permis de proposer des données climatiques à l'échelle de la parcelle, modulées en fonction du relief.

⁴ Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Sols (*Gis Sol*).

⁵ Ensemble de paramètres qui caractérisent les exigences écologiques ou le mode de vie d'une espèce (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

⁶ Ensemble de données descriptives de la flore, du climat et du sol permettant, après analyse, de mettre en évidence les interactions entre la végétation et son environnement (exigences, comportement, caractère indicateur de certaines espèces...).

C'est le cas par exemple des données climatiques fournies par la base de données *Digitalis* (hébergée par le portail *Silvae*) et valorisées dans des outils accompagnant les diagnostics à l'échelle de la parcelle (cf. §II.4). Cette descente d'échelle a été rendue possible grâce à des modèles numériques de terrain (MNT) de plus en plus précis permettant la prise en

compte des effets d'altitude et de versant. L'opération est un gain en termes d'échelle spatiale d'utilisation de la donnée, mais il engendre une plus forte incertitude sur le produit qui en résulte (fiabilité inférieure de la donnée) (cf. C1).

3.1. Exemples de valorisation des données écologiques spatialisées à résolution fine

Les évolutions récentes ouvrent la voie à de nouvelles approches permettant une meilleure prise en compte des facteurs écologiques locaux, ainsi qu'à des combinaisons de variables déterminantes (cf. Encadré 1).

Elles ont notamment permis la conception de « **cartes prédictives des types de stations existants⁷** » ou « **pré-carte automatique** » (cf. Encadré 2 et Illustration 6). Ces cartes peuvent faciliter le travail du forestier qui dispose alors d'un pré-découpage des stations, à valider, affiner et compléter ensuite sur le terrain avec les facteurs manquants. L'emprise géographique de telles cartes peut être très large, indépendamment de leur résolution spatiale ; cela dépend uniquement du domaine de validité du modèle utilisé.

Bien sûr, la méthode classique⁸ de cartographie des stations par échan-



Exemple d'application cartographique permettant d'enrichir et d'extrapoler des données écologiques existantes

Zoom50m est une application cartographique encore en cours de développement qui illustre les possibilités offertes par la combinaison de données écologiques spatialisées à résolution fine. Elle utilise des cartes ou des données ponctuelles locales de réserve utile en eau du sol et les combine avec des données climatiques de résolution 50 m pour calculer un bilan hydrique local. Ce bilan - compatible avec les seuils fournis par *ClimEssences* - permet d'évaluer le déficit hydrique, actuel et futur de chaque type de station, et le risque d'incompatibilité des essences selon ce critère.

⁷ Ces cartes proposent une délimitation stationnelle théorique, en l'état actuel.

⁸ Se référer à Gaudin & Bazin, 2004.

tillonnage systématique ou stratifié reste pertinente lorsqu'elle peut être mise en œuvre. D'autres applications cartographiques sont en cours de développement pour enrichir ou extrapoler des données écologiques existantes.

3.2. Intérêts et limites

Les initiatives utilisant des données écologiques spatialisées à résolution fine relèvent d'une démarche

analytique, qui passe par l'identification des facteurs écologiques discriminants (dont le climat) et par la modélisation spatiale de ceux qui s'y prêtent. **Elles permettent de combiner des données pour obtenir des indices performants, caractérisant plus efficacement les facteurs écologiques qui déterminent les potentialités forestières.** Par ailleurs, l'approche cartographique et la modélisation facilitent la représentation de plusieurs futurs possibles.



Quelques exemples de cartes prédictives des types de station existants

- La *Typologie des stations des Préalpes sèches* est une pré-cartographie qui croise des classes de rayonnement solaire direct, des classes d'altitude et la topographie locale, sur la base de corrélations établies entre ces facteurs et la flore. La carte est ensuite complétée sur le terrain par des critères pédologiques.
- La *Cartographie prédictive des stations forestières du massif vosgien* combine le niveau trophique du sol, le climat local, et la réserve en eau du sol.
- La démarche *Prestation-NO* met à disposition des cartes prédictives des stations pour la Normandie, le Centre – Val-de-Loire, Hauts-de-France et Île-de-France. Elle croise le pH bioindiqué (obtenu par corrélation avec des données d'observation de la végétation), le niveau d'hydromorphie et la réserve utile en eau du sol à partir de modèles établis entre les données pédologiques et floristiques de l'Inventaire Forestier de l'IGN, et des cartes géologiques, topographiques et pédologiques.

