

9,50 €

n° 264

3/2022

# FORÊT

## entreprise

*La revue technique des forestiers*

## BioClimSol, agir face au dérèglement climatique

Renouvellement  
des chênaies  
Maîtrise des coûts

Forestiers  
& société  
Coupe rase



## BioClimSol® : diagnostic sylvo-climatique Formation à l'utilisation de l'application mobile



Florent Gallois © CNPF

**750 € net taxes\***

\* remise à partir du 5<sup>e</sup> stagiaire d'un même organisme

### Formations en 2023

**1 j. en salle, 1 j. sur le terrain**

**14 heures** (+ 2 h de préparation à distance)

- **Juin** : Maine-et-Loire (49), climat océanique et ligérien
- ♦ **Avril** : Haute-Saône (70), étages colinéen et montagnard
- **Septembre** : Ardèche (07), climat méditerranéen, montagnard

Public : experts, gestionnaires et techniciens forestiers

**15 participants maximum** (10 minimum)

Formation réservée aux professionnels forestiers. Possibilité de dispenser des formations intra dès 12 personnes.

<https://www.cnpf.fr/se-former-s-informer/nos-stages-et- formations/les- formations-de-l-idf>

Développé par le CNPF, BioClimSol® est un outil de diagnostic sylvo-climatique d'aide à la décision dans le contexte de changement climatique à différentes échelles. Il évalue les niveaux de vigilance liés aux risques de dépérissement d'un peuplement sur pied. Des recommandations de gestion des peuplements en place et un choix de 48 essences pour les projets de reboisement sont proposés.

Déployée sous la forme d'une application numérique (sur tablette ou smartphone v.5), elle est destinée aux gestionnaires et aux conseillers, et nécessite une formation technique pour un emploi optimal sur le terrain. La formation comprend la licence individuelle d'utilisation de l'application FORECCAsT by BioClimSol avec une hotline (2 ans).

Une démonstration est disponible sur le lien : [https://youtu.be/ y7Bup1LgKM](https://youtu.be/y7Bup1LgKM)

### Compétences visées

- Connaître et utiliser le concept et le vocabulaire spécifique de l'application FORECCAsT by BioClimSol
- Maîtriser les étapes d'un diagnostic :
  - téléchargement des données (climat et modèles numériques)
  - collecte des données de terrain : peuplement, contexte stationnel, diagnostic sanitaire, niveau de dépérissement avec les protocoles ARCHI et DEPERIS
- Interpréter les résultats des modules peuplement ou reboisement :
  - l'indice BioClimSol obtenu (IBS), et l'adaptation des recommandations de gestion pour les peuplements sur pied
  - la liste d'essences de boisement proposées, critères de choix d'essences avec ou sans IBS
  - l'intégration des limites de l'outil et éventuelles adaptations.

### Objectifs pédagogiques

- Identifier le contexte et les apports de l'outil BioClimSol®, ses atouts et limites
- Savoir réaliser un diagnostic sylvo-climatique avec l'application FORECCAsT by BioClimSol

### Méthodes

Présentation des bases du fonctionnement de l'application mobile FORECCAsT by BioClimSol.

Présentation des méthodes de qualification des dépérissements ARCHI et DEPERIS.

Mise en situation de réalisation de relevés et diagnostics sur le terrain :

- Démonstration commune de recueil des données sur une parcelle
- Réalisation individuelle de relevés pour des diagnostics BioClimSol®
- Analyse et commentaire des résultats et des recommandations sylvicoles.

### Ils utilisent l'application BioClimSol...

« L'avantage de l'application BioClimSol, c'est tout d'abord son ergonomie. Elle est facile à utiliser, nul besoin d'être un.e expert.e en informatique pour être à l'aise dans la manipulation de l'outil. Cette application est utile, car nous savons que les plantations d'aujourd'hui et de demain devront obligatoirement composer avec le réchauffement climatique. »

Cindy Chateignier, étudiante en BTS Gestion forestière

« Cet outil est un complément très intéressant à l'utilisation des guides de stations lors des diagnostics stationnels. Il apporte des éléments de réflexion sur la vulnérabilité des essences présentes dans une parcelle dans la perspective des scénarios possibles de changements climatiques. »

Jean-Yves Massenet, enseignant-formateur, responsable de la licence professionnelle « Conseiller forestier » de l'Institut de Mesnières en Bray (76)

Centre national de la propriété forestière  
Institut pour le développement forestier  
47 rue de Chaillot, 75116 Paris  
Tél. : 01 47 20 68 15  
idf-librairie@cnpf.fr

Directrice de la publication  
**Anne-Marie Bareau**

Directeur de la rédaction  
**Éric Sevrin**

Comité de lecture

**M. François Didot**

**M. Eugène Duisant**

**M. Thomas Formery**

**M. Bernard Héois**

**M. Martial Hommeau**

**M. Henri Lherm**

**M. Claude Mannevy**

**M. Geoffroy de Moncuit**

Rédactrice

**Nathalie Maréchal**

Assistante rédaction

**Marion Sentis**

Conception graphique

**Sophie Saint-Jore**

Mise en page

**Sophie Gavouyère**

Responsable Édition-Diffusion

**Christine Pompougnac**

Diffusion - abonnements

**François Kuczynski**

Impression : **Imprimerie**

43 rue Ettore Bugatti

87280 Limoges

Tél. : 05 55 04 14 04

Tous droits de reproduction ou de traduction réservés  
pour tous pays, sauf autorisation de l'éditeur.

**Périodicité : 6 numéros par an**

**Abonnement 2022**

**France : 50 € - étranger : 63 €**

**édité par le CNPF-IDF**

Commission paritaire des publications et

agences de presse : n° 1024 T 08072

ISSN : 0752-5974

Siret : 180 092 355 004 52

Les études présentées dans Forêt-entreprise ne  
donnent que des indications générales. Nous attirons  
l'attention du lecteur sur la nécessité d'un avis  
ou d'une étude émanant d'une personne ou d'un  
organisme compétent avant toute application à  
son cas particulier. En aucun cas le CNPF-IDF ne  
pourrait être tenu responsable des conséquences –  
quelles qu'elles soient – résultant de l'utilisation des  
méthodes ou matériels préconisés.

Cette publication peut être utilisée dans le cadre  
de la formation permanente.

**Dépôt légal : novembre 2022**



Samuel Six © CNPF



*Anne-Marie Bareau, présidente du CNPF  
et Roland de Lary, nouveau directeur général du CNPF*

Être à l'écoute pour répondre aux besoins de nos propriétaires forestiers :

- à l'écoute des sylviculteurs, ces producteurs souvent acteurs des groupes de progrès et soucieux d'innover ;
- à l'écoute de tous les propriétaires forestiers qui, par leur diversité, préservent les services rendus par la forêt à la société ;
- à l'écoute des syndicats de sylviculteurs, qui sont les représentants de la profession ;
- à l'écoute des marchés, de la valorisation de ce beau produit renouvelable : le bois ;
- à l'écoute de la nature, des écosystèmes pour leur équilibre et leur pérennité ;
- à l'écoute des besoins techniques, de la nécessaire adaptation des forêts face aux dérèglements climatiques ;
- à l'écoute de la société, de ses attentes vis-à-vis de notre filière, pour une compréhension réciproque ;
- à l'écoute de nos propres équipes, qui allient compétences et disponibilité.

## À l'écoute

À l'écoute pour agir et je reviens avec intérêt sur BioClimSol. Cet outil de diagnostic permet d'anticiper et d'intervenir contre les risques de dépérissement dans un contexte de changement climatique.

C'est un bel exemple de la réciprocité entre l'écoute des besoins et les travaux conjoints entre les délégations régionales du CNPF et l'IDF. Cet outil est collaboratif : il s'enrichira des retours des données collectées par les professionnels.

Nouvellement promu directeur de notre établissement, je sais pouvoir compter sur l'engagement, la motivation et les compétences des équipes du CNPF et de ses composantes. Je saurai mettre en œuvre cette écoute avec eux, comme avec nos propriétaires forestiers.

Ensemble faisons nôtre, la nouvelle devise du CNPF :



*à vos côtés, agir pour les forêts privées de demain*

Roland de Lary,  
directeur général du CNPF



Anne-Pernelle Duc © CNPF

Formation à l'utilisation de l'outil BioClimSol en Ardèche (07).

Numéro suivant N°265  
Faut-il avoir peur des essences exotiques en forêt ?

ACTUS > 4

PHOTO À L'HONNEUR > 65

La création de milieux ouverts temporaires est favorable à des espèces comme l'engoulevent.

Anthony Cubaynes © CNPF



**GROUPE DE PROGRÈS** > 5

Renouvellement de chênaie, maîtrise des coûts

Adrien Duriaux

**FORESTIERS ET SOCIÉTÉ** > 57

La coupe rase, une pratique ancienne, en discussion aujourd'hui

Amélie Castro

**INFORMATIQUE** > 62

Digitalisation des forêts  
Sylvamap poursuit le développement de ses services

**ABONNEZ-VOUS À FORÊT**  
entreprise  
OU ABONNEZ L'UN DE VOS PROCHES  
La revue technique des forestiers

Renseignements sur : [www.foretpriveefrancaise.com](http://www.foretpriveefrancaise.com)  
↳ rubrique librairie ↳ les publications de l'IDF  
ou par courriel : [idf-librairie@cnpf.fr](mailto:idf-librairie@cnpf.fr)

**30 % de remise**  
pour les adhérents  
de groupes de développement

**ABONNEMENT NUMÉRIQUE**  
• 1 AN + 2 ANS D'ARCHIVES  
39 €

**ABONNEMENT PAPIER + NUMÉRIQUE • 1 AN**  
60 € • ÉTRANGER : 73 €

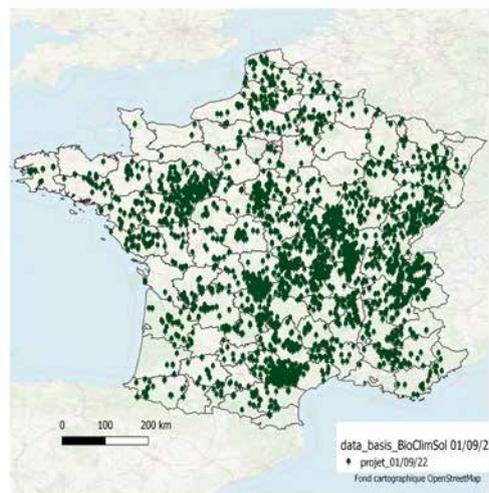
**ABONNEMENT PAPIER**  
1 AN • 6 NUMÉROS  
50 € • ÉTRANGER 63 €

Pour tout abonnement numérique, merci de nous communiquer votre adresse email afin d'obtenir votre code d'accès.

Centre national de la propriété forestière -  
Institut pour le développement forestier  
47 rue de Chaillot - 75116 PARIS  
Tél. : 01 47 20 68 39

# BioClimSol, outil collaboratif pour agir face aux dérèglements climatiques

- > 10 BioClimSol, quand l'innovation prépare à relever les défis de demain !  
Anne-Marie Bareau
- > 12 Le risque : le « cœur du réacteur » de BioClimSol, pour une gestion adaptative des forêts de demain  
Benjamin Cano
- > 17 Bien comprendre l'outil de vigilance BioClimSol dans un contexte de dérèglement climatique, réaliser un diagnostic de qualité en forêt  
Jean Lemaire, Raphaël Bec, Simon Peyrin, Maxime Jourde, Noémi Havet, Jérôme Rosa, Sylvain Pillon, Benjamin Cano, Jacques Becquey, François-Xavier Saintonge
- > 36 Recommandations de gestion sylvicole
- > 40 Complémentarité de l'outil BioClimSol avec les guides de stations  
Exemple du hêtre en Hauts-de-France  
Noémi Havet
- > 44 Avenir du pin sylvestre en région Centre - Val de Loire  
Jérôme Rosa, Antoine Lelong, Simon Peyrin, Michel Chartier, Alain Colinot, Jean Lemaire
- > 50 Ils utilisent BioClimSol, ils en parlent  
Propos recueillis par Nathalie Maréchal
- > 56 BioClimSol, fruit de collaborations passées et surtout futures  
Éric Sevrin



Localisation des relevés validés à l'aide de l'application Forecast by BioClimSol par les 500 utilisateurs au 01/09/2022.

## Roland de Lary, nouveau directeur général du CNPF

Roland de Lary est nommé, par décision du ministre de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, Directeur général du Centre national de la propriété forestière. Il connaît bien l'établissement pour en diriger la délégation régionale Nouvelle-Aquitaine depuis 6 ans. Il était également à la tête du service du CNPF dédié à la compensation carbone en forêt, C+For Forêt et Carbone. Ses précédentes expériences dans des coopératives forestières et en chambre de commerce et d'industrie lui ont apporté une vision d'ensemble de la filière forêt-bois.



Il mettra en œuvre le plan d'actions en application du nouveau Contrat d'objectifs et de performance signé en début d'année avec le ministère de tutelle du CNPF, le Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. De nombreux défis l'attendent après cet été de sécheresse catastrophique pour les forêts métropolitaines, et dont les conséquences ne s'arrêteront pas aux incendies estivaux ou à la grêle. Le CNPF sera impliqué dans la reconstitution des forêts touchées, avec les autres partenaires de la filière forêt-bois. Le changement climatique affectant les forêts sur le long terme, le CNPF poursuivra ses missions de conseil auprès des propriétaires forestiers pour accompagner le travail d'adaptation des forêts locales à ces enjeux globaux.

Anne-Marie Bareau, Présidente du CNPF, salue l'arrivée d'un directeur connaissant parfaitement les sujets spécifiques à la forêt privée et au fonctionnement de l'établissement. Les élus du CNPF travailleront avec le nouveau directeur, pour mettre en œuvre la stratégie de l'établissement définie en 2021 avec les personnels.

## Publication dans la revue scientifique internationale *Forest Ecology and Management*

Effets interactifs des facteurs abiotiques et des agents biotiques sur le dépérissement du pin sylvestre : une approche de modélisation multivariée dans le sud-est de la France

Jean Lemaire, ingénieur au CNPF-IDF, publie avec Michel Vennetier, Bernard Prévosto et Maxime Cailleret d'INRAE, un article sur l'importance des facteurs BIOtiques, CLIMatiques, de SOL et de leurs interactions pour prédire les dépérissements du pin sylvestre en région PACA. BioClimSol est un outil collaboratif qui modélise le risque de dépérissement. Cette étude a été menée avec le soutien de l'INRAE, Aix-Marseille Université, du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, de la Région PACA et du RMT Aforce.

*Interactive effects of abiotic factors and biotic agents on Scots pine dieback : A multivariate modeling approach in southeast France :*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112722005370>

## Incendies de l'été 2022

Des incendies en Gironde, en Ardèche, en Isère, en Bretagne et Jura ont brûlé plus de 62 000 ha durant l'été 2022, à comparer aux 73 000 ha en 2003 et 88 000 ha en 1976. L'intensité et la vitesse de propagation, ainsi que la précocité en saison, des régions auparavant épargnées, marqueront ces feux, certains qualifiés de « mégafeux ». Rappelons que, même si le changement climatique favorise les incendies, 9/10 sont d'origine humaine. Selon l'Effis\*, les forêts de conifères sont fortement impactées : plus d'un 1/4 de la superficie brûlée contre moins de 9 % en 2020 et en 2021, avec une particularité dans les Landes et en Gironde dont environ 9 000 hectares étaient composés de végétation basse de landes.

La fiche-conseils du CNPF : Que faire après un incendie ?

les étapes clés : [https://www.cnpf.fr/actualites/que-faire-apres-un-incendie-0?utm\\_source=Sarbacane&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=Newsletter%20CNPF%2025](https://www.cnpf.fr/actualites/que-faire-apres-un-incendie-0?utm_source=Sarbacane&utm_medium=email&utm_campaign=Newsletter%20CNPF%2025)

La revue de presse du site CNPF avec les préventions possibles : <https://www.cnpf.fr/actualites/incendies-catastrophiques-de-l-ete-2022>

\*Effis : Le système d'information européen des feux de forêts enregistre depuis 2006, les incendies détectés par les images satellites du programme d'observation européen Copernicus.

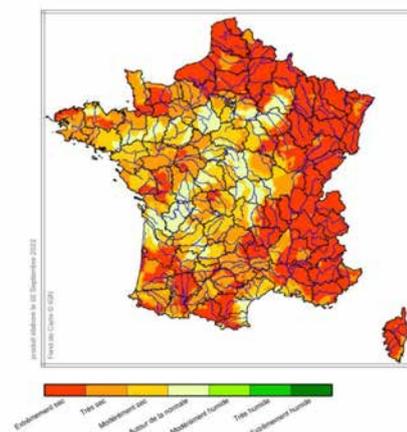
## L'été 2022, 2<sup>e</sup> été le plus chaud depuis 1900

Un été avec de nombreux records :

- plus 2,3 °C durant juin, juillet et août,
  - 3 canicules durant 33 jours cumulés,
  - un ensoleillement excédentaire de 10 à 30 %,
  - un déficit pluviométrique supérieur à 20 % par rapport à la moyenne 1991-2020,
  - un assèchement des sols superficiels sur l'ensemble du territoire.
- Ce climat estival constitue « une préfiguration » de l'avenir, souligne Samuel Morin directeur du Centre national de recherches météorologiques de Météo-France.

<https://meteofrance.fr/actualite/publications/2022-les-bilans-climatiques>

### Indicateur du niveau d'humidité des sols de juin à août 2022



## MyGardenOfTrees : appel aux forestiers volontaires

MyGardenOfTrees est un projet de science participative pour étudier la résilience des forêts face au changement climatique en Europe. Une équipe de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt (WSL, Suisse) souhaite créer, avec l'aide de forestiers volontaires, des centaines de petits essais en Europe, où des graines de hêtres et de sapins de différentes provenances seront semées directement en forêt. Un outil de prédiction sera créé pour prévenir les forestiers, si la provenance actuellement cultivée dans leur forêt est menacée par le changement climatique, et pour sélectionner les provenances optimales pour leur site. Les forestiers français intéressés et motivés sont invités à participer à cette expérience.

Pour plus d'informations et pour s'inscrire : [www.fr.mygardenoftrees.eu](http://www.fr.mygardenoftrees.eu)

# Renouvellement de chênaie, maîtrise des coûts

Par Adrien Duriaux, co-animateur du Cetef du Berry, ingénieur forestier à Unisylva



CETEF du BERRY  
La Forêt Privée, c'est notre métier

*La maîtrise des coûts de renouvellement est essentielle et dépend des techniques choisies. L'observation minutieuse des potentiels d'une parcelle pourra optimiser ou orienter certains choix. Le Cetef du Berry détaille un renouvellement mixte réussi de régénération naturelle et de plantation de chêne, par diverses méthodes dans le sud-est du Cher.*



Préparer le renouvellement d'une parcelle forestière est une période de réflexion stratégique pour le propriétaire. Cette étape dans la vie de sa parcelle est synonyme de dépenses à prévoir pour former ou reformer un peuplement sain et productif. En effet, que ce soit en plantation ou en régénération naturelle, de nombreuses interventions sont à réaliser pour arriver à produire du bois de qualité.