Extrait de la pré-cartographie des stations dans les environs de Mortain (50)

Unités de la pré-cartographie des stations forestières dans les environs de Mortain

111	113	122	211	213	222	311	313	322
112	121	123	212	221	223	312	321	323

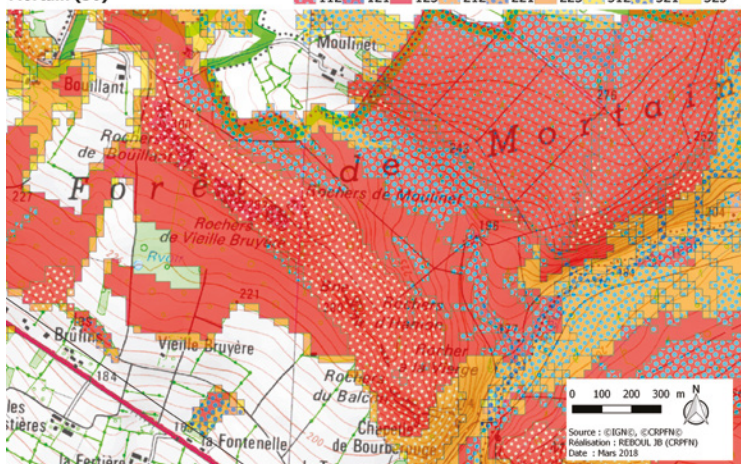


Illustration 6 : Extrait de la pré-cartographie des stations dans les environs de Mortain (50).

4.

Mise en œuvre du diagnostic stationnel local

Le diagnostic stationnel local repose sur une description fine des composantes sol et végétation, complétée depuis peu par une prise en compte dynamique du climat. **Les documents d'aide au diagnostic des stations forestières évoluent pour en tenir compte** (cf. Encadré 3). Les démarches de rénovation utilisées diffèrent selon les documents. Aussi, il est important avant toute utilisation, de bien en prendre connaissance.

Pour la description des sols

L'évaluation de la réserve utile en eau nécessite de se référer aux

coefficients de rétention en eau par classe de texture les plus adaptés aux sols forestiers français. Son appréciation dépend fortement de la profondeur de sol observée qui dépend à son tour de la méthode de prospection, surtout pour les sols superficiels ou à forte charge en éléments grossiers. Aussi, associer un sondage à la tarière à la réalisation d'une fosse peut améliorer l'estimation de cette réserve (cf. Illustration 7). Dans tous les cas, il est utile de prendre le temps de prospecter et de bien conserver les informations collectées.

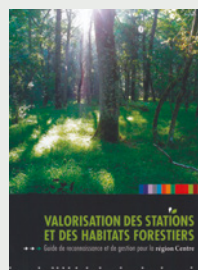
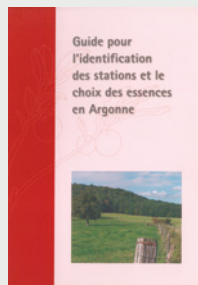
Quelques démarches innovantes de rénovation des guides pour l'identification des stations et le choix des essences

Le *guide pour l'identification des stations et le choix des essences en Argonne* a innové en 2007 avec la prise en compte explicite des évolutions climatiques. Un niveau de sensibilité au réchauffement climatique est attribué à chaque unité stationnelle et un niveau de vigilance est déterminé pour les essences conseillées.

Le *guide de valorisation des stations et des habitats forestiers de la région Centre*, édité en 2010, propose quant à lui d'intégrer des cartes des variabilités climatiques de la région en fonction du déficit hydrique climatique*.

Les *guides pour le choix des essences des plateaux calcaires du nord-est* et de *Normandie* ont poursuivi cette dynamique en proposant d'autres méthodes de prise en compte du changement climatique (définition de zonages climatiques, estimation du risque de dégradation des conditions de croissance sous climat futur, différenciation des choix entre court, moyen et long terme, etc.).

* Correspond, dans un bilan hydrique, à la différence négative entre les entrées d'eau dans le système (essentiellement les précipitations) et les sorties (évaporation et transpiration des végétaux) (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).



Pour l'observation d'espèces indicatrices

Face aux difficultés d'appréciation des composantes climatiques et édaphiques du bilan hydrique, l'observation d'espèces indicatrices peut apparaître comme une solution alternative plus facile et plus accessible au non spécialiste : si l'eau est moins abondante et les températures plus élevées, la flore devrait le refléter. Ce n'est pas si simple. Des évolutions de composition vers une flore plus xérophile⁹ sont effectivement constatées en certains points. Mais cette évolution ne traduit pas toujours l'ampleur du changement climatique. Les changements de flore reflètent surtout les perturbations subies : ouverture du peuplement,

eutrophisation¹⁰ ou tassement du sol. À l'inverse, la maturation des écosystèmes, qui est à l'œuvre dans de nombreuses forêts, se traduit plutôt par l'apparition d'espèces mésophiles¹¹, révélatrices d'un microclimat plus tamponné sous couvert. Les suivis RENECOFOR¹² ont montré la difficulté de voir des signaux clairs concernant l'évolution de la flore en lien avec le changement climatique.

4.1. Nouvelles approches en support au diagnostic

En parallèle de ces rénovations des guides de stations, de nouvelles approches s'appuyant sur la modélisation se développent. **Elles mettent à disposition notamment des simu-**

Source : Sylvain Gaudin © CNPF



Illustration 7 : Détermination floristique (gauche) et caractérisation du sol (droite).

⁹ Qualifie une espèce ou une communauté tolérant une certaine sécheresse de l'atmosphère ou du sol, voire des deux à la fois (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

¹⁰ Processus (naturel ou artificiel) d'enrichissement excessif d'un sol ou d'une eau par un apport important de substances nutritives (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

¹¹ Dans un gradient d'humidité, espèce éliminée par une sécheresse marquée ou une humidité excessive du substrat (extrait de Bastien & Gauberville, 2011).

¹² Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR).



Illustration 8 : Utilisation en forêt de l'application « FORECCAsT by BioClimSol ».

lations réalisées sur la base de données récoltées sur le terrain, pour accompagner le diagnostic.

L'application « **FORECCAsT by BioClimSol** » guide pas à pas le forestier dans le relevé simplifié des caractéristiques stationnelles, sylvicoles et sanitaire du peuplement (cf. *Illustration 8*). Elles sont ensuite intégrées comme données d'entrée à un modèle de vigilance climatique qui permet d'identifier un niveau de risque de dépérissement dans les conditions climatiques actuelles et futures pour les essences en place. L'outil propose à l'issue de l'analyse une liste d'essences potentielles à privilégier.

L'application **For-Eval** permet, quant à elle, de calculer la réserve utile en

eau du sol (ou « réservoir en eau utilisable ») en un point donné, après avoir renseigné des critères de description du sol. Cette valeur peut ensuite être utilisée dans d'autres outils.

Enfin, le modèle **BILJOU**® propose pour caractériser la contrainte hydrique des simulations du bilan hydrique journalier passé et futur d'un peuplement, pour plusieurs scénarios climatiques. Il permet d'apprécier d'une part la consommation en eau du peuplement, et d'autre part de visualiser l'intensité, la précocité et la durée des épisodes de sécheresses passés et leur récurrence.

Le recours à ces nouveaux outils demande cependant une formation et une certaine technicité.

4.2. Intérêts et limites

Les approches locales sont les seules à pouvoir déclencher des décisions concrètes de gestion.

La définition de l'état actuel des stations est guidée par des outils faciles d'accès et éprouvés, conduisant à des listes d'essences à favoriser ou à introduire. Cet état des lieux est encore aujourd'hui utile pour définir les conditions de croissance pour les arbres. À l'échelle locale, il est peu probable par exemple que les effets de la topographie changent radicalement en climat futur (versant sud

toujours plus chaud que versant nord, altitude élevée toujours plus froide qu'altitude plus faible...). De même pour les principales caractéristiques des sols. **Les typologies actuelles restent donc pertinentes, même dans un contexte de changement climatique.** Seul leur domaine de validité peut être conduit à évoluer. Les initiatives de rénovation des guides de station permettent d'intégrer cette composante évolutive du climat (notamment par observation des anomalies) et d'affiner la liste des essences en conséquence.