## Techniques de renouvellement

Si les deux techniques de renouvellement génèrent des coûts, les montants qui y sont associés sont cependant bien différents. D'un côté, la plantation présente une dépense élevée, car elle nécessite un nombre important d'interventions : la fourniture et mise en place de plants, les protections contre le gibier et une préparation de sol, auxquelles s'associent les classiques travaux de dégagements.

De l'autre côté, la régénération naturelle est

plus progressive et nettement moins coûteuse, si elle est bien menée. Elle ne demande des dégagements et parfois des compléments par plantation dans les zones vides. Cependant, malgré l'évident intérêt lié aux moindres dépenses qu'elle demande, la régénération naturelle n'est pas applicable partout.

De fait, la première question à se poser avant de penser à maîtriser ses coûts est : quel mode de renouvellement choisir ?

Pour se décider, plusieurs réflexions et actions sont à mener avant la coupe :

- L'essence objective en place est-elle adaptée aux conditions de milieu rencontrées ?  
→ Réponse par une analyse stationnelle ;
- Comment est constitué mon peuplement ?  
→ Inventaire à effectuer (en plein, par échantillonnage, typologie des peuplements...);
- Les recettes vont-elles couvrir les dépenses ? → Budget prévisionnel de Recettes-dépenses

Plantation de chêne sessile dans le recrû.



© Hugues de Champs

Parquet de régénération naturelle.





Inévitablement, le projet de renouvellement passe par une analyse stationnelle (sol, topographie, pluviométrie...). À ce stade de la réflexion, le choix peut s'orienter sur la régénération naturelle (si l'essence objective en place est adaptée) ou la plantation (si elle ne l'est pas).

D'autres paramètres sont à prendre en compte dans le choix du mode de renouvellement :

- ▣ la densité des tiges,
- ▣ leur répartition,
- ▣ le volume unitaire,
- ▣ la qualité des bois,
- ▣ les facteurs sanitaires (dépérissement, mortalité, attaque de ravageurs),
- ▣ la fructification.

Ces éléments sont généralement collectés lors d'inventaire ou martelage. Ils permettent de privilégier la régénération naturelle si l'essence est saine, vigoureuse, si ses perspectives face au changement climatique sont avérées et si elle présente une densité suffisante en réserves et bien répartie dans l'espace. Dans le cas inverse, une plantation sera davantage indiquée. Pour cette dernière, le choix de l'essence est souvent conditionné par les recettes de la coupe qui constituent le dernier point à prendre en compte. Dans un scénario souhaitable et normal, les recettes compensent largement les dépenses et laissent une marge possible. Dans les parcelles plus pauvres et/ou moins qualitatives, elles peuvent à peine suffire à les couvrir.

Ce n'est qu'une fois toutes ces questions résolues et le mode de renouvellement choisi que peut se poser la question : comment puis-je optimiser au mieux mes dépenses ?

Quelles sont les diverses techniques utiles pour maîtriser les coûts et permettre au propriétaire de voir venir les entretiens plus sereinement et de produire une forêt à moindre coût ? Prenons un exemple chez un adhérent du Cetef du Berry.

### Contexte stationnel

La parcelle se situe sur la commune de Menevou-Couture à l'est du département du Cher. Les forêts y sont productives et de bonne qualité.

La pluviométrie moyenne de ces dernières années annonce 700 à 750 mm de pluies annuelles irrégulièrement réparties dans l'année. L'altitude moyenne de la parcelle est de 190 m et le relief y est monotone.

### Recette globale

Avant coupe, la parcelle 26 se constituait d'un puissant taillis de charme avec des réserves de chênes pédonculés et sessiles éparses sur 14,4 ha. Le chêne est bien adapté à la station en place.

Les résultats de l'inventaire chiffrèrent le volume à 55 m<sup>3</sup>/ha de chênes pour 30 pieds/ha mal répartis dans la parcelle. Les bois représentaient un pourcentage de qualité honorable avec 14,5 % du volume total (qualité A et B). La vente sur pied a rapporté 137 520 € au propriétaire, soit 175 €/m<sup>3</sup>. Les têtes de chênes et le bois de chauffage ont quant à eux rapporté 900 €/ha.

Le revenu total tous produits confondus par hectare s'élève donc à 10 450 €.

### Divers itinéraires initiés

Le propriétaire a décidé de procéder à la coupe rase et au reboisement de sa parcelle, au vu de la faible densité en chêne et de leur mauvaise répartition spatiale.

La coupe rase ayant rapporté 10 450 €/ha, l'idée du propriétaire était de limiter les coûts de plantation. Au vu de la bonne productivité des sols, le choix est fait en chêne sessile.

Après la coupe, le propriétaire a observé un recru de chênes disséminés dans la parcelle. Il a alors décidé de parcourir la totalité de la parcelle et de délimiter les zones où la régénération naturelle était présente en nombre et viable. Là, aucune plantation n'a été réalisée et les semis seront travaillés par dégagement et broyage.

**Élément favorable important : l'essence venant spontanément est adaptée à la station.**

Ainsi, pour 14,4 ha le propriétaire a distingué une zone de 4,5 ha de régénération naturelle après coupe, en plus de quelques îlots ou poches

Figure 1 – Plan de situation de la parcelle



Tableau 1 – Récapitulatif des recettes globales à l'hectare

Intitulé	Quantité/ha	Recettes/ha
Bois d'œuvre	30 pieds pour 55 m <sup>3</sup> /ha	9 550 €
Vente des produits de coupe et bois de chauffage	300 st/ha	900 €
Total		10 450 €

disséminés dans la parcelle. Ce total représente près de 30 % de la surface de la parcelle. Cela lui confère une économie nette, puisqu'une régénération naturelle nécessite entre 2 000 et 3 000 € HT pour être acquise et qu'une plantation de chênes en nécessite 5 200 à 7 600 € HT (4 500 à 5 500 € HT pour la préparation de sol et la plantation, et 700 à 2 800 € HT de dégagements et dépressage selon les chiffres 2021).

Ailleurs, la parcelle a été nettoyée au râteau et les débris brûlés. Des fossés ont été ouverts et les souches de charmes dévitalisées au croque souche<sup>1</sup>. Le coût total moyen à l'hectare de ces opérations s'est élevé à 1 025 € HT/ha.

Dans les zones à planter, le propriétaire a testé deux modalités de préparation de terrain : la méthode classique par labour en plein et en croisé sur 7 ha (400 € HT/ha) ;

la méthode par potets travaillés à plat sur 2 ha (1 à 1,30 € HT/potet suivant la surface) en partie haute de la parcelle pour éviter qu'ils inondent. Le propriétaire, adhérent à une Cuma de matériels forestiers, effectue ces travaux pour son propre compte.

À noter que, dès l'observation d'une poche de régénération naturelle dans chacune des zones travaillées, l'engin remontait la charrue dans le cas du labour, et dans l'autre cas la mini-pelle ne faisait pas de potet. L'opération méticuleuse nécessite toutefois un opérateur d'expérience, car elle peut s'avérer complexe. Ensuite, la plantation des zones dépourvues de régénération naturelle s'est faite à la densité de 1 250 tiges/ha.

Le reste de la surface est couvert par une tournière<sup>2</sup> de 8 m de largeur. La figure 2 présente le schéma des différentes zones.

Ces prix ne prennent pas en compte la protection contre l'abroussement par le gibier. Les protections physiques (gainés ou clôtures) avec pose représentent souvent le double voire le triple des coûts de plantation cités dans ce tableau. Les protections de type répulsif (badigeonnage) représentent 15 à 25 centimes HT par plants à répéter entre 1 et 3 fois sur la durée de vie de la plantation. Il faut garder à l'esprit que toute plantation reçoit entre 1 et 4 dégagements/dépressage avant d'être tirée d'affaire. Ces dépenses sont essentielles, car elles assureront la survie et la bonne croissance du peuplement.

De ce fait, le propriétaire devra décompter 700 à 2 800 € HT par hectare de ses revenus de coupe (voir tableaux). La technique du potet permet généralement de gagner un dégagement par rapport aux techniques traditionnelles.

**Figure 2 – Découpage par zone**

■ régénération naturelle, ■ labour en plein, ■ zone mixte  
■ sol préparé par potets travaillés à la mini pelle environ 2 m<sup>2</sup>



**Tableau 2 – Récapitulatif des divers itinéraires de plantation et analyse des dépenses par scénario (prix 2021)**

Scénario plantation labour (/ha)	Dépenses (€ HT)
Nettoyage de la parcelle, brûlage, fossés et croque souche *prix évolutif en fonction de la densité en souche (jusqu'à 2 000 € HT tout compris) **le prix d'un broyage lourd traditionnel : 1 000 à 1 800 € HT	1 025 €
Labour en plein (double passage en croisé)	400 €
Plantation, fourniture de plants et mise en place	2 155 €
Dégagements/dépressage	2 800 €
<b>Total/ha</b>	<b>6 380 €</b>
Scénario plantation potet (/ha)	Dépenses (€ HT)
Nettoyage à la pelle mécanique de la parcelle, brûlage, fossés et croque souche *prix évolutif en fonction de la densité en souche (jusqu'à 2 000 € HT tout compris) **le prix d'un broyage lourd traditionnel : 1 000 à 1 800 € HT	1 025 €
Potets travaillés (1 250 potets/ha)	1 375 €
Plantation : fourniture de plants et mise en place	2 155 €
Dégagements/dépressage	2 100 €
<b>Total/ha</b>	<b>6 655 €</b>
Scénario régénération naturelle (/ha)	Dépenses (€ HT)
Localisation et délimitation matérielle des zones de semis (0,5 jour)	250 €
Dégagements avec ouverture de cloisonnements/dépressage	2 800 €
<b>Total/ha</b>	<b>3 050 €</b>

Ces prix ne prennent pas en compte la protection contre l'abroussement par le gibier. Les protections physiques (gainés ou clôtures) avec pose représentent souvent le double voire le triple des coûts de plantation cités dans ce tableau. Les protections de type TRICO (badigeonnage) représentent 15 à 25 centimes HT par plants à répéter entre 1 et 3 fois sur la durée de vie de la plantation.

<sup>1</sup> Outil construit pour trancher les racines et pour extraire directement du sol la souche d'un arbre.

<sup>2</sup> Emplacement aménagé en bordure de parcelle pour permettre aux engins de débusquage de manœuvrer (Bastien Y., Gauberville C., 2011. *Vocabulaire forestier*).

## Régénération versus plantation

### Régénération naturelle

En conclusion et au vu des chiffres décrits ci-dessus, il est évident que la régénération naturelle, pour peu qu'elle soit suffisamment dense et que l'essence soit adaptée au milieu, constitue une vraie économie pour le propriétaire.

### Plantation

La plantation, bien que plus coûteuse, peut s'avérer être le seul choix viable pour la parcelle, notamment en regard du changement climatique. Planter au rabais n'est pas à envisager. Car souvent les coûts se répercutent plus tard avec des regarnis ou des dégagements supplémentaires et peuvent sensiblement augmenter les dépenses globales. L'importance réside donc surtout dans le choix de la technique de préparation de sol, impactant fortement le taux de réussite. Le choix d'une essence adaptée à la station et éventuellement moins coûteuse peut s'envisager. La pose de protections contre le gibier est également devenue indispensable pour éviter tout risque de perte de plants qu'elle soit physique ou par badigeonnage.

Les techniques de préparation de sols sont les plus couramment utilisées en feuillus.

Le broyage s'avère donc être la solution la plus pragmatique, les prix s'élèvent parfois au double de ceux d'un ratissage et brûlage. Cette technique est d'autant plus intéressante puisqu'elle laisse des rémanents répartis de manière homogène dans la parcelle, qui laisseront au sol de la matière à minéraliser.

La préparation du sol à la charrue en plein est une technique peu coûteuse et ayant fait ses preuves par le passé. Et c'est là son principal avantage. La réussite de la plantation avec cette technique reste très dépendante de la météo. Une alternative moins coûteuse et destructrice existe : le travail à la charrue en bande, où seules sont travaillées les zones à planter. Les zones non travaillées offrent ainsi un couvert latéral à la plantation. Les plants brûlent moins l'été et gèlent moins l'hiver.

Le potet travaillé, plus cher, peut s'approcher du prix d'une plantation avec préparation de sol traditionnelle. En effet, nous constatons souvent l'économie d'un dégagement après plantation par potet. Cela amortit le surcoût par rapport à un labour traditionnel. La technique du potet, de plus en plus répandue, facilite l'installation du système racinaire du plant dans un sol non retourné et décompacté sur 60 cm. Un meilleur taux de reprise est constaté, ce qui signifie également moins de regarnis. Ces éléments sont d'autant plus

vrais en conditions météorologiques capricieuses, contrairement au labour classique pour qui une mortalité importante peut être constatée en cas de fortes sécheresses. La technique est également moins destructrice pour les sols. À noter toutefois que la période de réalisation des potets est un élément clé dans la réussite de la plantation.

En phase de plantation, les prix de mise en place de plants peuvent fortement varier suivant les types de sols et les méthodes de travail du sol employées. Ainsi, sur un terrain travaillé en labour, le prix de la mise en place sur sol argileux sera plus élevé que sur un potet, car le planteur sera moins rapide et devra faire plus d'efforts pour planter. Pour le potet, le sol est travaillé en profondeur et est plus facilement circulaire. Le coût de plantation demandé peut être moindre. Un planteur peut donc légitimement prendre 5 à 10 centimes HT de plus par plant installé suivant la méthode de travail du sol employée et le type de sol.

### Choix opportuns issus de la bonne observation

Le choix du propriétaire de maintenir les poches de chênes pédonculés et sessile en régénération naturelle s'est avéré payant dans cette reconstitution de peuplement. Cela permet au final une économie de plus de 3 000 € HT/ha sur les 4,5 ha renouvelés naturellement (total de 13 500 € HT soit 975 €/ha rapporté sur la totalité de la surface de la parcelle). Ce montant correspond à 1 ou 2 dégagement(s) sur la totalité de la surface de la parcelle.

Le comparatif du labour *versus* les potets n'est pas encore vérifiable à ce stade du peuplement, et sera suivi dans le cadre du Cefet du Berry. Les bonnes conditions météorologiques de l'année 2021 n'ont heureusement pas permis de mettre en avant une technique plutôt qu'une autre. Les taux de reprises étaient sensiblement similaires et dans les deux cas, la plantation s'avère être une réussite. Le suivi de la parcelle dans les années à venir restera indispensable pour confirmer cette tendance.

En définitive, l'idée de combiner les deux techniques de renouvellement par voie naturelle et artificielle sur la même parcelle indique qu'il est possible de maîtriser ses dépenses de manière simple.

Aussi, la maîtrise de l'exploitation en amont et le choix de la préparation de sol reste une étape prépondérante dans la réussite d'une plantation. Il existe bien d'autres moyens de maîtriser ses dépenses. Une régénération naturelle peut aussi être favorisée et enrichie avec d'autres essences ; une plantation peut aussi être plan-

## Fiche récapitulative



CETEF du BERRY  
La Forêt Privée, c'est notre métier

### En amont de la plantation

- Diagnostiquer l'état de sa parcelle : inventaire dendrométrique et sanitaire. Les arbres de la parcelle sont-ils à maturité ? Quel serait le mode de renouvellement adapté (régulier avec plantation ou régénération naturelle, conversion vers l'irrégulier) ? Quelles seraient mes recettes ou moyens financiers ?
- Réalisation d'une analyse stationnelle pour lister les essences les plus adaptées. L'essence en place est-elle viable sur la station ou dois-je en changer ?
- Optimiser ses recettes en valorisant ses bois avec l'aide d'un gestionnaire.
- Bien maîtriser l'exploitation en amont pour limiter les frais de préparation de sol et la dégradation de la parcelle : emprunter les cloisonnements d'exploitation, limiter la présence de rémanents (une exploitation en bois énergie ne laisse que peu de rémanents et peut éviter ou limiter les coûts de broyage).
- Maîtriser les densités de gibier pour limiter les frais de protection de plants.
- Privilégier la régénération naturelle lorsque l'essence est adaptée à la station ; ouverture de cloisonnements culturels.
- Dégager les semis en privilégiant le mélange d'essences ;
- Profiter des aides de l'État (Plan de relance) ou projet de partenariat d'entreprise avec le Label Bas-Carbone, ou du mécénat (Duramen, Reforest'Action) lorsque les conditions d'éligibilité sont remplies.

### Durant la phase de plantation

- Choix de l'essence : étudier différentes essences potentielles..
- Intégration d'essences moins coûteuses en diversification : fruitières ou d'accompagnement.

- Choix de techniques de plantation moins coûteuses (attention, le coût se répercute souvent en dégageant et la reprise sur le long terme peut être moins bonne). En plein ou en partie. Un travail du sol en bandes plutôt qu'en plein peut diminuer les coûts.
- Jouer sur les densités (attention à respecter les densités réglementaires).
- Réalisation d'une tournière de 8 m pour faciliter le retournement des engins forestiers et qui, de fait, limite le nombre de plants.
- Choix des protections contre le gibier. Un répulsif sera moins coûteux qu'une protection physique contre le chevreuil.
- Planter au bon moment avec des plants contrôlés et réceptionnés par un gestionnaire.
- Faire encadrer et suivre son chantier par un gestionnaire.

### Après plantation

- Défiscalisation : DEFI travaux. Crédit d'impôts de 18 à 25 % du montant des travaux de sylviculture, lors de régie avec une coopérative forestière ou gestionnaire.
- Suivre sa plantation et ne pas rater de dégageant. Intervenir au bon moment.

Il est à noter que faire des économies sur la préparation de sol peut *in fine* se répercuter plus lourdement dans les frais de dégagements ou de regarnis. Ces travaux de regarnis sont souvent très chers et ont moins de réussite que les plantations.

La prise en compte du changement climatique en intégrant des essences plus méridionales comme le chêne pubescent, de Hongrie ou du Caucase<sup>3</sup> peut s'avérer judicieux.

<sup>3</sup> Certaines essences ne sont pas présentes au catalogue des essences autorisées, et seront plantées dans le cadre d'expérimentation.

tée à plus faible densité dans le recru. Une fiche récapitulative non-exhaustive reprend les principaux éléments à étudier lors d'un projet de renouvellement d'une parcelle (voir encadré). À cela s'ajoute aujourd'hui, des vagues de dépérissements de fortes ampleurs pous-

sant le propriétaire sylviculteur à se questionner sur le renouvellement.

Surtout, gardons à l'esprit que le climat change, et que nous n'avons pas toujours le choix du renouvellement. **Notre objectif est bien d'aider notre forêt à s'adapter.** ■

### À retenir

La maîtrise des dépenses pour le renouvellement d'un peuplement est essentielle. Il est néanmoins nécessaire d'anticiper et de budgéter les opérations, sans minorer certaines dépenses, pour assurer la réussite en vue de la production future de bois d'œuvre. Le Cetef du Berry analyse un renouvellement de chênes réussi chez un adhérent.

**Mots-clés :** renouvellement, maîtrise des coûts, régénération naturelle, plantation, chêne.



Formation à l'utilisation de l'application BioClimSol en Charentes.