III. CONSEILS ET POINTS DE VIGILANCE



1.

Ce diagnostic et son analyse font appel à de nombreuses connaissances (pédologie, botanique, écologie, etc.) et savoir-faire. Il est recommandé de s'entourer de professionnels.

2.

La réalisation d'un diagnostic stationnel doit être raisonnée en tenant compte de plusieurs paramètres : nature du projet, urgence à le mettre en œuvre, moyens disponibles (cf. A1).

3.

Ne pas négliger les enseignements précieux que peuvent fournir les analyses stationnelles passées (diagnostics antérieurs, cartes, etc.) qui sont toujours valorisables.

4.

Veiller à tenir compte des différents scénarios d'évolution possibles du climat lors de l'élaboration du diagnostic (cf. C1).

5.

Être attentif à la résolution des données climatiques et écologiques utilisées : elles déterminent leur échelle de validité.

6.

Rester vigilant quant aux échelles et aux limites d'utilisation et d'interprétation des outils.

7.

Ne pas hésiter à coupler les approches (cartes et guide de station, modèles comparables ou complémentaires...).

8.

Toujours compléter son analyse par une observation détaillée sur le terrain.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES POUR ALLER À L'ESSENTIEL

- Brusten T., 2017. Typologie des stations et choix des essences en région. In Dossier « Stations forestières : connaître les atouts et les contraintes de sa forêt ». Forêt Entreprise, n° 236. pp. 30-33.
- Brusten T., Gaudin S. & Madrolles F. (coord.), 2016. Les typologies des stations forestières : des outils d'actualité. Dossier. Forêt Entreprise, n° 228. pp. 16-56.
- IGN, 2018. Inventaire Forestier. « La typologie des stations forestières ». Disponible sur : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique20> (Consulté le 19 juin 2023).
- Le Bouler H., 2014. Forêt et changements climatiques : associer les concepts de niche écologique et de station forestière pour comprendre et préparer l'avenir. Innovations Agronomiques, n° 41 (2014). pp. 129-139.
- Pousse N. & Augusto L., 2020. Gestion durable des sols forestiers - Nouvelles connaissances et boîte à outils. Rendez-Vous Techniques de l'ONF, n° 67-68. pp. 3-14.

RÉFÉRENCES PRATIQUES (plateformes, guides et outils cités)

- Baretts S., 2021. Plateaux calcaires du nord-est. Guide pour l'identification des stations et le choix des essences prenant en compte les changements climatiques. CNPF Grand Est. 170 pages.
- BRGM. Infoterre. Disponible sur : <https://infoterre.brgm.fr> (Consulté le 20 juin 2023).
- Canellas C., Gibelin A.-L., Lassègues P., Kerdoncuff M., Dandin Ph. & Simon P., 2014. Les normales climatiques spatialisées Aurelhy 1981-2010 : températures et précipitations. La Météorologie, n° 85. pp. 47-55.
- Gaudin S. & Bazin N., 2004. La cartographie des stations : méthodes et conseils. CRPF Champagne-Ardenne. 22 pages.
- IGN, 2018. Inventaire Forestier. « Les données d'inventaire ». Disponible sur : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique240> (Consulté le 19 juin 2023).
- INRAE, 2023. Biljou, modèle de bilan hydrique forestier. Disponible sur : <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/fr/> (Consulté le 20 juin 2023).