# BioClimSol, quand l'innovation prépare à relever les défis de demain !

Par Anne-Marie Bateau, présidente du Centre national de la propriété forestière

**S**écheresses, canicules, orages violents, grêles, maladies, pullulations d'insectes, incendies... Force est de reconnaître que les crises se succèdent ces dernières années et battent sans cesse de nouveaux records, donnant désormais un visage plus manifeste au changement climatique.

Ces événements déclenchent bien souvent des processus de dépérissement, qui laissent derrière eux des traces de plus en plus marquantes sur les écosystèmes forestiers, parfois irréversibles. Ils nous donnent souvent une impression de défis incommensurables à relever. C'est peu dire, lorsque l'on prend conscience du contexte où les propriétaires forestiers se retrouvent en première ligne de la lourde responsabilité de négocier un « virage

serré », avec une visibilité limitée sur les trajectoires à venir.

Alors que beaucoup de facteurs de croissance de nos forêts ont longtemps été considérés comme des constantes, voici que le climat – ou plus encore les aléas sanitaires – deviennent des variables, qui plus est incertaines. Le risque prend alors une place de plus en plus centrale et devient même une clé de voûte dans le raisonnement des forestiers.

Mesurer les risques de dépérissement en s'appuyant sur une expertise scientifique, pour choisir les essences de demain et proposer des itinéraires de gestion adaptative, telle a été l'ambition de BioClimSol dès ses débuts. Cela a commencé en 2009 par une étude du dépérissement des chênaies en Pays de la Loire,

## Sommaire

- 10 BioClimSol, quand l'innovation prépare à relever les défis de demain !
- 12 Le risque : le « cœur du réacteur » de BioClimSol, pour une gestion adaptative des forêts de demain
- 17 Bien comprendre l'outil de vigilance BioClimSol
- 36 Recommandations de gestion sylvicole
- 40 Complémentarité de l'outil BioClimSol avec les guides de stations Exemple du hêtre en Hauts-de-France
- 44 Avenir du pin sylvestre en région Centre-Val de Loire
- 50 Ils utilisent BioClimSol, ils en parlent
- 56 BioClimSol, fruit de collaborations passées et futures

2003-2007

Canicule + sécheresses

Rumeurs de dépérissements

en Pays de la Loire et Poitou-Charentes

Nbre de demandes de coupes dérogatoires PSG  
x 2,5 en 2006, x 4 en 2007



2009-2012

1<sup>re</sup> étude

des dépérissements forestiers

« Les chênaies atlantiques  
face au changement climatique,  
comprendre et agir »



2012-2018

Réplication du protocole  
sur d'autres essences

36 études - 13 essences  
5 000 placettes - 100 000 arbres



# DOSSIER

coordonné par Jean Lemaire et Benjamin Cano, CNPF-IDF



Jean Lemaire, ingénieur CNPF-IDF, sylviculture des feuillus, créateur et concepteur de l'outil BioClimSol, modélisation des risques climatiques et de dépérissement



Benjamin Cano, CNPF-IDF, chef de projet BioClimSol



En savoir<sup>+</sup>

[www.cnpf.fr/nos-actions-nos-outils/outils-et-techniques/bioclimsol](http://www.cnpf.fr/nos-actions-nos-outils/outils-et-techniques/bioclimsol)

très vite suivies de nombreuses autres études dupliquant la méthode sur des essences localement dépérissantes.

Ensuite, le développement de l'application numérique en partenariat avec le PNR du Haut-Languedoc a marqué une étape déterminante de déploiement de réponses apportées aux besoins des forestiers. La thèse en cours est une nouvelle étape de reconnaissance de l'outil, validant sa solidité scientifique.

Toutes ces étapes de développement ont dessiné un parcours de réussite durant lequel le nombre grandissant de partenaires a représenté un contrat de confiance toujours plus porteur.

Au-delà de son caractère innovant et des performances prometteuses de ses modèles, l'outil fonctionne par modules, cela lui confère des articulations riches de perspectives de développement.

Gestion de crises, prise en compte des facteurs de risque, compréhension des dépérissements, mise en place de stratégies de « gestion adaptative » tant attendues pour leurs effets salutaires, ne sauraient se passer de la bonne maîtrise de tous ces concepts.

Aujourd'hui risque de dépérissements, demain risque d'incendies, risques biotiques, environnementaux, socio-économiques ; BioClimSol est construit pour accroître son expertise, fort de ces événements. Il viendra accompagner avec une pertinence et un discernement toujours plus grand, les décisions des gestionnaires forestiers face aux nombreux défis qui les attendent.

Son application numérique est aussi une interface à travers laquelle les données de terrain construisent les modèles toujours plus précis et documentés de demain. Chaque utilisateur devient alors un collaborateur en puissance de l'expertise scientifique de l'outil.

Les ambitions de recherche scientifique, et aussi les enjeux de développement numérique, de valorisation-diffusion et de communication, exigent d'inscrire l'outil dans une dimension « d'entreprise ».

La mise en œuvre de plans d'actions opérationnels et d'une organisation en ce sens, sont devenus nécessaires pour un fonctionnement plus durable.

Recherche de partenariats, plans de financement, ressources pérennes et dédiées, le CNPF-IDF compte bien saisir les nombreuses opportunités de valoriser à long terme, tout l'investissement qui a déjà été consenti.

De très nombreuses possibilités d'évolutions sont offertes par la conception de BioClimSol. Ce dossier vous en promet un aperçu magistral...

Avant de vous laisser découvrir ce dossier, je tiens à remercier toute l'équipe du CNPF pour le travail accompli. Je remercie particulièrement tous les financeurs : Europe, État, régions, départements et collectivités locales. Enfin je remercie nos partenaires scientifiques qui collaborent au développement de l'outil, notamment INRAE, Météo-France, IGN, Agro-ParisTech et le Département de la santé des forêts.

Bonne lecture ! ■

Juin 2017  
Expertise scientifique de BioClimSol, pilotée par le RMT Aforce

2019  
Création de l'application grâce au projet européen LIFE FORECCAsT = partenariats entre CNPF, INRAE, AgroParisTech, Météo-France, IGN, DSF

2021  
Thèse en cours et publication des résultats  
Encadrement par des structures de Recherche  
Modèles de dépérissement

2022  
BioClimSol publié dans *Forest Ecology Management*  
500 utilisateurs et 5 000 diagnostics réalisés

...2023  
Stratégie de RDI et de transfert

# Le risque : le « cœur du réacteur » de BioClimSol, pour une gestion adaptative des forêts de demain

Par Benjamin Cano, Chef de projet BioClimSol, CNPF-IDF

*Nos forêts sont exposées à des aléas de plus en plus nombreux. Intégrer ces risques dans les processus de décisions des sylviculteurs est désormais une clé d'entrée déterminante. BioClimSol explique ces mécanismes de déclenchement de ces aléas afin d'anticiper et de répondre aux besoins des sylviculteurs sur les enjeux futurs de gestion de nos forêts.*

L'urgence climatique opère des changements profonds de paradigme, qui imposent aux forestiers de nouveaux modes de gestion toujours plus habiles. Cela passe notamment par la nécessité de recourir à des approches stratégiques, où la capacité à « scénariser » le déroulement des événements pour mieux anticiper les conséquences, devient alors un enjeu déterminant. La progression significative de la fréquence et de l'intensité des aléas, auxquels les forêts sont exposées, tend à rendre plus probable des perturbations de la gestion courante. C'est bien cette « probabilité » qui définit le concept de « risque » et qui, lorsqu'elle se réalise, conduit aux « crises ». Savoir gérer les crises est devenu une compétence de plus en plus incontournable. Tenir compte des risques avant même qu'elles ne se réalisent, s'inscrit comme une priorité de premier ordre pour les sylviculteurs, dans un contexte mouvant où toute forme d'anticipation est bonne à prendre. Beaucoup d'initiatives ont cherché à exploiter cette approche par le risque en forêt. La plupart d'entre elles se sont attachées à caractériser les risques de « mortalité », profitant de signaux très nets mais bien souvent, insuffisamment anticipatifs.

L'approche entreprise par les concepteurs de BioClimSol a choisi de s'intéresser plus particulièrement au risque de « dépérissement », phénomène plus complexe. Cette approche

part du principe que la mise en place d'une gestion adaptative gagne à :

- ▀ connaître et comprendre les facteurs permettant de mieux évaluer les risques,
- ▀ conceptualiser les mécanismes de dépérissement en tirant profit des enseignements que les crises récentes nous ont délivrés,
- ▀ proposer des moyens de minimisation des risques en préconisant de nouveaux itinéraires de gestion.

Tels ont été les défis que la « démarche BioClimSol » s'est lancée, dès les premières étapes de son développement en 2009. Pour profiter des concepts de risque, de crise ou encore de dépérissement, et en tenir compte dans les décisions de gestion, il faut commencer par bien maîtriser tous les fondements. Explications...

## **Observer et comprendre les mécanismes de crise pour mieux anticiper l'avenir**

Derrière les événements extrêmes à l'origine de crises, se cachent bien souvent des enseignements, qui font de chacune de ces crises des opportunités de solutions pour l'avenir. Préalablement à ces situations de crises, des moments de tension perceptibles existent lors du dépassement de seuils d'acceptabilité plus ou moins sensibles ; ils vont participer à l'augmentation de la vigilance. Notons que le caractère inattendu du phénomène, ainsi

**Tableau 1 – Articulation des mesures de gestion selon le niveau de vigilance**

	Vigilance courante	Vigilance accrue	Vigilance maximale
<b>Indicateurs</b>	Pas de perturbation sanitaire marquante	Phénomène émergent Premières perturbations	Phénomène installé Impacts importants
<b>Types de gestion</b>	<b>Gestion courante</b>	<b>Gestion courante (+ gestion adaptative)</b>	<b>Gestion de crise</b>
<b>Actions principales</b>	Actes de gestion programmés dans les documents de gestion et d'aménagement	Mise en place de suivis d'indicateurs + mesures dérogatoires à la planification établie	Mise en place d'une cellule de crise Mise en œuvre d'une stratégie adaptée

Adapté du Guide de gestion de crises sanitaires en forêt, CNPF-IDF

que les perspectives incertaines, caractérisent fondamentalement les phénomènes de crise. Une fois bien délimitées, les différentes étapes du processus de crise peuvent être traduites en « niveaux de vigilance », afin d'articuler les conduites à tenir sur le terrain pour la mise en place de mesures de gestion proportionnées aux situations.

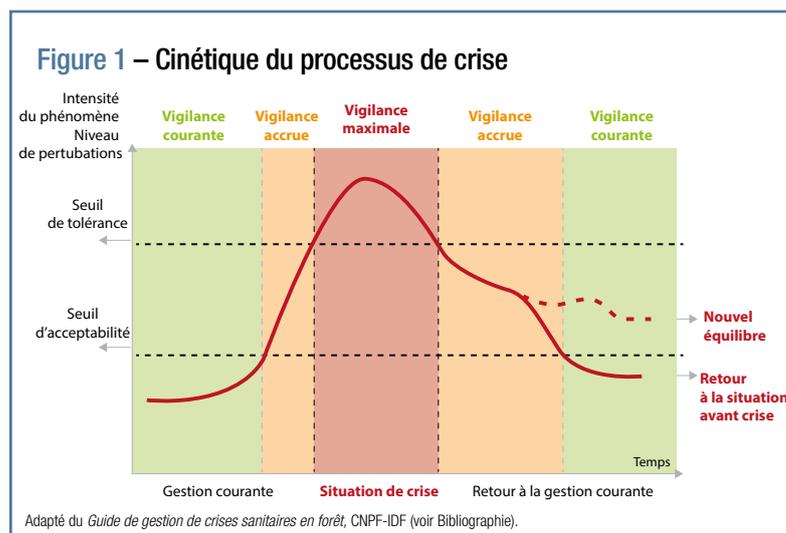
En vigilance courante, le niveau de perturbations ressenti n'est pas suffisant pour compromettre le fonctionnement courant de la gestion appliquée. Par exemple, les actes de gestion programmés dans les documents de gestion restent appropriés et répondent encore de manière performante à la situation.

En vigilance accrue, la gestion courante reste efficace, mais les probabilités de déstabilisation augmentent et la situation entre sous « tension ». Ce moment de phénomène émergent impose le plus souvent des adaptations des actions de gestion (coupes dérogatoires, modificatifs des documents de gestion...).

Enfin, en vigilance maximale, la situation de crise à proprement parler, contraint à sortir de la gestion courante, pour adopter une véritable gestion de crise avec la mise en place d'une cellule de crise et d'une stratégie personnalisée à la situation (stratégies d'adaptation, lutte...).

Des indicateurs peuvent alors être suivis pour bien percevoir les effets de dépassement de seuils, que les niveaux de perturbations sont susceptibles d'enregistrer (par exemple : pourcentage ou volume de bois morts, surfaces sinistrées, occurrence du problème, nombre de demandes d'autorisation de coupes d'urgence ou dérogatoires, modificatifs aux DGD...).

Même si les phases du processus de crise, telles qu'elles sont décrites ici, dessinent bien souvent une cinétique normalisée, l'intensité maximale (culmination de la courbe), ainsi que le délai durant lequel les seuils sont franchis (largeur des phases de vigilance accrue), peuvent varier. Il existe alors des crises conjoncturelles – de type « choc » – et donc moins prévisibles [voir Figure 2], dont les perturbations s'expriment de manière puissante et brutale (tempêtes, mortalités massives, in-



### Définition : Qu'est-ce qu'une crise ?

Une crise se définit comme un moment critique, dangereux, où l'on observe une succession, voire une conjugaison d'événements, qui vont perturber les équilibres d'une organisation en place. L'impulsion du phénomène commence en général par un événement inattendu, dont les effets viennent alors imposer des changements profonds dans les modes de gestion (reconnus performants dans l'organisation courante).

Le niveau des perturbations ressenties va alors dépasser certains seuils, qui vont définir et permettre de distinguer les situations de crise de la gestion courante.

..). D'autres sont plus tendancielles, dont les signaux précurseurs peuvent être plus nombreux et sensibles, et préviennent plus en amont de perturbations déstabilisatrices à venir (dépérissements, stress multiples...). Différents scénarios peuvent alors être observés avant le retour à l'équilibre, qui définit la sortie de crise (la courbe ne progresse plus et observe une stabilité retrouvée) [Figure 3]. Ce nouvel équilibre peut correspondre à l'état initial avant la crise ou aboutir à un nouvel état dans lequel une « nouvelle » gestion courante ne pourra être mise en place que sous l'effet du rehaussement des seuils d'acceptabilité et de tolérance. Cette stratégie est en général plus pertinente dans le cas de perturbations jugées durables.

Figure 2 – Différents types de crise

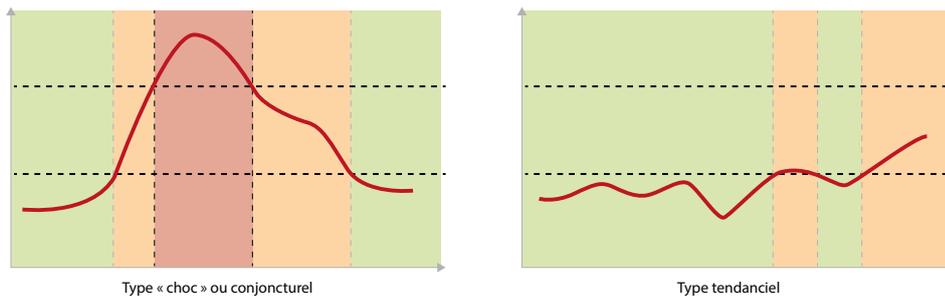
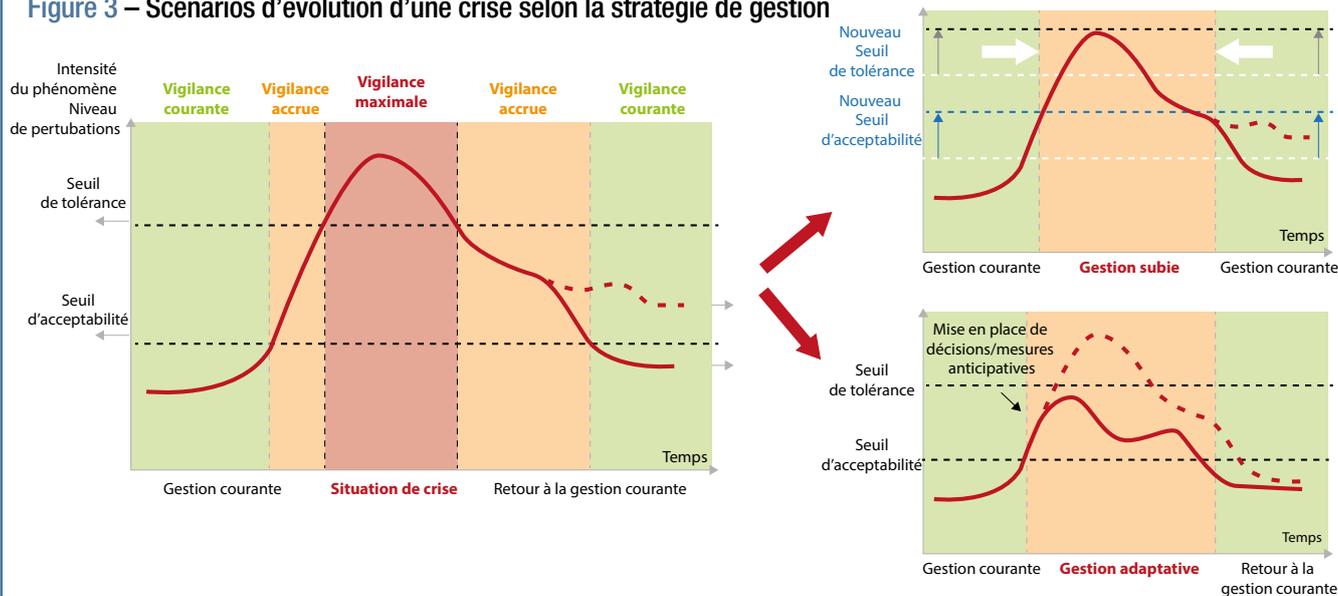


Figure 3 – Scénarios d'évolution d'une crise selon la stratégie de gestion



L'alternative la plus intéressante reste de mettre en place des mesures de gestion adaptative le plus en amont possible pour modifier le destin d'évolution des perturbations et éviter d'aboutir à la situation de crise avec toutes les conséquences préjudiciables qui l'accompagnent. Par ces considérations, il devient plus évident que les grands enjeux de la gestion des crises résident surtout dans la capacité des gestionnaires forestiers à percevoir et considérer tous les signaux susceptibles de compromettre la gestion courante, avant même que des conséquences n'aient pu s'exprimer. Cela passe nécessairement par de l'anticipation, où les observations de terrain doivent fournir les signaux garantissant la réactivité que la mise en place d'une gestion adaptative performante exige.

Ces suivis en amont entrent alors dans le domaine de la gestion du risque.

### Gérer le risque pour éviter les crises

Le risque est à distinguer de la notion de crise, dans la mesure où il ne s'est pas encore réalisé. Il s'agit d'une probabilité d'observer un ou plusieurs scénarios, que l'on cherche à évaluer et anticiper pour mieux s'adapter, avant même

que les événements ne se soient déroulés. L'exercice d'évaluation du risque commence par bien en maîtriser le concept.

Il repose sur la conjonction de trois facteurs (Jactel, *et al.*, 2012), [voir figure 4] :

- **l'aléa** correspond à la cause du dommage. Il prend sa dimension par l'intensité de l'événement, la sévérité du phénomène responsable des perturbations ressenties sur le fonctionnement normal de l'arbre, du peuplement, de l'écosystème...
- **la vulnérabilité** détermine l'ampleur du dommage. Elle est liée à la propension des populations exposées à un danger, à subir des dommages. Elle recouvre notamment les notions de sensibilité, de résistance ou encore de tolérance face à l'aléa considéré (Agard, Lisa, & Schipper, 2014) ;
- **l'enjeu**, d'ordre économique, environnemental ou social, correspond à un bénéfice attendu ou une valeur susceptible d'être perdue. L'enjeu peut être menacé par tout changement, dont les impacts peuvent en révéler la nature et l'importance, de manière instantanée (dégâts observés au lendemain d'une tempête) ou projetée (impacts potentiels d'un pathogène en progression).

Ces trois dimensions peuvent varier selon le contexte, en particulier géographique. Ce concept du risque révèle alors tout son intérêt, lorsque l'on réalise que les actes de gestion forestière peuvent influencer chacune de ces composantes. En modifiant le contexte local, une action technique ciblée, qu'elle soit curative ou préventive, pourra directement ou indirectement influencer l'aléa (lutte), la vulnérabilité (résilience), voire l'enjeu (valorisation, préservation).

L'outil BioClimSol se positionne comme un moyen de diagnostic et de modélisation des risques dans la mesure où il s'intéresse d'une part à évaluer la vulnérabilité des écosystèmes forestiers face aux aléas, qu'il caractérise d'autre part. Les essences susceptibles de dépérissement, que l'outil prend soin d'étudier pour en construire les modèles, incarnent quant à elles, la dimension de l'enjeu que recouvre le risque.

### Les risques de dépérissements, « cœur du réacteur BioClimSol »

Au-delà des signaux très forts renvoyés ces dernières années (l'été 2022 incarnant même l'année de tous les records), force est de constater que la fréquence des dépérissements forestiers a augmenté significativement durant les quinze dernières années. En effet, la mortalité moyenne dans les peuplements (toutes essences et contextes confondus) a été multipliée par 1,8 depuis 2015 (Source : Département de la santé des forêts [DSF]).

C'est de ce constat que BioClimSol a bâti son raisonnement.

Rappelons qu'un dépérissement se définit comme un processus évolutif et complexe : il se manifeste sur les arbres et peuplements forestiers, lorsqu'un écart à leur aspect « normal » est observé durablement. Un arbre est qualifié de « dépérissant » lorsqu'il montre une dégradation non-conjoncturelle de son état de feuillaison (mortalités de branches et pertes de ramifications), illustrant perte de vigueur et/ou de vitalité consécutivement à des stress. *A contrario*, un déficit foliaire provoqué par une attaque d'insectes défoliateurs est bien considéré comme un défaut de feuillaison conjoncturel, qui n'engendre pas systématiquement de dépérissement.

Sous l'action de facteurs prédisposants, déclenchants et aggravants, d'origine climatique, stationnelle, biotique ou anthropique, le processus de dépérissement engage les arbres vers une dégradation, qui sera par définition progressive sur de longs termes (avec des phases de résiliences possibles) et surtout pluricausale<sup>1</sup>.

Figure 4 – BioClimSol modélise les probabilités de dépérissement à partir du concept de risques

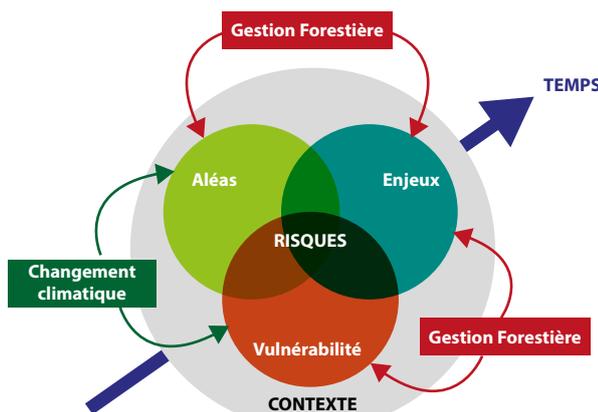
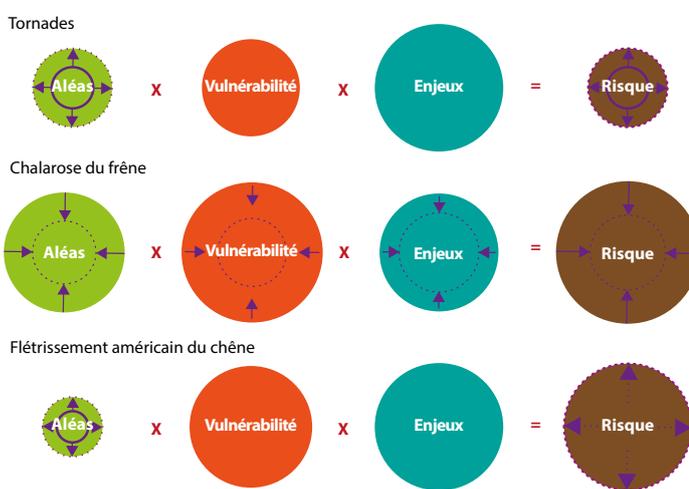


Figure 5 – Exemple d'applications du concept de risque

Les flèches et ronds pointillés indiquent la future vision du risque.



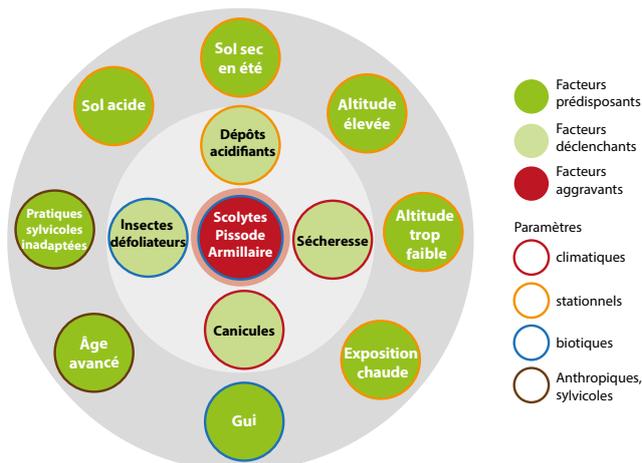
Source : B. Bourlès, DSF

Lors d'un processus de dépérissement, les arbres seront exposés à des stress (facteurs déclenchants ou « aléas »), auxquels ils vont plus ou moins bien réagir (dégradation ou résilience). La récurrence de ces stress, conjuguée aux contextes environnementaux et sylvicoles dans lesquels les arbres se sont développés (facteurs prédisposants/vulnérabilité), vont parfois conduire plus ou moins rapidement le peuplement de l'état sain à l'état très dépérissant (sous l'effet accélérateur possible de facteurs aggravants).

L'hypothèse de départ du raisonnement de BioClimSol part du principe que ces différents facteurs, qu'ils soient climatiques, topographiques, édaphiques, sylvicoles ou biotiques, peuvent apporter une part plus ou moins importante de l'explication du dépérissement observé. La démarche de modélisation du dépérissement étudie ensuite les signaux de corrélation entre chacune des variables susceptibles d'entrer dans le processus et l'intensité du dépérissement, évalué par des indicateurs objectifs (protocoles ARCHI et/ou

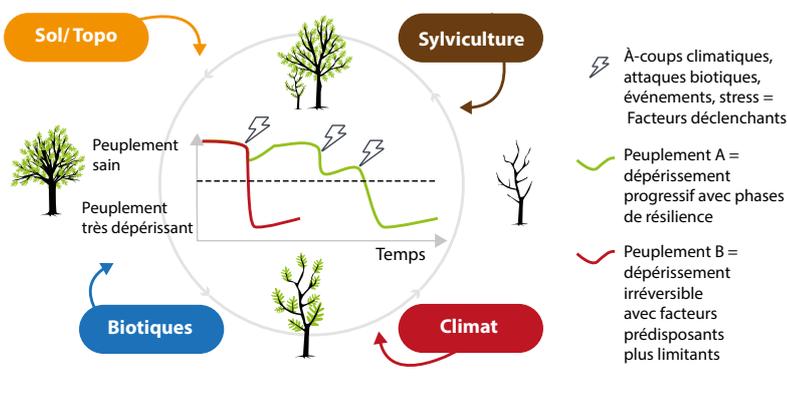
<sup>1</sup> À noter : le « dépérissement » est à distinguer de la notion de « mortalité », ne recouvrant que les cas où la mortalité des arbres entiers s'exprime de manière brutale et ne s'explique que par une seule cause. Par exemple : mortalités liées à un coup de gel.

Figure 6 – Génèse des dépérissements du sapin pectiné



Source : schéma simplifié extrait du livre *La santé des forêts* par Nageleisen L.-M., Piou D., Sointonge F.-X., Riou-Nivert P., 2010. CNPF-IDF, 608 p.

Figure 7 – Processus de dépérissement



DEPERIS). L'identification et la pondération de chacune des variables aboutissent alors à un modèle de dépérissement, qui sera différent pour chaque essence étudiée et valable dans le contexte considéré.

### Au-delà de l'évaluation du risque, la recherche collaborative

L'outil BioClimSol aide à comprendre et expliquer les dépérissements pour mieux évaluer les probabilités d'observer ces phénomènes dans d'autres contextes du territoire national. Le nombre de variables étudiées, comme leurs effets sur le processus de dépérissement (effets d'intérêt négatif comme effets compen-

sateurs), aboutit à des nuances et une résolution suffisamment fines pour apporter des prescriptions opérationnelles à l'échelle d'une parcelle forestière. Avoir une vision étayée du risque de dépérissement pour choisir « la bonne essence au bon endroit » au regard des trajectoires du changement climatique, devient désormais accessible aux sylviculteurs, en première ligne de ces décisions devenues déterminantes.

Si des risques climatiques, sanitaires ou même sylvicoles se dégagent, alors c'est toute une gamme de nouvelles prescriptions qui émerge, éclairant un peu plus les forestiers, à l'occasion de chaque nouveau dépérissement constaté. Si l'outil propose dès aujourd'hui un plus grand discernement sur le risque de dépérissements, les autres dimensions du risque, auxquelles sont exposées les forêts, sont encore nombreuses (incendies, pertes de biodiversité, déstockages de CO<sub>2</sub>...)

Sa conception évolutive et modulaire, ainsi que son fonctionnement de recherche collaborative, permettent d'envisager demain l'intégration de toutes autres dimensions du risque au profit de stratégies de gestion adaptative encore plus performantes. Cela en fait un réceptacle prometteur pour accueillir l'expertise du « multirisques », concept plus global, dont les forestiers commencent à mesurer l'importance dans les décisions de gestion sur le long terme. ■

### Bibliographie

- Agard J., Lisa E., Schipper F., 2014. Glossaire GIEC.
- Brunier L., Breda N., Gauquelin X., Delpont F., Cano B., Riou-Nivert P. [...], Orazio C., 2020. *Guide de gestion des crises sanitaires en forêt, 2<sup>e</sup> édition*. CNPF-IDF, 184 p.
- Cano B., Sointonge F.-X., Husson C., Marçais B., Dowkiw A., Cousseau G. [...], Picard O., 2018. Dossier : Chalfrax, programme de gestion nationale des frênaies face à la chalarose. *Forêt-entreprise*, n°243, p. 16-56.
- Heiderich D., 2010. *Plan de gestion de crise*. Dunod.
- Jactel H., Desprez-Loustau M.-L., Marçais B., Piou D., Robinet C., Roques A., 2012. Évolution des risques biotiques en forêt. *Innovations Agronomiques* 18.
- Lagadec G., Ris C., 2010. Impacts socio-économiques de la crise des subprimes pour les pays de la région Pacifique. *European Journal of Scientific Research*.

### À retenir

BioClimSol élabore son raisonnement sur des modélisations du dépérissement. Il est le fruit de nombreuses études qui ont permis d'identifier les facteurs explicatifs de dépérissements vécus. Chaque facteur devient alors une variable du modèle, qui agit *in fine* sur la probabilité de dépérissements de l'essence étudiée. Les variables identifiées font l'objet de pondérations qui permettent de proportionner leurs effets dans les processus de dépérissement. La recherche des résolutions les plus fines dans la construction des modèles qui alimentent l'outil, permet à ses utilisateurs de profiter de prescriptions opérationnelles à l'échelle de parcelles forestières.

**Mots-clés** : risques, crises, aléas, vulnérabilité, enjeu, stratégie, outils sylvo-climatiques.

# Bien comprendre l'outil de vigilance BioClimSol dans un contexte de dérèglement climatique, réaliser un diagnostic de qualité en forêt

Par Jean Lemaire<sup>1</sup>, Raphaël Bec<sup>3</sup>, Simon Peyrin<sup>1</sup>, Maxime Jourde<sup>2</sup>, Noémi Havet<sup>1</sup>, Jérôme Rosa<sup>1</sup>, Sylvain Pillon<sup>1</sup>, Benjamin Cano<sup>1</sup>, Jacques Becquey<sup>1</sup>, François-Xavier Saintonge<sup>4</sup>

*Il a fallu collecter de nombreuses informations, de mesures et des heures de travail pour concevoir et construire cet outil participatif BioClimSol. Il évalue les zones de vigilance sylvoclimatique pour les principales essences à fort enjeu économique. Ainsi, il répond aux nombreuses questions des gestionnaires et propriétaires, sur des bases tangibles et propose des recommandations sylvicoles ou un choix d'essence potentielle. Son mode d'emploi est détaillé.*

<sup>1</sup> CNPF

<sup>2</sup> Office national des forêts

<sup>3</sup> Alcina

<sup>4</sup> Département de la santé des forêts

## Des outils novateurs pour répondre aux nouvelles données climatiques

Le changement climatique est une réalité (Figure 1) ; les impacts sont déjà réels sur la vitalité et la croissance des arbres. La forêt est un écosystème particulièrement vulnérable. Le forestier doit se doter de **nouveaux outils d'aide à la décision et/ou améliorer ceux existants**. Il n'avait pas encore à sa disposition des outils d'aide à la décision numérique embarqués en forêt, qui prennent en compte les impacts du changement climatique sur la vitalité des essences forestières et qui proposent le choix d'essence à reboiser dans ce contexte de changement.

Le problème avec le changement du climat ce n'est pas tant qu'il change, mais qu'il n'y a pas deux années similaires ! Les extrêmes sont plus renforcés en terme de gel, vent, sécheresse, canicule... avec en filigrane une augmentation des températures.

BioClimSol est un nouvel outil sylvoclimatique qui a pour objectifs :

- ➔ d'aider les décideurs, les gestionnaires et les propriétaires dans l'intégration du risque de dépérissement des peuplements sur pied,
- ➔ et de proposer un choix d'essences en boisement dans un contexte de dérèglement climatique.

BioClimSol est disponible en **3 formats d'usage** : une version **recherche** sous R studio<sup>1</sup>, une version **cartographique** sous QGIS<sup>2</sup> et une version **application** **BIOCLIMSOL**<sup>3</sup> diffusée sous Android et utilisable sur le terrain directement. Cet article fait uniquement référence à la version application. Il convient toujours de se référer au mode d'emploi de l'outil qui est mis à jour en continu<sup>3</sup>.

L'application **BIOCLIMSOL**<sup>3</sup> est un outil de diagnostic à l'échelle de la parcelle. Les versions sous R et QGIS permettent de prendre des décisions de stratégie d'aménagement à l'échelle des massifs, grâce à leur format cartographique.

L'acronyme **BIOCLIMSOL**<sup>3</sup> se décompose en :

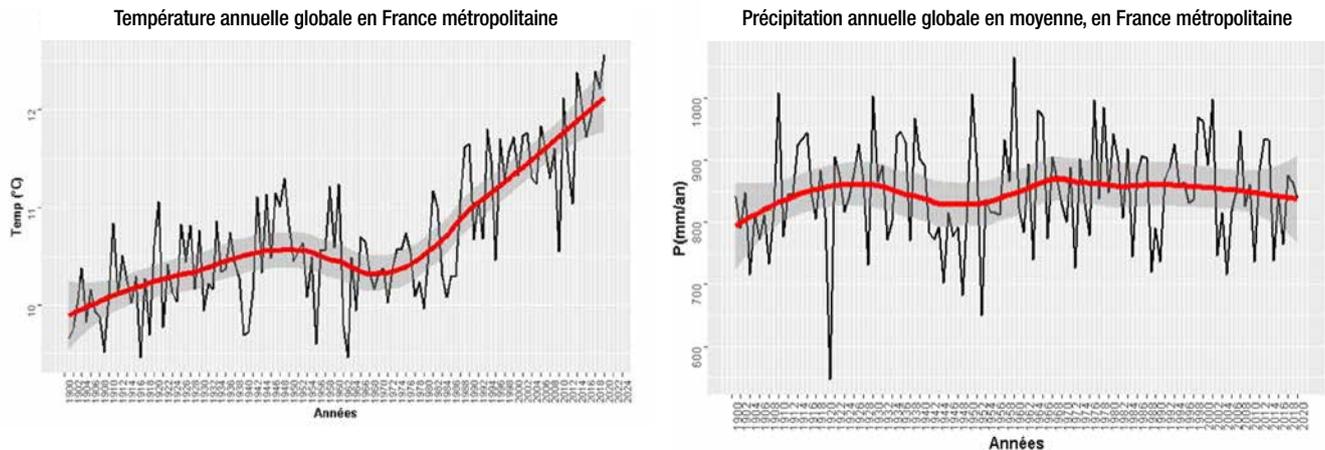
- ➔ **BIO** pour la prise en compte du vivant, notamment des agents biotiques et de la sylviculture qui peuvent influencer l'état sanitaire d'une essence ;
- ➔ **CLIM** pour la prise en compte du climat ;
- ➔ **SOL** pour la prise en compte des facteurs compensateurs ou aggravants des climats, liés au sol et à la topographie, en particulier la disponibilité en eau, le pH, l'hydromorphie...

<sup>1</sup> Logiciel libre de gestion de bases de données, d'analyses statistiques et cartographiques.

<sup>2</sup> Logiciel SIG (Système d'information géographique) libre et multiplateforme.