- INRAE, AgroParisTech, Université de Lorraine & Laboratoire SILVA. *Silvae*, Système d'Informations Localisées sur la Végétation, les Arbres et leur Environnement. Disponible sur : <https://silvae.agroparistech.fr/home/> (Consulté le 19 juin 2023).
- INRAE. *Gis Sol*, partageons la connaissance des sols. « Les outils du Gis Sol ». Disponible sur : <https://www.gissol.fr/outils> (Consulté le 21 juin 2023).
- Ladier J., 2004. Les stations forestières des Préalpes sèches : définition, répartition, dynamique, fertilité. ONF Méditerranée, Cellule Régionale d'Appui Technique. 124 pages.
- Lemaire J. & Cano B. (coord.), 2022. *Bioclimsol*, outil collaboratif pour agir face aux dérèglements climatiques. Dossier. Forêt Entreprise n° 264. pp. 10-56.
- Madrolles F. & Reboul J.-B., 2018. Guide de choix des essences de Normandie. CRPF Normandie. 210 pages.
- Madrolles F., Reboul J.-B. & Piedallu C., 2019. Pré-cartographie des stations forestières sur le Nord-Ouest de la France. *In Dossier* « Forêt et changement climatique : accompagner la décision d'adaptation ». Forêt Entreprise, n° 249. pp. 27-29.
- MTECT, 2015. *DRIAS les futurs du climat*. Disponible sur : <http://www.drias-climat.fr/> (Consulté le 11 janvier 2021).
- Perrier C., 2007. Guide pour l'identification des stations et le choix des essences en Argonne. CRPF Champagne-Ardenne et Lorraine-Alsace. 118 pages.
- Piedallu C., Gégout JC., Cornu, J.F. & Cluzeau, C., 2006. Cartographie prédictive des stations forestières du massif vosgien, élaboration, validation et applications. Rapport d'étude. ENGREF. 95 pages.
- RMT AFORCE, 2021. *ClimEssences*. Disponible sur : <https://climessences.fr> (Consulté le 16 juin 2021).
- Rosa J. (coord.), Riou-Nivert Ph. & Paillassa É., 2011. Guide de l'expérimentation forestière. Principe de base - Prise en compte du changement climatique. Annexe H « Protocole de description des stations forestières ». RMT AFORCE. pp. 191-213.
- Sevrin É., 2011. Valorisation des stations et des habitats forestiers. Guide de reconnaissance et de gestion pour la région Centre. CRPF Île-de-France Centre. 165 pages.
- WSL. Chelsa, *Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas*. Disponible sur : <https://chelsa-climate.org/> (Consulté le 19 juin 2023).

AUTRES RÉFÉRENCES CONSULTÉES

- Bastien Y. & Gauberville C. (coord.), 2011. Vocabulaire forestier : écologie, gestion et conservation des espaces boisés. Institut pour le Développement Forestier. 608 pages.
- Ferry B., Eglin A. & Bispo A., 2014. Matières organiques des sols forestiers et changements climatique et atmosphérique. Revue Forestière Française, n° LXVI – 4-2014. pp. 425-436.
- Lebourgeois F. & Piedallu Ch., 2005. Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques. Revue Forestière Française, n° LVII – 4-2005. pp. 331-356.
- Piedallu C., Pousse N., Bruand A., Dietz L. & Fiquepron J., 2018. Estimer le réservoir en eau des sols - Quelles fonctions de pédotransfert le forestier doit-il utiliser ? Forêt Entreprise n° 242. pp. 28-32.
- Richard J.-B., Piedallu C., Gaudin S., & Legay M., 2013. Utilisation de cartes prédictives pour améliorer la prise en compte de la contrainte hydrique dans le choix des essences. Revue Forestière Française, n° LXV – 1-2013. pp. 37-56.

Source : Sylvain Gaudin © CNPF



Ficaire fausse renoncule (Ranunculus ficaria), espèce forestière appréciant les sols profonds, assez frais.

Source : Sylvain Gaudin © CNPF



Premiers horizons d'un profil de sol forestier.