<sup>3</sup> Le mode d'emploi BCS est fourni aux utilisateurs formés de l'application

**Figure 1 – Évolution des températures moyennes annuelles et des précipitations annuelles en France métropolitaine depuis 1900**



*En moyenne, par rapport à la référence Météo-France climat HD 1975-2006 (point 4), la température 1991-2020 a augmenté sur le continent de 1,07 °C. Les pluviométries sont par contre très variables d'une année sur l'autre. Elles n'ont pas de tendance évolutive en moyenne, sur l'année sur l'ensemble du territoire actuellement. Mais la récurrence des sécheresses estivales est plus fréquente dans de nombreuses régions.*

## Les étapes du diagnostic BioClimSol

Le diagnostic BioClimSol (Figure 3) nécessite tout d'abord un relevé de terrain précis et complet, réalisé dans les règles de l'art. L'application<sup>4</sup> est composée de modules de saisie de données : peuplement, sol, topographie, état

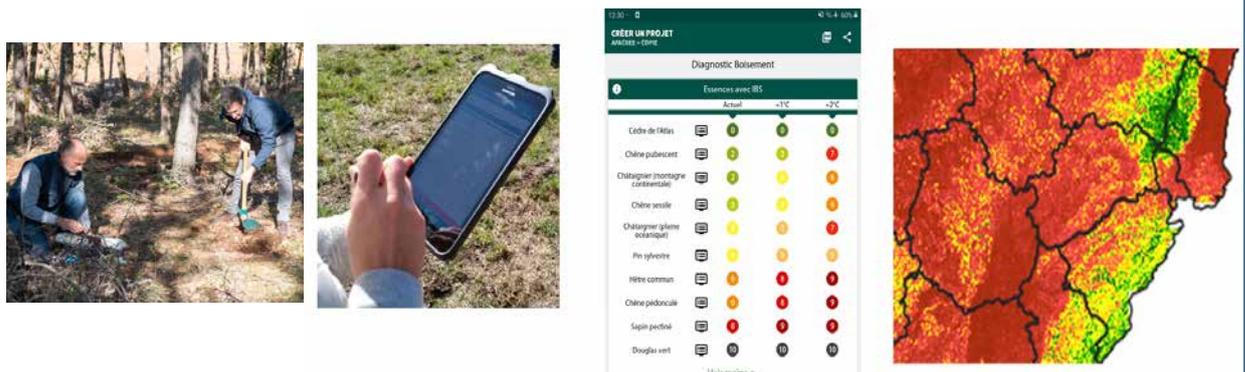
sanitaire (facteurs biotiques et état sanitaire). Les données climatiques – température maximale, gel, déficit hydrique climatique (P-ETP), récurrence des années à fort déficit hydrique... – et certaines données topographiques sont automatiquement renseignées au niveau de la parcelle à l'aide de la localisation GPS. Les données liées au sol, à la microtopographie nécessitent un relevé détaillé à l'aide d'un matériel ad-hoc (pioche, tarière, pH mètre...). Cela nécessite donc de bonnes connaissances pédologiques, car il faut saisir les champs épaisseur, texture, % d'éléments

## Le saviez-vous ?

BioClimSol c'est plus de 200 cartes de climat, de modèles de niche ou de dépérissement d'indices topographiques...

<sup>4</sup> L'application est installée sur une tablette ou smartphone sous Android, version 5.0 minimum.

**Figure 2 – BioClimSol est un outil de diagnostic à l'échelle de la parcelle en version application mobile. Il est également développé en version cartographique et recherche.**



**Tableau 1 – Les niveaux de vigilance BioClimSol varient de « modéré », « élevé », à « maximal »**

Les indices BioClimSol déterminent trois grandes classes de vigilance pédoclimatique :

Niveau de vigilance	Couleur	Valeur de l'indice BioClimSol IBS	Indice de niche pédologique et climatique INB  → CLIMAT  → SOL  → TOPOGRAPHIE
Modéré	Verte	< 4	tous verts ou 1 orange maxi
Élevé	Jaune orange	4 à 6,9	> 2 orange Pas de rouge
Maximal	Couleur rouge	7 à 10	> 2 orange ≥ 1 rouge

La couleur des indicateurs varient pour chaque facteur :

vert = favorable,  
orange = toléré à peu favorable,  
rouge = exclusion

grossiers, effervescence et hydromorphie pour chaque horizon identifié lors du sondage.

Les problèmes sanitaires constatés sont intégrés par l'opérateur. De même, les dépérissements observés sur la parcelle ou dans un environnement proche sont notés. Il peut aller plus loin en réalisant des relevés selon la méthode ARCHI (CNPF) ou selon le protocole DEPERIS (DSF).

Toutes ces données sont mises en relation via des algorithmes statistiques calés par essence. Ces algorithmes calculent deux indices, directement associés à la parcelle diagnostiquée pour différents horizons climatiques temporels :

- l'indice BioClimSol IBS,
- l'indice de niche BioClimSol INB.

Les notions d'IBS et d'INB sont expliquées à la page suivante.

Le contexte stationnel est donc automatiquement rempli sauf l'exposition, la pente et le confinement.

L'essence sur laquelle on réalise le diagnostic est sélectionnée ainsi que le type de peuplement ; on réalise un diagnostic par essence dans un peuplement mélangé. Des données dendrométriques peuvent être rentrées de façon facultative.

L'opérateur doit réaliser un sondage pioche – tarière avant de remplir les champs du menu Pédologie.

Les résultats sont affichés dans deux modules correspondant à deux grands types de situations rencontrées : **gestion du peuplement sur pied et module boisement**.

Ces niveaux de vigilance sont associés à un risque de dépérissement : c'est l'apport de BioClimSol ! À chaque vigilance, selon le type de peuplement rencontré ou le projet de boisement, et selon les horizons climatiques, des recom-

mandations sylvicoles sont proposées<sup>5</sup>.

Ces pistes de recommandations ne sont pas détaillées, elles sont, avant tout, des conseils dans la gestion pour améliorer la résistance et la résilience des forêts dans un contexte de changement des climats. Elles doivent être adaptées au cas par cas selon le contexte local. Elles ont été validées par un comité d'experts.

**Vigilance BioClimSol  
x type de peuplement  
x horizon climatique  
= recommandations sylvicoles**

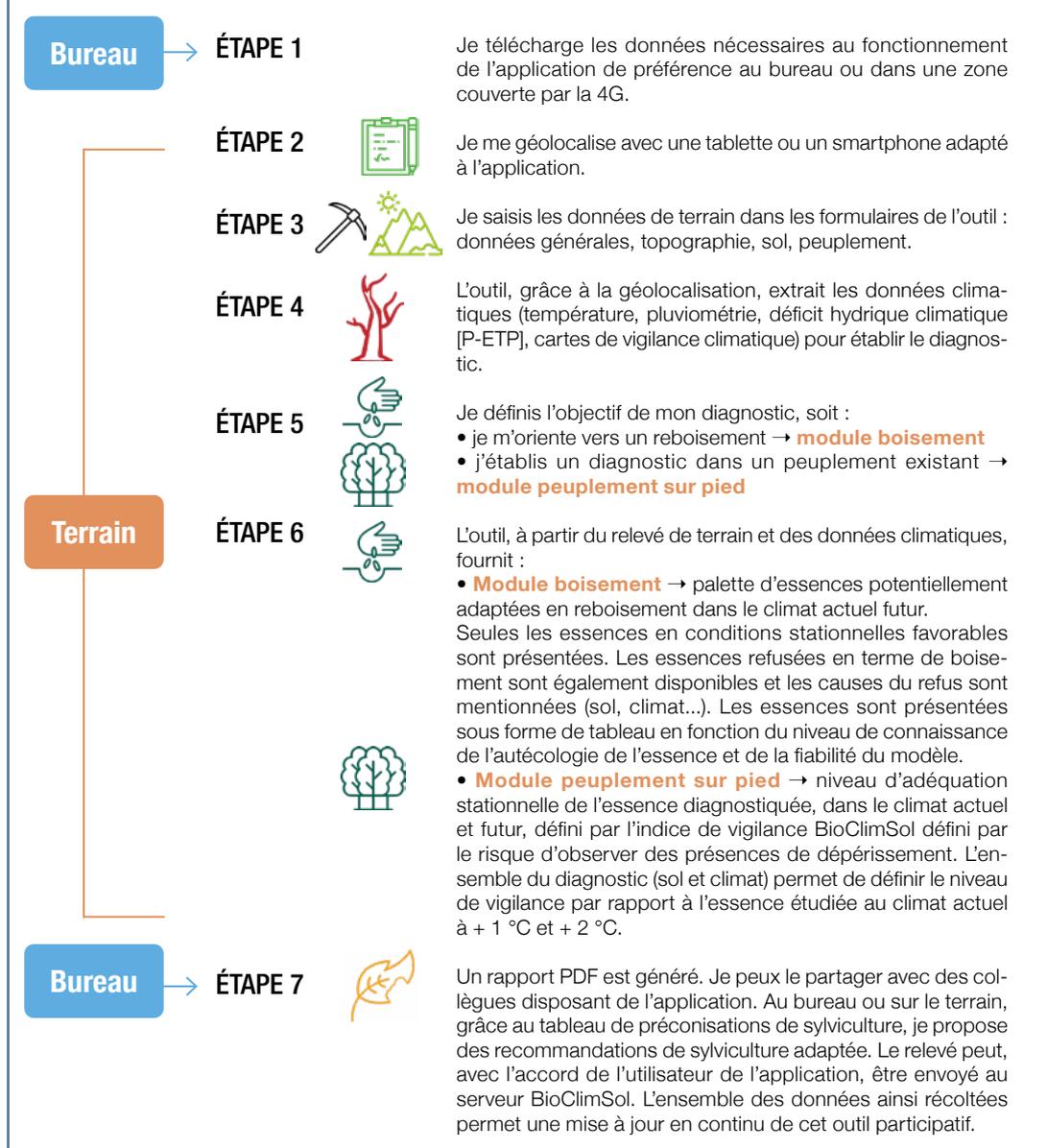
En toute fin, le diagnostic établi et vérifié, l'opérateur rédige son propre diagnostic final, en le confrontant avec son expertise et les réalités économiques aux niveaux de vigilance déclinées par l'outil, aux recommandations sylvicoles, selon qu'il se situe dans un peuplement en place ou en phase de renouvellement.

L'opérateur, qui utilise l'outil BioClimSol, doit toujours garder à l'esprit que ces données sont issues de la modélisation. Il simplifie la réalité complexe du vivant. Les données sont donc toujours sujettes à caution et ne doivent jamais se substituer à l'expertise d'un technicien sur le terrain. BioClimSol donne des indications générales en attirant la vigilance du technicien.

Il faut apprendre à analyser les résultats renvoyés par l'outil. Il est vivement conseillé d'appuyer, en cas de doute, son diagnostic sur une personne ou d'un organisme compétent formé à son usage. En aucun cas, le CNPF ne pourra être tenu responsable des conséquences — quelles qu'elles soient — résultantes de l'utilisation de cet outil.

<sup>5</sup> Indispensables dans l'usage de l'outil, celles-ci sont précisées p. 36 de ce dossier.

Figure 3 – Les étapes du diagnostic avec l'application FORECCAsT by BioClimSol



## Les indices IBS et INB, qu'est-ce que c'est ?

Les indices BioClimSol (IBS) et de niche BioClimSol (INB) sont les deux indicateurs, qui calculent le niveau de vigilance indiqué par l'outil (Figure 4).

### L'Indice BioClimSol ou IBS

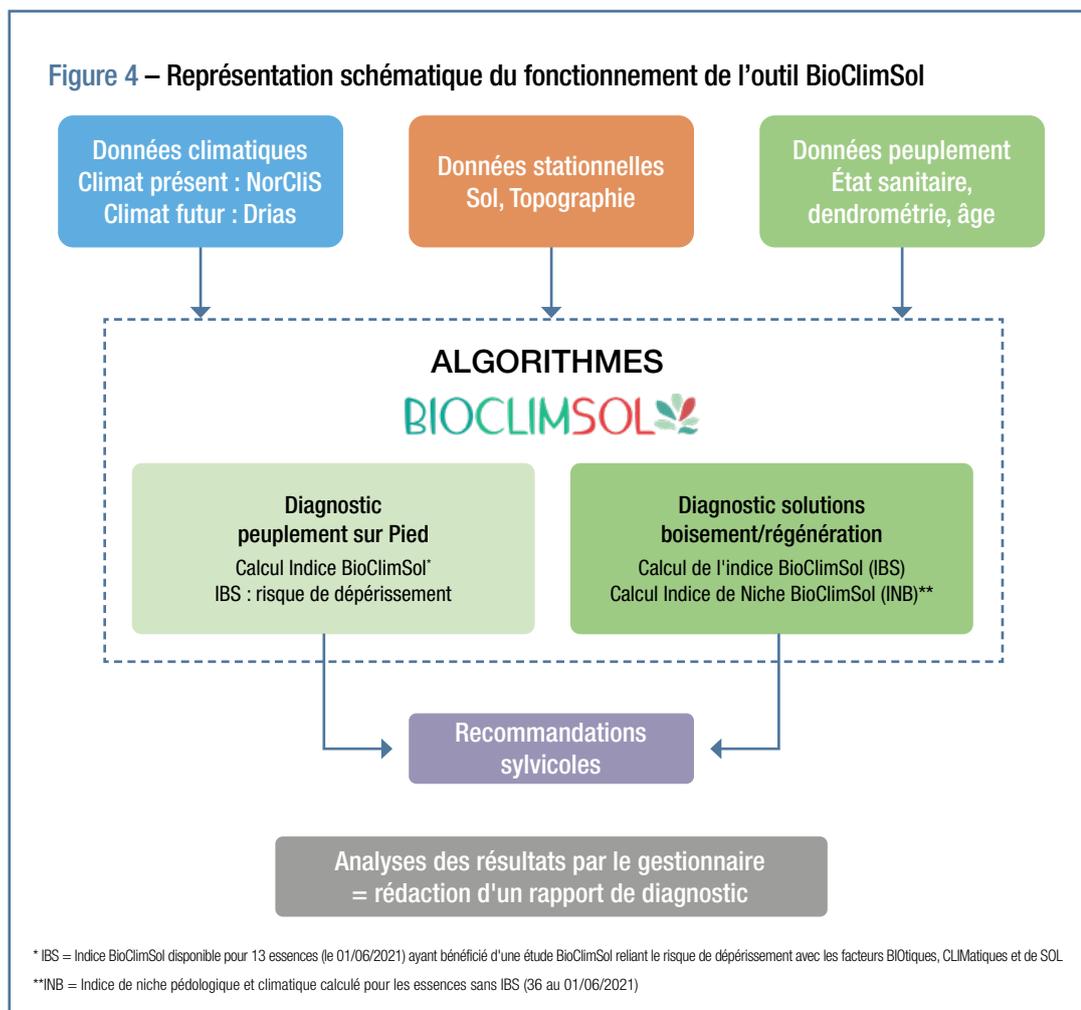
L'Indice BioClimSol (IBS) est l'indice de vigilance basé sur la probabilité d'observer du dépérissement à l'échelle de la parcelle.

La définition du dépérissement est basée sur les normes de la Communauté européenne et du Département de la Santé des Forêts (DSF). Un peuplement est dit dépérissant, si au moins 20 % des tiges dominantes ou co-dominantes sont en Classe D ou plus du protocole DEPERIS du DSF (soit environ plus de 50 % de déficit foliaire).

La grande innovation de BioClimSol est de mettre en relation, sous forme d'équations mathématiques, les facteurs pouvant influencer positivement ou négativement sur le risque de dépérissement lié aux facteurs **BIO**tiques (champignons, insectes, plantes parasites, sylviculture), du **CLIM**at (températures, bilan hydrique climatique P-ETP) et du **SOL** (indice de topographie, réservoir utile en eau, pH, calcaire actif, hydromorphie...). Cette équation détermine un indicateur de niveau de vigilance nommé IBS (Indice BioClimSol) oscillant de la valeur 0 à 10.

**L'IBS indique un risque de présence de dépérissement pour l'essence diagnostiquée** (Tableau 2 page 21). On parle d'indice de vigilance, car il faut garder à l'esprit qu'il est en

Figure 4 – Représentation schématique du fonctionnement de l’outil BioClimSol



réalité impossible de prédire avec certitude la présence ou non de dépérissement sur une parcelle donnée, tant les facteurs qui influent ce dépérissement sont complexes, nombreux et interagissent entre eux. Par contre, il est possible d'évaluer s'il y a plus ou moins de risques d'observer un dépérissement, au regard des informations renseignées ; c'est tout le sens de l'outil en proposant un niveau de vigilance.

La force de l'outil est qu'il est basé sur un protocole unique lors de son élaboration et d'avoir accumulé de nombreuses mesures de pla-

cettes depuis 2009. À ce jour, plus de 5 000 placettes ont été mesurées pour les 13 essences étudiées, soit un peu plus de 100 000 arbres recensés dans la base de données. Ces mesures ont permis de construire les indices IBS. Ces indices seront « continuellement » remis à jour, grâce aux données récoltées sur le terrain via l'application et renvoyées au CNPF pour enrichir la base de chaque essence. Nous prenons un exemple d'indice IBS, calculé pour le douglas, mesuré à partir de plusieurs études consacrées à cette essence (Figure 9, p. 28). L'équation est construite avec une méthode statistique dédiée. Seuls

Tableau 2 – Correspondance entre les niveaux de vigilance, la valeur de l'IBS et la probabilité d'observer du dépérissement

= probabilités de rencontrer un dépérissement	5%	15%	25%	35%	45%	55%	65%	75%	85%	95%
= Indice BCS ou « note de vigilance »	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
= classes de vigilance	VIGILANCE MODÉRÉE			VIGILANCE ÉLEVÉE				VIGILANCE MAXIMALE		

**NB : la note de vigilance est harmonisée pour toutes les essences pour « détecter » un même niveau de dépérissement**

### Exemple d'équation IBS pour le douglas vert

367 placettes ont été mesurées, la répartition des placettes est indiquée en figure 9 (p. 28). Parmi l'ensemble des très nombreuses variables testées, l'équation suivante a été retenue :

$$\text{IBS} = 13,37 - 0,27 \times \text{pente} - 0,33 \times \% \text{ def\_hyd} + 0,0786 \times \text{P-ETP0608} + 0,0842 \times \text{RU150}$$

**AUC = 0,79**

- ▣ **Pente (en %) : influence négativement l'état sanitaire**
- ▣ **Déficit hydrique (en %) : pourcentage d'années à fort déficit hydrique climatique = carte de récurrence des forts déficits hydriques climatiques BioClimSol : influence négativement l'état sanitaire**
- ▣ **P-ETP0608 (mm) : déficit hydrique climatique sur la période de juin à août (ETP Turc) 1981-2010 : influence positivement l'état sanitaire**
- ▣ **RU150 (mm) : réserve utile en eau dans les 150 premiers centimètres de sol – modèle Jamagne établi à partir de la mesure pioche tarière : influence positivement l'état sanitaire.**

Des situations particulières, où le douglas est peu présent ou absent, sont prises en compte pour éviter notamment de proposer cette essence en reboisement dans ces contextes stationnels.

		vigilance
<b>Douglas vert</b>	Si hydromorphie très marquée dans les 50 premiers centimètres de sol = niveau 4 ou Nappe courante	<b>+ 6 = élevée</b>
	Si hydromorphie marquée dans les 50 premiers centimètres de sol = niveau 3	<b>+ 4 = modérée</b>
	Si Temp Moy Annuelle 1981-10 < 5 ou pH < 4,0 ou pH ≥ 7 ou effervescence à l'HCL dans les 50 premiers centimètres de sol	<b>+ 10 = maximale</b>

Pour rappel, cette équation est amenée à évoluer en fonction des données récoltées pour améliorer les modèles. En plus des variables du bilan hydrique, la pente a un poids non négligeable dans le modèle IBS.

les paramètres significatifs, au sens statistique du terme, sont retenus dans ces modèles. Il faut toujours garder à l'esprit que cet indice est aujourd'hui calé sur des données issues des régions d'études délimitées. Même si le panel de données commence à être important, il ne reflétera jamais la diversité des situations rencontrées sur l'ensemble du territoire. À ce stade, le nombre de régions couvertes est encore faible pour certaines essences (Figure 9, p. 28). Il importe toujours que l'opérateur se réfère aux régions couvertes par le modèle et identifie ainsi un niveau de fiabilité sur sa région.