REMERCIEMENTS

Le réseau AFORCE remercie le groupe de travail qui s'est mobilisé pour imaginer collectivement cette Collection de cahiers « Les Questions-Réponses » et en assurer la conception, depuis la sélection des questions à traiter jusqu'à la validation des contenus rédigés : *Céline Perrier (CNPF-IDF, coordination du projet)*, *Jean-Michel Escurat (EPLEFPA des Vosges)*, *Damien François (Forêt d'ici)*, *Jean Ladier (ONF)*, *Guy Landmann (GIP ECOFOR)*, *François Lebourgeois (AgroParisTech)*, *Céline Meredieu (INRAE)*, *Emmanuel Montailler (Chambre d'Agriculture Pays de la Loire)*, *Julie Pargade (CNPF Nouvelle-Aquitaine)*, *Philippe Riou-Nivert (CNPF-IDF)*, *Jacques Rousselin (Experts Forestiers de France)*, *Ceydric Sedilot-Gasmi (SFCDC)*, *Éric Sevrin (CNPF-IDF)*. Il remercie également le Comité Spécialisé Gestion Durable du ministère en charge de l'Agriculture et des Forêts, consulté pour sélectionner les questions.

Ce cahier a bénéficié des résultats et conclusions d'un groupe de travail multi-acteurs sur le « Diagnostic des stations et choix des essences » animé par le réseau AFORCE entre 2012 et 2013, pour lequel nous tenons à exprimer notre reconnaissance.

Les auteurs adressent aussi leurs chaleureux remerciements à l'ensemble des relecteurs qui ont participé à la sélection et à l'organisation des contenus permettant de répondre à la question posée et qui se sont investis dans les différentes étapes de relecture : *Thomas Brusten (CNPF-IDF)*, *Sylvain Gaudin (CNPF Grand Est)*, *Noémie Pousse (ONF)*.

Enfin, les auteurs témoignent leur gratitude aux personnes ayant accepté de mettre à disposition leurs photos pour l'illustration de ce cahier.

Diagnostiquer l'avenir d'un peuplement en contexte de changement climatique

- A₁** La démarche de diagnostic : comment évaluer l'avenir d'un peuplement, d'une forêt ou d'un massif en contexte de changement climatique ?
- A₂** Comment faire évoluer le diagnostic sanitaire d'un peuplement en contexte de changement climatique ?
- A₃** Comment faire évoluer le diagnostic stationnel forestier en contexte de changement climatique ?

Choisir les essences à planter ou à favoriser en contexte de changement climatique

- B₁** Sur quels critères supplémentaires choisir les essences à planter ou à favoriser en contexte de changement climatique ?

Raisonnement la gestion des peuplements en place en contexte de changement climatique

- C₁** Quelles sont les incertitudes liées au changement climatique et comment impactent-elles la gestion des forêts ?
- C₂** Quels itinéraires sylvicoles privilégier pour accompagner l'adaptation de la forêt au changement climatique ?

Relever le défi du renouvellement des peuplements en contexte de changement climatique

- D₁** Comment renouveler un peuplement dans le contexte du changement climatique ?
- D₂** Quelles nouvelles précautions prendre pour la plantation et l'entretien des jeunes peuplements en contexte de changement climatique ?
- D₃** Quelles nouvelles précautions prendre pour la conduite d'une régénération naturelle en contexte de changement climatique ?

Prévenir et gérer les risques en lien avec le changement climatique et leurs impacts

- E₁** Les risques pour les forêts sont croissants et multiples : comment s'en prémunir ?



AFORCE est un réseau mixte technologique (RMT) consacré à l'adaptation des forêts au changement climatique.

Créé en 2008, il rassemble aujourd'hui 16 partenaires, acteurs de la recherche, du développement, de la gestion, de la formation et de l'enseignement. Son objectif est d'accompagner les forestiers dans la préparation des forêts au changement climatique, en veillant à la diffusion des connaissances, à la fourniture d'outils d'aide à la décision, à l'encadrement des initiatives d'adaptation et à la centralisation de l'information. Parmi ses missions, le réseau s'efforce notamment de créer des lieux d'échange (ateliers, groupes de travail, etc.) et de mobiliser l'expertise pour faciliter la mise à disposition des connaissances et des savoir-faire pour la gestion. Il organise régulièrement des appels à projets pour soutenir des études à finalités pratiques.

Il est animé par l'Institut pour le Développement Forestier (CNPf-IDF). Il bénéficie d'un soutien du ministère en charge de l'Agriculture et des Forêts, de l'interprofession nationale France Bois Forêt et de l'ensemble de ses partenaires.

Financeurs :



Document rédigé en collaboration avec :