Il est nécessaire que l'opérateur connaisse l'ensemble des facteurs intégrés dans l'équation. Si certains facteurs aggravant ou minimisant le risque de dépérissement ne sont pas encore pris en compte dans le modèle, mais sont connus par l'opérateur, il lui convient de les intégrer dans la réflexion. L'utilisateur doit donc s'efforcer de consulter les variables intégrées au modèle actuel. À l'heure actuelle, toutes les essences pré-

sentes dans l'outil n'ont pas d'équations permettant le calcul d'un IBS. En effet, des études de terrain détaillées sont nécessaires à la construction de telles équations (minimum 60 placettes, soit un travail de 6 mois et plus, souvent sur plusieurs régions). Au total, **13 essences bénéficient donc d'un IBS à l'échelle de la France** : chênes pédonculé, sessile, pubescent, vert, liège, châtaignier, hêtre, pin sylvestre, sapin pectiné, épicéa commun, douglas vert, cèdre de l'Atlas et le frêne commun (modèle chalarose). Seules ces 13 essences avec IBS sont disponibles dans le module gestion peuplement sur pied. Ce nombre continuera à progresser au fur et à mesure le développement de l'outil.

Cet indice IBS, création spécifique de l'outil BioClimSol, est régulièrement expliqué dans la revue *Forêt-entreprise* du CNPF ainsi que d'autres revues ou réseaux<sup>6</sup>. Une thèse de doctorat est actuellement dédiée à BioClimSol en partenariat avec INRAE d'Aix-en-Provence et l'Université d'Aix - Marseille.

<sup>6</sup> Dossier BioClimSol : un outil d'aide à la décision face au changement climatique. *Forêt-entreprise* n°218, CNPF-IDF, 64 p. [https://www.researchgate.net/publication/331928296\\_Bioclimsol\\_un\\_outil\\_d'aide\\_a\\_la\\_decision\\_face\\_au\\_changement\\_climatique](https://www.researchgate.net/publication/331928296_Bioclimsol_un_outil_d'aide_a_la_decision_face_au_changement_climatique)

### L'Indice de niche pédologique et climatique BioClimSol ou INB

Pour les essences ne bénéficiant pas encore d'un IBS, c'est-à-dire n'ayant pas fait l'objet d'une étude mettant en relation le risque de dépérissement avec les facteurs stationnels, un **indice de niche climatique et pédologique BioClimSol** a été construit : **INB**.

Ce modèle calcule tout d'abord, pour une essence, la probabilité qu'elle soit en moyenne dans des conditions climatiques adaptées à sa présence potentielle et limitant les risques de dépérissement (modèle de niche climatique). Cet indice de **niche climatique** prend en compte 7 seuils de critères climatiques :

- ➡ température minimale absolue,
- ➡ moyenne des températures minimales de janvier et moyenne des températures minimales de mars,
- ➡ température moyenne annuelle,
- ➡ moyenne des températures maximales de juin à août,
- ➡ bilans hydriques climatiques (P-ETP) entre mai et septembre, et juin et août.

Les données climatiques sont calculées sur une moyenne 1981-2010 à différents horizons climatiques + 1°C et + 2°C... par rapport à cette normale. Les seuils critiques des paramètres climatiques pour définir ces niches sont spécifiques à BioClimSol.

Cette probabilité d'être dans la niche climatique (sur base des moyennes trentenaires uniquement) **oscille entre 0 et 100 %**. Le climat est jugé favorable à la présence de l'essence si le seuil d'adéquation de la niche climatique est supérieur ou égal à 70 % ; il est toléré entre 30 et 70 % ; en-dessous de 30 %, c'est un critère d'exclusion et l'essence n'est plus considérée comme étant en adéquation climatique.

À cet indice de niche climatique, des seuils en termes d'exigence en sol – pH, réservoir utile en eau, hydromorphie, compacité, calcaire actif – et de topographie sont ensuite compilés sur la base des connaissances relevées dans la littérature scientifique et validées par un comité d'experts.

L'INB ne fonctionne pas comme l'IBS : il n'y a pas d'équation intégrée à ce stade (ce module est d'ailleurs en cours de développement et est déjà disponible dans la version recherche de l'outil). L'INB fonctionne par un système de clés se référant à des seuils pour chaque critère de climat, de sol, de topographie. Cela signifie qu'on ne peut évaluer les effets compensateurs ou aggravants de certains facteurs par rapport aux autres.

L'application regarde, pour une essence donnée, le nombre d'indicateurs favorables, tolérés ou d'exclusion selon les seuils définis. Dès

**Figure 5 – BioClimSol propose un diagnostic à l'échelle de la parcelle**



*Il nécessite un équipement dédié :*

- *tablette ou smartphone sous Android (minimum 5),*
- *une pioche et une tarière,*
- *si possible un pH mètre de terrain (si le pH ne peut être mesuré sur place, il est possible également de l'estimer avec un relevé floristique).*

*Téléchargez en plus de l'application, les documents nécessaires pour effectuer le diagnostic.*

qu'un critère climat, sol ou topographie est dans le rouge<sup>7</sup>, l'essence est exclue ; si un ou deux critères sont dans l'orange l'essence est tolérée, si tous les critères sont dans le vert la station est jugée favorable.

Au final, l'outil compile dans le module boisement les essences selon ces critères de climat de pédologie et de topographie.

Il est très important de comprendre que **l'outil fonctionne donc avec des valeurs seuils**. Dès que la valeur seuil est franchie, l'outil peut passer de critère favorable à défavorable.

Par exemple, si le pH passe de 7 à 7,1, certaines essences seront exclues, alors qu'elles seraient acceptées à pH 7. Il est donc indispensable de se référer aux valeurs seuils de l'outil disponibles ! Ces seuils seront amenés à évoluer si nécessaire en fonction des connaissances et des remarques des utilisateurs.

Au total en janvier 2022, 36 essences sont disponibles avec un INB dans l'outil. Avec les 13 essences avec INB, BioClimSol peut diagnostiquer 49 essences sur le territoire à ce jour.

## Prise en compte du climat futur dans BioClimSol ?

Comment prendre en compte le climat futur ?

Voici une question importante, qui fait l'objet de nombreux travaux scientifiques qui soulèvent une multitude de questions.

Pour y parvenir, une discussion avec Météo-France a eu lieu dans le cadre du projet Life FORECCAsT piloté par le Parc naturel régional du Haut-Languedoc. Depuis 2012, Météo-France a lancé son portail des climats futurs Drias<sup>8</sup>. Ce portail est accompagné depuis 2015 du site climat HD<sup>9</sup>. Climat HD est une application, très bien réalisée, qui permet de visualiser le changement climatique dans sa région.

Le changement climatique est une réalité dont les impacts sur les forêts sont déjà visibles.

La forêt est un écosystème de production à long terme, qui présente une forte inertie, c'est-à-dire, une rapidité et un temps d'adaptation aux nouvelles conditions climatiques limitées. La question pour la forêt n'est pas de connaître avec précision la temporalité des évolutions, mais **à quel moment certains seuils climatiques seront franchis** (on parle d'horizon climatique). Après discussion avec Météo-France, il a été choisi l'option d'identifier ces horizons climatiques à partir desquels nous gagnerons 1, 2, 3 °C en moyenne par rapport à la température moyenne annuelle trentenaire 1976-2005 de référence de climat HD.

ses prévisions à la hausse pour l'augmentation des températures : il prédit une augmentation continue de la température moyenne du globe au moins jusqu'en 2040, qui atteindrait 2 °C environ, et ce quelle que soit l'évolution des émissions de gaz à effet de serre.

Pour définir ces horizons, le climat HD à l'échelle de la France et des données Drias de 4 modèles climatiques sur le territoire d'étude du projet FORECCAsT sont les bases de travail. Les différents horizons climatiques ont été calculés pour le scénario RCP 8.5 du GIEC et différents modèles climatiques :

**+ 1°C prévu entre 2015-2045**

(seuil déjà en réalité atteint depuis 2017, Figure 6)

**+ 2°C prévu entre 2045-2075**

**+ 3°C prévu entre 2065-2095**

Ces horizons climatiques définis, nous avons calculé comment évoluaient les autres paramètres de BioClimSol en relatif. **Dit autrement, quand nous gagnons 1 °C en moyenne, de combien évoluent les paramètres climatiques BioClimSol en °C pour les températures et en mm pour le bilan hydrique climatique (P-ETP) selon les données CNRM<sup>10</sup> dans Drias (Météo-France).** Cette évolution a été introduite pour faire varier les modèles climatiques entrant dans les modèles IBS et INB. La grande difficulté, en travaillant avec les données du GIEC, est de cibler les événements extrêmes. Il est quasiment certain que les données du climat futur ne permettront pas de cibler temporellement et géographiquement des événements très rares, qui peuvent avoir de lourdes conséquences sur l'état sanitaire

<sup>7</sup> Voir tableau 2 p. 21

<sup>8</sup> <http://www.drias-climat.fr>

<sup>9</sup> <https://meteofrance.com/climathd>

<sup>10</sup> Centre national de recherches météorologiques de Météo-France

des arbres. On peut citer malheureusement de multiples exemples : la canicule de 2003 reste un événement record dans bien des territoires, la sécheresse de 2018 dans la moitié nord de la France (plus sévère que la mythique sécheresse de 1976), des épisodes à répétition d'orage de grêles comme en 2019, des retours de gelées après un printemps doux comme en 2021, la sécheresse et les températures extrêmes de 2022...

Certains modèles IBS, comme celui de l'épicéa, du pin sylvestre en région Centre-Val de Loire<sup>11</sup>, se basent déjà directement sur la manifestation de ces événements extrêmes... Si un événement extrême s'est produit à un endroit, il a de très fortes chances de se reproduire, surtout dans ce contexte de dérèglement climatique.

Il sera tout de même délicat de les prévoir a priori... en insistant à nouveau sur la notion de vigilance. Même s'il paraît sévère, il est sûr que l'outil BioClimSol minimise les risques... Pourtant, il est déjà plus sévère dans ses prédictions que les classiques modèles de niche climatique basés sur des moyennes trentenaires !

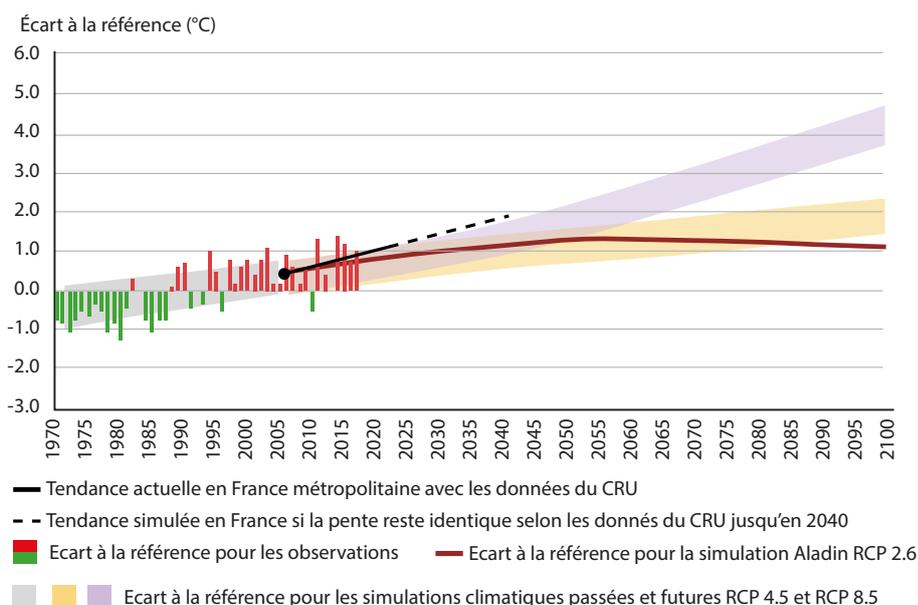
### Une prochaine version 2 de l'outil

La prévision du climat futur est source de l'attention de nombreux centres de recherche à travers le monde. L'équipe BioClimSol travaille actuellement avec ses partenaires à l'amélioration des modèles climatiques. Dès 2023-2024, nous serons en mesure d'intégrer de nouveaux modèles avec les normales climatiques 1991-2020, par exemple. Nous travaillons actuellement sur l'intégration de nouveaux modèles climatiques du climat futur. Nous testons cette fois une spatialisation fine du climat futur à l'échelle du territoire, en se basant notamment sur les évolutions des données climatiques réelles mesurées sur le terrain des trente dernières années. L'application sera régulièrement mise à jour, grâce à son système évolutif. Nous garderons toujours cette spécificité de BioClimSol : travailler à des échelles d'évolution climatique de +1 °C, +2 °C, + x °C. La question est bien de savoir quand certains seuils climatiques pouvant entraîner de forts dommages en forêt sont franchis à l'échelle de la durée de vie d'un arbre et non de savoir si cela se passera en 2039 ou 2047.

<sup>11</sup> Se référer à l'article *Avenir du pin sylvestre en région Centre-Val de Loire*, p. 44 de ce dossier.

**Figure 6 – Température annuelle moyenne : écart à la référence 1976-2005**

Sortie Climat HD à l'échelle de la France de 1976 à 2100 sur lequel en noir sont superposées les évolutions climatiques actuelles et simulées sur le continent à partir des données de l'unité de recherche climatique (voir Figure 1, p.18)



## Méthodologie de prise en compte des variations du climat à partir des données Drias de Météo-France

Scénario retenu au final : 8.5. Données de 1950 à 2100. Portail Drias CNRM 2014. Données avec rayonnement obligatoire pour calcul de l'ETP. Calcul ETP Turc.

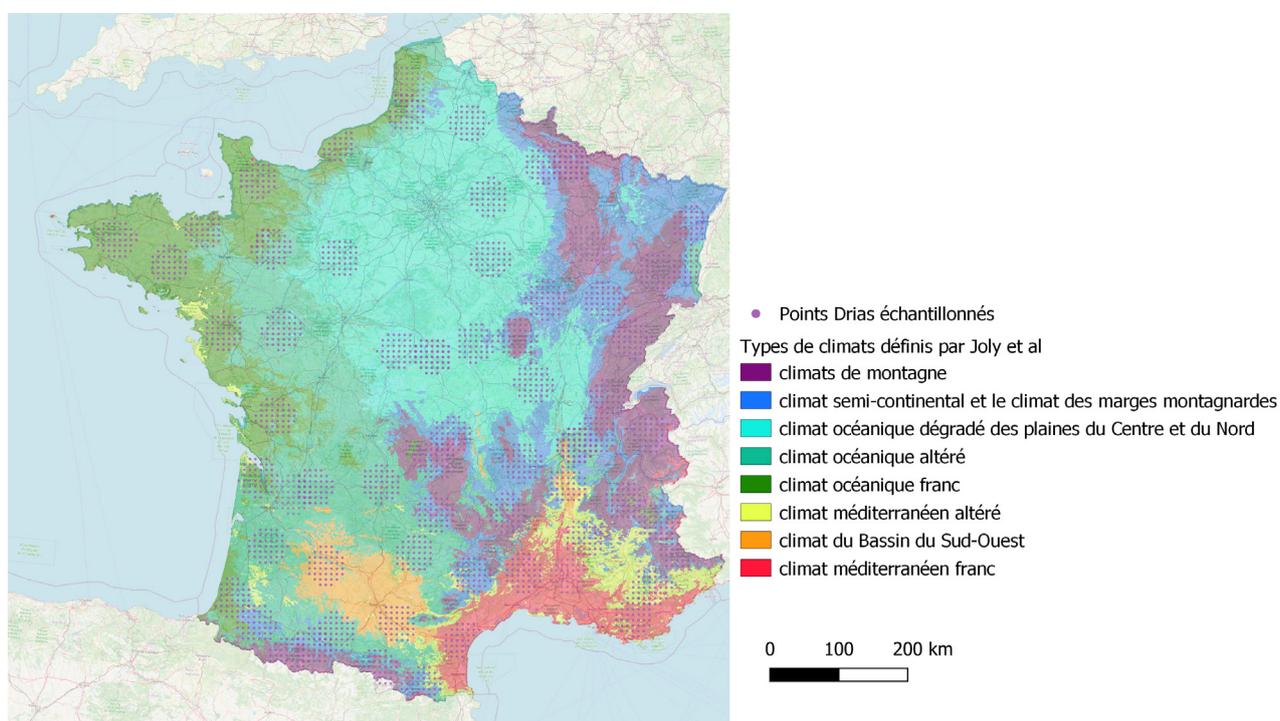
Étant donné le volume de données à télécharger et des variables à calculer, si l'on prenait l'ensemble du jeu de données sur la France, un échantillonnage stratifié aléatoire (Figure 7) a été réalisé. Ce travail a été entrepris dans le cadre du projet LIFE FORECCAsT.

La stratification a été réalisée en veillant à répartir les points selon les grands types de climat rencontrés en France d'après l'étude de Joly *et al.*, 2010<sup>12</sup>. La proportion des points est proportionnelle à la surface couverte par chaque type de climat sur le territoire.

Les points centraux, en mauve sur la carte ci-dessous (correspondants à une ville), ont été choisis aléatoirement et ensuite un rayon de 30 km a été pris autour de chaque point.

Pour chaque point de la figure 7, les données du climat de 1950 à 2100 ont été collectées.

Figure 7 – Stratégie d'échantillonnage des données Drias en fonction des types de climat définis par Joly *et al.* (2010)



Sans rentrer dans le détail des résultats (en cours de rédaction dans le manuel BioClimSol), des différences significatives des évolutions spatiales entre les types de climats n'ont pas été détectées.

D'après les données compilées, les critères BioClimSol évoluent.

Pour 1 °C gagné en moyenne, la température moyenne annuelle (TMAN en moy trentenaire) augmenterait de :

TN03	TX0608	TNABS	TXABS
+0,84 Retenu modèle +1 °C	+1,19 Retenu modèle + 1 °C	+1,4 Retenu modèle + 1 °C	+1,1 Retenu modèle + 1°C
P-ETP0410	P-ETP0608	P-ETP0509	
- 40 mm Retenu modèle – 40 mm	- 26 mm Retenu modèle – 30 mm	- 38mm Retenu modèle – 40 mm	

Normales climatiques = Moyenne sur trente ans

TN03 [°C] Moyenne température minimale du mois de mars

TX0608 [°C] Moyenne des températures maximales de juin à août

TNABS [°C] Température minimale absolue

TXABS [°C] Température maximale absolue

PETP0410, 0509, 0608 [mm] Bilan hydrique climatique en eau pour les mois cités inclus ex 0410 = avril à octobre inclus

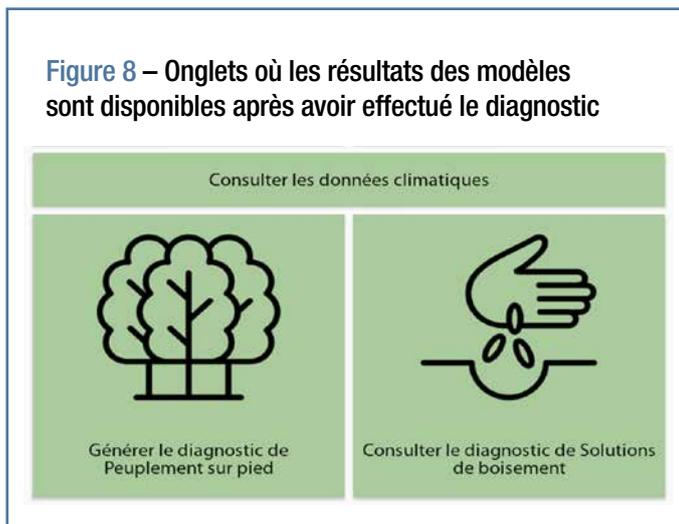
<sup>12</sup> Joly D., Brossard T., Cardot H., Cavailles J., Hilal M., Wavresky P., 2010 « Les types de climats en France, une construction spatiale », Cybergeo : European Journal of Geography. <https://journals.openedition.org/cybergeo/23155>

## Les étapes à respecter pour générer un diagnostic de qualité et analyser les résultats. Limites et points forts de l'outil

### Une démarche pas à pas

- ➔ Les données nécessaires au bon diagnostic BioClimSol sont collectées **avec soin et rigueur**, les champs dédiés sont remplis dans l'application<sup>13</sup>. Cela nécessite certaines connaissances, notamment en pédologie et dans le diagnostic ARCHI et DEPERIS.
- ➔ Le diagnostic complété, **les résultats de l'application sont disponibles dans trois onglets** :
  - données climatiques,
  - diagnostic peuplement sur pied,
  - diagnostic solution de boisement/régénération.
- ➔ Consultation des données climatiques du point diagnostiqué, notamment le P-ETP (Bilan hydrique climatique), en premier lieu ; cela indique l'étage de végétation du diagnostic (Tableau 3).
- ➔ Choix de l'essence et orientation vers le diagnostic peuplement sur pied ou vers le diagnostic solution de boisement/régénération.
- ➔ Dans le module peuplement sur pied, avant l'analyse, vérifier si l'essence a fait l'objet de **mesures sur le secteur d'études** (ou sur un secteur aux conditions stationnelles proches).

**Figure 8 – Onglets où les résultats des modèles sont disponibles après avoir effectué le diagnostic**



- **Si OUI** : la précision des résultats est normalement plus importante.
- **Si NON** : les résultats de l'indice IBS affichés sur l'application sont une extrapolation des résultats de modèles issus d'une autre région écologique. Ils **doivent être analysés avec prudence**.

L'opérateur doit ensuite analyser les paramètres intégrés dans le modèle pour l'essence diagnostiquée.

<sup>13</sup> Plus d'infos sur les tutoriels BioClimSol : <https://www.cnpf.fr/tutoriels-bioclimsol>

**Tableau 3 – Quelques informations sur les limites des étages de végétation essence**  
Seuil uniquement utilisable avec BioClimSol

TMAN °C moyenne trentenaire Température moyenne annuelle limite minimale	Étage
4 °C	Épicéa/ pin sylves/ mélèze d'Europe Douglas vert/sapin pectiné Hêtre commun Chêne pédonculé Chêne sessile Châtaignier/chêne pubescent*
5 °C	
6 °C	
7 °C	
8 °C	
9 °C	
Seuil de P-ETP 0608 mm moyenne trentenaire Bilan hydrique climatique en eau de juin à août inclus ETP formule de Turc	Étage
P-ETP0608 > - 140 mm	Sapin pectiné/épicéa
> - 180 mm	Hêtre, pin sylvestre
> - 210 mm	Douglas vert, chêne pédonculé
> - 240 mm	Chêne sessile, châtaignier
> - 280 mm	Chêne pubescent et cèdre de l'Atlas
> - 330 mm	Chêne vert

Les modèles BioClimSol sont construits à partir de données récoltées sur le terrain dans des régions et des parcelles définies, sur un nombre de points parfois encore faible. Tous les paramètres compensant ou aggravant les risques et donc le niveau de vigilance n'ont pu être pris en compte. Il faut toujours s'en rappeler et moduler le résultat avec les paramètres non intégrés au modèle.

Il est ensuite possible de s'orienter si besoin vers le module boisement.

Deux fenêtres sont disponibles dans ce module (Figure 10), les essences avec IBS (voir étape précédente) et celles avec INB dont le calcul est effectué avec l'indice de niche pédologique et climatique BioClimSol (INB).

Les seuils de vigilance renvoyés par l'outil sont à identifier. Le diagnostic est-il en vigilance modérée, élevée ou maximale ?

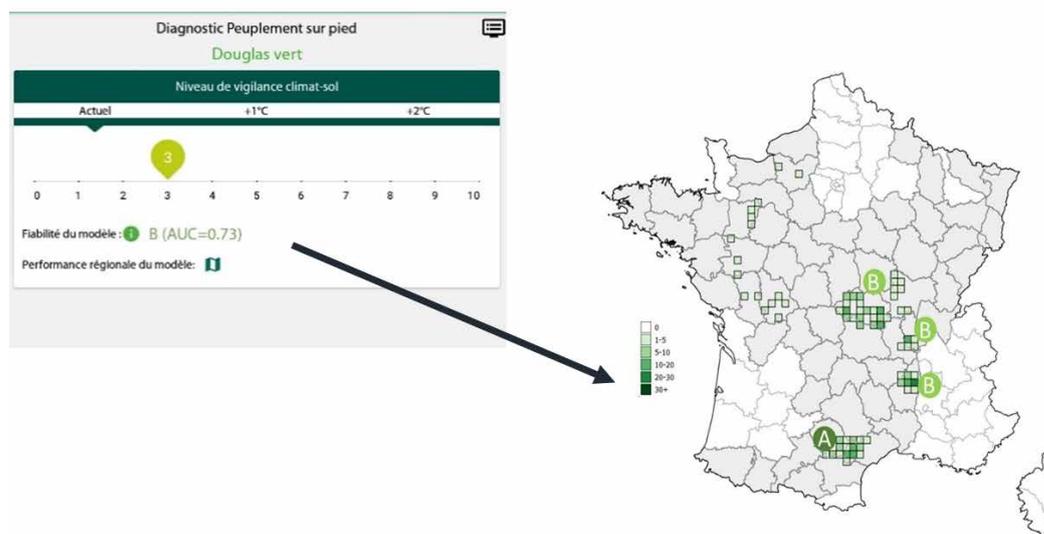
Ces seuils correspondent à des niveaux de risque (Tableau 1) liés directement aux recommandations sylvicoles.

En cas d'alerte sur le niveau de vigilance, des vérifications sont à effectuer (respect des prescriptions d'utilisation de l'outil). Les paramètres, qui influencent le plus le dépérissement de l'essence étudiée, sont à valider. Pour l'IBS, il faut se référer aux facteurs intervenant dans l'équation. Il faut identifier si le point relevé n'est pas en limite d'un seuil pour l'INB.

L'ordre de classement de l'outil facilite la lecture, mais ne correspond pas à l'adéquation de l'essence avec la station. Ce sont les seuils de vigilance modérée, élevée et maximale qui servent à définir si les conditions sont favorables, tolérées ou exclues pour les essences (Tableau 1 et 2).

### Figure 9 – Résultat d'un diagnostic peuplement sur pied - Visualisation des zones d'études de l'essence

Avec l'onglet dédié de l'application, vous pouvez identifier si le point de diagnostic se situe ou pas dans une région où les modèles BioClimSol ont été construits.



Exemple de cartographie pour l'indice de fiabilité des modèles régionaux pour le douglas avec la localisation des placettes de mesures BioClimSol. Disponible uniquement dans le module peuplement sur pied et pour les essences bénéficiant d'un IBS. Les carrés de couleurs plus ou moins vert foncé correspondent aux points de diagnostic réalisés par quadra qui ont permis la construction du modèle IBS. La zone grisée correspond aux départements où l'essence est présente d'après les données forestières de l'IGN.

## Ce qu'indique et n'indique pas BioClimSol

BioClimSol est un outil qui définit des niveaux de vigilance pour le gestionnaire, à l'instar des vigilances météorologiques envoyées quotidiennement par Météo-France. Il se distingue d'un catalogue de stations qui renseigne sur les essences compatibles avec les stations déterminées, selon les critères connus définissant les types de station.

BioClimSol définit trois grands seuils de vigilance (Tableau 1 et 2) d'après les valeurs de l'IBS ou l'INB :

- 😊 Vigilance modérée
- 😬 Vigilance élevée
- 😱 Vigilance maximale

La probabilité d'observer du dépérissement définit le niveau de vigilance. L'inverse n'est pas vrai, la vigilance ne permet pas de prédire avec certitude qu'un peuplement va dépérir ou pas.

BioClimSol doit être utilisé comme un outil de vigilance : il attire l'attention sur les risques. Il ne va pas dire avec 100 % de chance que tel peuplement va dépérir, et que telle plantation ne va pas être un échec.

Continuant notre métaphore, Météo-France annonce une vigilance météorologique élevée de risque de neige. En tant qu'utilisateur, vous savez qu'il y a un risque et vous allez prendre des mesures en conséquence. Ce jour-là, vous ne vous déplacerez pas ou vous vous déplacerez en équipant votre voiture de pneus neige pour minimiser ce risque, ou encore vous êtes certain, par votre connaissance du terrain, qu'il ne neigera pas et vous irez sur le terrain avec votre moyen de déplacement habituel.

BioClimSol est fondé sur le même principe et doit vous amener aux mêmes types de réflexions. D'ailleurs, les recommandations sylvicoles<sup>14</sup> sont proposées dans ce sens.

L'état sanitaire du peuplement dicte en premier la recommandation. Ce n'est pas le niveau de vigilance ! Ce n'est pas parce que votre peuplement est sain, mais situé dans une zone de vigilance maximale, qu'il faudra pratiquer une coupe rase... De la même façon, ce n'est pas parce que votre peuplement est sain dans une zone de vigilance maximale, qu'il présente des aptitudes génétiques et doit absolument être conservé car il est génétiquement mieux adapté.

En réalité, l'outil ne permet pas encore d'aller si finement dans ce type d'analyse, car le dépérissement est complexe à prédire, tant les phénomènes qui interagissent et qui peuvent le déclencher sont nombreux.

Un peuplement peut avoir 90 % de probabilité de dépérir d'après le bilan météorologique et stationnel, et pourtant il est sain ! Cela peut être dû au fait qu'il n'est pas en présence des agents pathogènes qui déclencheraient un dépérissement ou encore qu'un élément du diagnostic vous a échappé et surtout que le modèle sur le secteur est peu précis.

La question de conserver ou non cette essence sera par contre « au centre » du diagnostic lors du renouvellement du peuplement. Enfin, l'outil a ses limites, car il est basé sur des modèles qui servent d'aide à la décision, mais qui ne doivent pas dicter les décisions du gestionnaire compétent. L'outil a pour objectif d'attirer la vigilance sur les risques dans un avenir plein d'incertitudes dans un contexte de dérèglements climatiques.

<sup>14</sup> Se référer à l'article sur les recommandations de gestion sylvicole p. 36 de ce dossier.

Figure 10 – Visualisation d'un résultat du module solution de boisement dans l'application : en haut en pastille de couleur les IBS et en bas, dans les encadrés de couleur, le rendu des INB.



## La théorie du boxeur : plus que jamais d'actualité

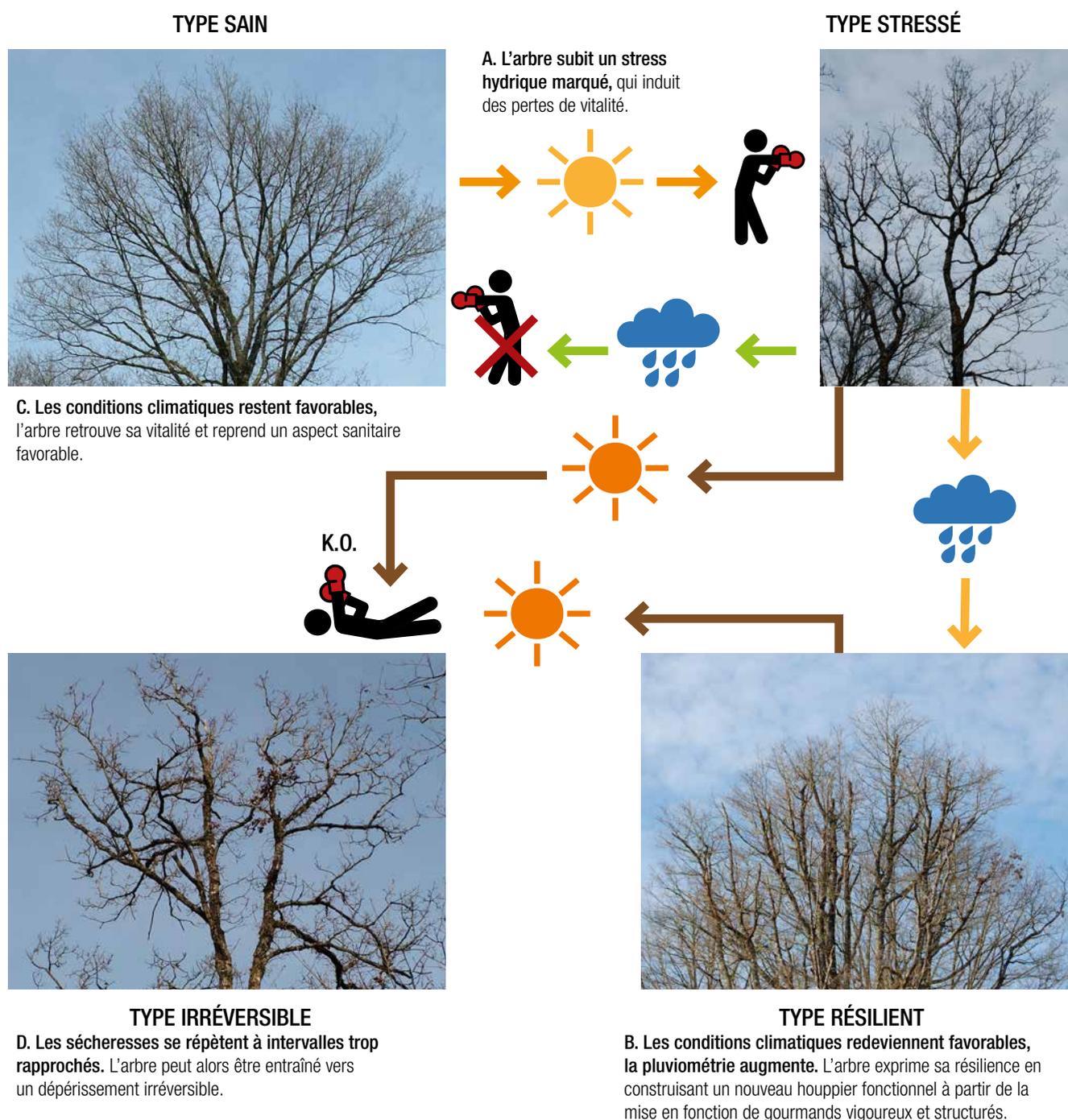
La marque de fabrique de BioClimSol est la théorie du boxeur. Cette théorie était largement développée dans *Forêt-entreprise* n°218. Elle est d'ailleurs de plus en plus étayée par les recherches scientifiques faisant le lien entre dépérissement et climat. Elle est directement intégrée dans l'outil via les IBS qui font inter-

venir la récurrence des années à fort déficit hydrique climatique. Cette récurrence correspond, pour rappel, au nombre de coups de poing reçus par le boxeur, à savoir le nombre d'à-coups rencontrés par l'essence diagnostiquée.

Voir Encadré En savoir+ p. 33 pour plus d'infos.

**Figure 11 – La théorie du boxeur et la résilience des chênes**

*Les niveaux de résilience des chênes sont déterminés à partir de la clé de détermination ARCHI.*



Photos : Christophe Drenou © CNPF

Tableau 4 – Points forts et points d'améliorations de BioClimSol

Points forts	Limites/difficultés
Modèles de dépérissement Ils renseignent le forestier sur la notion de risque. C'est une innovation et la particularité de BioClimSol = des modèles de risque d'observer des dépérissements.	Modèles complexes prenant en compte de nombreux facteurs. Ils « collent » spécifiquement au jeu de données de construction du modèle.
Modèles mis à jour régulièrement à l'aide des diagnostics réalisés et de nouvelles études.	Modèles chronophages nécessitant de nombreuses données et mise à jour des données rentrant dans les modèles : données climatiques, MNT, sol...
Modèle empirique considéré comme robuste, car basé sur de nombreuses mesures de terrain.	Ce n'est pas un modèle physiologique, qui simulerait le risque de dépérissement/mortalité en fonction du bilan carbone et du statut hydrique de l'arbre, par exemple. L'outil ne détectera pas un paramètre environnemental, qui apparaît et pourrait déclencher le dépérissement. Le modèle est construit à une date précise, sur des placettes données dans un espace géographique défini.
Prise en compte du climat futur.	Remise à niveau des modèles avec les données climatiques actualisées et les données du GIEC qui évoluent très régulièrement. Les modèles du GIEC ont eu aussi leur propre limite de prédiction et de spatialisation, notamment des événements extrêmes.
Prise en compte des facteurs biotiques, de sylviculture, de sol et de topographie.  L'application guide l'utilisateur à travers une démarche de diagnostic complet.	Des progrès sont à réaliser dans les études du sol, notamment sur l'estimation du réservoir utile en eau. Des études sont en cours. Pour l'INB, les niveaux sont donnés par seuil et le sont sous forme d'équations pondérées comme pour l'IBS <sup>15</sup> .  Les paramètres relevés nécessitent de la technicité.
Prise en compte de nombreux facteurs climatiques.  L'application est un outil d'aide à la décision : le questionnaire forestier intègre à sa réflexion le niveau de risque renseigné par l'application, mais reste le décideur final.	BioClimSol ne prédira jamais les événements climatiques extrêmes par définition imprévisibles et qui peuvent se présenter plus fréquemment avec le changement du climat. La notion de risque est difficile à intégrer et certains utilisateurs recherchent des outils simples « binaires » acceptant ou refusant une ou des essences (outils qu'il est impossible – et non souhaitable – de créer).

<sup>15</sup> NDLR : C'est une limite que nous allons faire évoluer dans la prochaine version de l'application, probablement en 2024.

Enfin, et surtout, BioClimSol est un modèle **collaboratif** qui, grâce à la connaissance et aux données de terrain de chaque utilisateur, va sans cesse s'améliorer.

Un grand merci d'avance pour votre collaboration ! ■

#### À retenir

L'outil sylvoclimatique BioClimSol est conçu et construit pour indiquer le risque de dépérissement d'une essence à tel endroit dans le contexte actuel du dérèglement climatique. Il combine les influences des agents biotiques, les données climatiques, les facteurs compensateurs ou aggravants du sol, la topographie, de la disponibilité en eau et de la sylviculture, avec le climat actuel et pour différents scénarios futurs +1 et + x°C. Les différentes étapes de collecte de données du terrain aboutissent au diagnostic BioClimSol. L'interprétation des résultats sollicite à la fois l'expertise et l'expérience, ainsi que le discernement du praticien.

**Mots-clés** : changement climatique, vigilance, risque, diagnostic, dépérissement, gestion, BioClimSol, recommandations sylvicoles.

# VRAI ou FAUX ?

**1. Mon peuplement est en vigilance 9/10. Il va dépérir. Je dois le renouveler immédiatement même s'il n'est pas arrivé au terme d'exploitabilité.**

**FAUX.** Le risque est effectivement plus élevé selon l'outil. Mais, si le peuplement rencontré est non dépérissant et en plus non mature, il convient de poursuivre une sylviculture adaptée, tout en surveillant de manière plus suivie son état sanitaire. La question de conserver l'essence se posera au moment de la mise en régénération. Pensez toujours à vous référer aux recommandations sylvicoles !

**2. La consultation des données climatiques, renvoyées au point de diagnostic, permet déjà de faire un premier diagnostic.**

**VRAI.** Avec l'habitude, en connaissant les seuils de température et de P-ETP, on peut déjà effectuer un premier diagnostic climatique.

**3. Point relevé dans les Landes sur sol acide, le douglas apparaît en 3<sup>e</sup> position des IBS délivrés par le module boisement avec un indice à 1981-2010 +1 °C de 4/10. Le douglas est conseillé en boisement...**

**FAUX.** À 4/10, je suis en vigilance élevée. Selon la clé du tableau des recommandations sylvicoles, il convient de regarder comment évolue la vigilance à + 2 °C.

S'il est en vigilance élevée, préconiser l'itinéraire B (essence tolérée en mélange) ; S'il est en vigilance maximale, orientation vers l'itinéraire C (essence déconseillée) ; Si la vigilance diminue, orientation vers l'itinéraire D.

Essence avec IBS				Essence avec INB			
Horizon climatique 2015-2045 + 1°C	Horizon climatique 2045- 2075 + 2°C			Horizon climatique 2015 - 2045 + 1°C	Horizon climatique 2045- 2075 + 2°C		
IBS	< 4	4 à 6	≥ 7	INB	INB tous vert ou 1 orange max	INB ≥ 2 orange pas de rouge	INB ≥ 2 orange ou 1 rouge
< 4	A	B	C	INB tous vert ou 1 orange max	A	B	C
4 à 6	D	B	C	INB ≥ 2 orange pas de rouge	D	B	C
≥ 7	D	D	C	INB ≥ 2 orange ou 1 rouge	D	D	C

La lettre renvoie au « code » d'itinéraire : ■ vigilance modérée, ■ vigilance élevée, ■ vigilance maximale

**4. BioClimSol est un catalogue des stations.**

**FAUX.** BioClimSol se base sur des critères de station (climat, sol, topographie...) pour définir une vigilance qui doit alerter le gestionnaire. BioClimSol ne décline pas des unités stationnelles, comme le fait un catalogue de station.

## VRAI ou FAUX ? (suite)

**5. Mon peuplement présente 21 % de tiges dépérissantes, il est dépérissant, il n'est plus viable et je dois le régénérer rapidement.**

**FAUX.** L'indicateur de construction des indices de vigilance est basé sur la présence et l'absence de dépérissements. Le seuil pour déclarer cette présence d'arbres dépérissants est effectivement au moins 20 % de tiges avec plus de 50 % de perte foliaire ou ramification. Ici le peuplement a dépassé ce seuil de 20 % puisqu'il est de 21 %. Dans l'exemple, il y a donc 79 % de tiges avec moins de 50 % de perte foliaire ou ramification. Il convient d'analyser la capacité de résilience du peuplement et son aptitude à réagir suite au stress rencontré. À ce niveau, un protocole comme ARCHI<sup>16</sup> intervient pour affiner le diagnostic. Si le nombre de tiges résilientes et de qualité sont suffisantes, il faut pratiquer une éclaircie douce à leur profit. La présence de dépérissement est utile pour attirer la vigilance du gestionnaire, mais la vigilance ne dit pas que tel ou tel peuplement est condamné ! Il est important de se référer à nouveau aux recommandations sylvicoles !

**6. L'INB est moins précis que l'équation calculée avec l'IBS.**

**VRAI.** L'Indice de niche pédoclimatique (INB) fonctionne comme une clé de décision, qui se base sur des seuils et non sur une équation mathématique pondérée basée sur de nombreuses mesures sur le terrain, de l'état sanitaire des arbres.

**7. Dans l'application, l'ordre d'affichage des essences correspond à l'ordre de choix des essences.**

**FAUX.** L'ordre d'affichage est présenté pour faciliter la décision du gestionnaire. Les essences avec les meilleurs IBS ou INB. Attention ! C'est le seuil de vigilance modérée, élevée ou maximale à +1 et +2°C qui dicte la décision ! [Voir Vrai ou faux n°3].

<sup>16</sup> Plus d'infos sur la méthode ARCHI : <https://www.cnpf.fr/nos-actions-nos-outils/outils-et-techniques/archi>

## Bibliographie

BioClimSol s'appuie sur une ressource bibliographique riche et variée, disponible à la fin du document *Forêt-entreprise*, n°218, p. 4-65. (voir En savoir+).

Des liens sont disponibles directement dans le document pour les références indispensables à la compréhension du texte.

En savoir<sup>+</sup>

Plus d'informations sur les pages BioClimSol :

[www.cnpf.fr/bioclimsol](http://www.cnpf.fr/bioclimsol)

BioClimSol : un outil d'aide à la décision face au changement climatique. *Forêt-entreprise*, n°218, p. 4-65.

[https://www.researchgate.net/publication/331928296\\_](https://www.researchgate.net/publication/331928296_Bioclimsol_un_outil_d'aide_a_la_decision_face_au_changement_climatique)

[Bioclimsol\\_un\\_outil\\_d'aide\\_a\\_la\\_decision\\_face\\_au\\_changement\\_climatique](https://www.researchgate.net/publication/331928296_Bioclimsol_un_outil_d'aide_a_la_decision_face_au_changement_climatique)

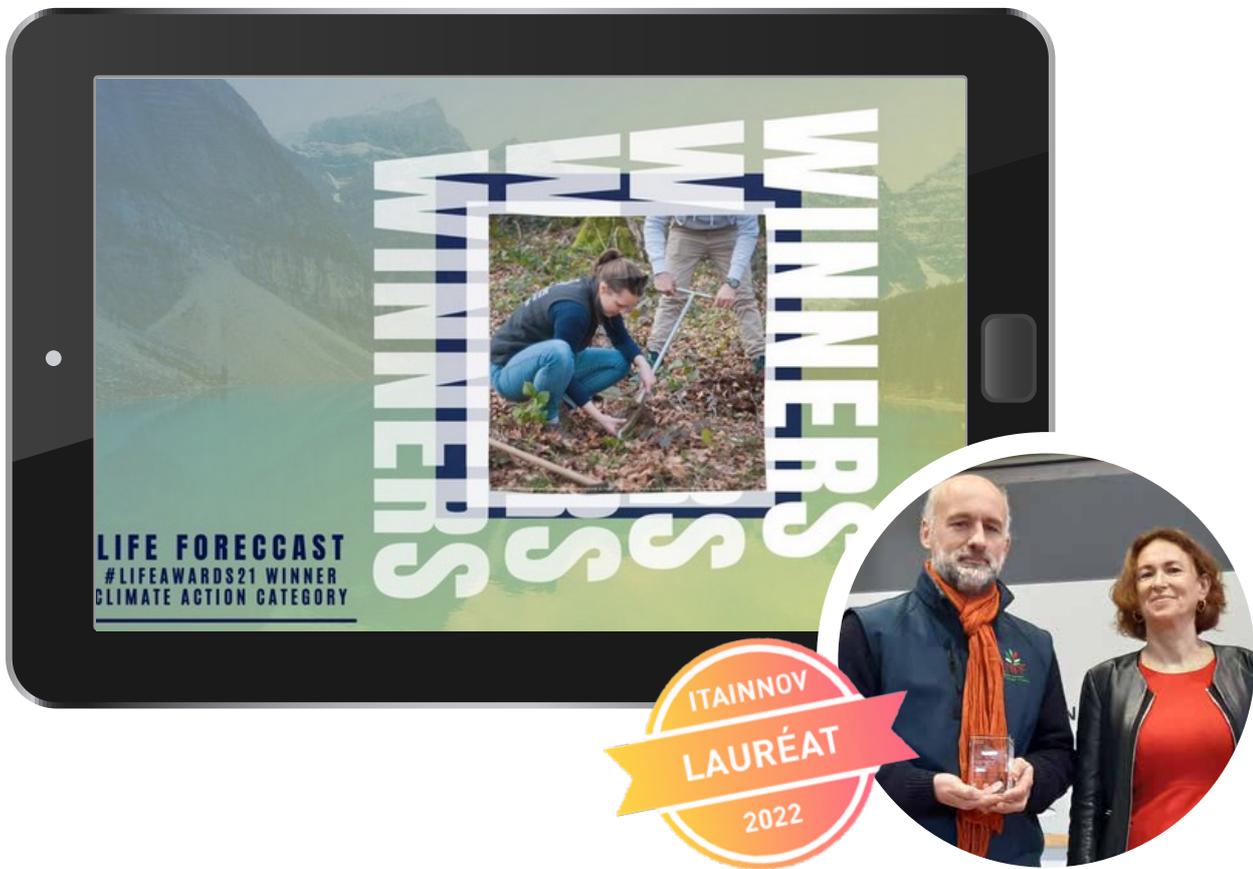
Lemaire J., Guyon A., Weben C., Mathieu P., Formery T., 2014.

L'arbre de la coopération BioClimSol, le travail d'une équipe,  
le soutien de nombreux partenaires, un travail collaboratif.



**BIOCLIMSOL**

L'application FORECCAsT by BioClimSol développée dans le cadre du projet LIFE FORECCAsT est lauréate des LIFE awards 2021 dans la catégorie changement climatique et a reçu le prix du public du concours ITAINNOV 2022



# Recommandations de gestion pour les peuplements sur pied

## Niveau de vigilance maximale ou élevée

Vigilance  $\geq 4/10$ , soit plus de 35 % (Indice BioClimSol IBS à + 1 °C Horizon 2015-45)



État sanitaire du peuplement*	Peuplement proche du terme d'exploitabilité (défini par les Schémas régionaux de gestion sylvicole)	Recommandations de gestion** des peuplements sur pied
Très stressé ou dépérissant	Oui	<p><b>Peuplement mature présentant des signes de dépérissement en zone de vigilance maximale ou élevée</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Programmer dans un délai assez court la récolte du peuplement.</li> <li>- Ne pas renouveler en plein l'essence principale, favoriser les peuplements mélangés.</li> <li>- Reboiser et/ou favoriser la régénération naturelle avec une ou plusieurs essences adaptées proposées par BioClimSol.</li> </ul>
	Non	<p><b>Peuplement non mature ou irrégulier présentant des signes de dépérissement en zone de vigilance maximale ou élevée</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi de l'état sanitaire une fois par an minimum.</li> <li>- Évaluer le niveau de résilience du peuplement (ARCHI) après un délai lui permettant de s'exprimer (en moyenne 2 à 5 ans) après une coupe ou un stress :</li> </ul> <p><b>A) Si la résilience est suffisante</b> (voir Typologie p.39)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Favoriser les tiges résilientes ou saines de qualité lors des éclaircies, ainsi que le mélange des essences (éclaircies, enrichissement).</li> <li>- Éclaircies douces et fréquentes pour raccourcir le terme d'exploitabilité et favoriser la résilience.</li> </ul> <p><b>B) Si la résilience est insuffisante</b> (voir Typologie p.39)</p> <p>Selon le contexte local et l'essence principale, raccourcir le terme d'exploitabilité :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- soit en pratiquant des éclaircies pour abaisser la concurrence et tenter de favoriser la résilience,</li> <li>- soit ne pas éclaircir et récolter plus ou moins précocement selon la réaction du peuplement,</li> <li>- enrichir dans le cadre de peuplements gérés en irrégulier et maintenir les arbres les moins sensibles.</li> </ul>
Peu stressé ou sain	Oui	<p><b>Peuplement mature présentant peu ou pas de signes de dépérissement en zone de vigilance maximale ou élevée</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi annuel de l'état sanitaire.</li> <li>- Favoriser le mélange et les tiges résilientes ou saines de qualité lors des derniers passages en éclaircie.</li> <li>- Ne pas renouveler uniquement l'essence principale, favoriser les peuplements mélangés.</li> <li>- Reboiser, enrichir et/ou favoriser la régénération naturelle avec une ou plusieurs essences adaptées proposées par BioClimSol.</li> </ul>
	Non	<p><b>Peuplement non mature ou irrégulier présentant peu ou pas de signes de dépérissement en zone de vigilance maximale ou élevée</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi annuel de l'état sanitaire.</li> <li>- Éclaircies douces et fréquentes pour raccourcir le terme d'exploitabilité.</li> <li>- Favoriser le mélange et les tiges résilientes ou saines lors des éclaircies, enrichissement possible en irrégulier.</li> </ul>

\*Un peuplement est jugé dépérissant dans BioClimSol si au moins 20 % des tiges dominantes ou co-dominantes présentent plus de 50 % de perte foliaire ou de ramification.  
NB : Ces recommandations publiées pour utiliser l'application FORECCAsT by BioClimSol seront validées par le CNPF pour être en accord avec les SRGS.

\*\*Ces recommandations sylvicoles sont issues des études nationales BioClimSol du CNPF : <https://www.cnpf.fr/bioclimsol>

Il s'agit de grandes lignes de recommandations qui doivent être adaptées par le gestionnaire en fonction des conditions techniques rencontrées.  
Ces recommandations n'engagent pas la responsabilité du CNPF.

## Niveau de vigilance modérée

Vigilance < 4/10, soit moins de 35 % (Indice BioClimSol IBS à + 1 °C Horizon 2015-45)



État sanitaire du peuplement*	Peuplement proche du terme d'exploitabilité (défini par les SRGS)	Recommandations de gestion** des peuplements sur pied
Peu stressé ou sain	Oui	<p><b>Peuplement sain et mature en zone de vigilance modérée</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi annuel de l'état sanitaire.</li> <li>- Programmer le renouvellement en fonction des objectifs assignés à la parcelle tout en prenant en compte de l'augmentation des risques en contexte d'évolution climatique (diagnostic à + 2 °C <i>a minima</i>).</li> <li>- Favoriser le mélange et les tiges saines ou résilientes de qualité lors des derniers passages en éclaircie.</li> <li>- L'essence en place peut être utilisée en renouvellement, avec diversification des essences conseillée (plantation d'enrichissement ou essences adaptées dans la régénération naturelle).</li> </ul>
	Non	<p><b>Peuplement sain, non mature ou irrégulier en zone de vigilance modérée</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi annuel de l'état sanitaire.</li> <li>- Favoriser la croissance et la résilience du peuplement en pratiquant des éclaircies fréquentes pas trop brutales, enrichissement possible en irrégulier si besoin de diversification.</li> </ul>
Très stressé ou dépérissant	Sans objet	<p><b>Peuplement mature ou non mature, présentant des signes de dépérissement en zone de vigilance modérée</b></p> <p><u>Cas normalement moins fréquent et plus difficile à analyser</u> : dans ce contexte pédoclimatique, selon le modèle, l'essence serait probablement en place, mais il convient de le confirmer par un diagnostic plus détaillé. Différentes raisons peuvent expliquer le résultat du diagnostic.</p> <p><b>A) Il est conseillé d'effectuer à nouveau les étapes du diagnostic</b> pour repérer si une erreur ne s'est pas manifestée lors du relevé de terrain. Il est possible que le modèle s'avère peu performant sur votre parcelle (voir carte de localisation des relevés dans l'application). Les variables non intégrées dans le modèle de l'essence sont à analyser. L'outil ne doit jamais s'imposer à l'opérateur qui, par ses connaissances fines du terrain localement, est mieux à même de définir les limites stationnelles de l'essence étudiée. =&gt; Un reclassement éventuel suivant l'état sanitaire à prévoir.</p> <p><b>B) Si le diagnostic est confirmé, il convient d'analyser les causes du dépérissement :</b> Il peut être dû à un pathogène ou un événement climatique exceptionnel. Adressez-vous au correspondant observateur local du DSF. Il vous aidera à prendre les mesures nécessaires pour limiter l'importance du dépérissement si possible et adopter les bonnes pratiques sylvicoles en cette circonstance.</p>

\*Un peuplement est jugé dépérissant dans BioClimSol si au moins 20 % des tiges dominantes ou co-dominantes présentent plus de 50 % de perte foliaire ou de ramification.

NB : Ces recommandations publiées pour utiliser l'application FORECCAsT by BioClimSol seront validées par le CNPF pour être en accord avec les SRGS.

\*\*Ces recommandations sylvicoles sont issues des études nationales BioClimSol du CNPF : <https://www.cnpf.fr/bioclimsol>

Il s'agit de grandes lignes de recommandations qui doivent être adaptées par le gestionnaire en fonction des conditions techniques rencontrées. Ces recommandations n'engagent pas la responsabilité du CNPF.

## Recommandations de gestion pour les boisements

Essence avec Indice BioClimSol (IBS)				Essence avec Indice de niche BioClimSol (INB)			
Horizon climatique 2015 - 2045 +1 °C	Horizon climatique 2045 - 2075 + 2 °C			Horizon climatique 2015 - 2045 +1 °C	Horizon climatique 2045 - 2075 + 2 °C		
IBS	< 4	4 à 6	≥ 7	INB	INB tous vert ou 1 orange maxi	INB > 2 orange pas de rouge	INB > 2 orange ou > 1 rouge
< 4	A	B	C	NB tous vert ou 1 orange maxi	A	B	C
4 à 6	D	B	C	INB > 2 orange pas de rouge	D	B	C
≥ 7	D	D	C	INB > 2 orange ou > 1 rouge	D	D	C

La lettre renvoie au « code » d'itinéraire :

■ vigilance modérée, ■ vigilance élevée, ■ vigilance maximale

**Itinéraire A** : Essence potentiellement utilisable en reboisement si les conditions de renouvellement décrites sont validées par le gestionnaire grâce à sa connaissance fine de la parcelle diagnostiquée. La vigilance BioClimSol est classée modérée à + 1 °C et 2 °C, le risque d'échec est plus faible mais non nul.

**Itinéraire B** : Essence tolérée en reboisement et à utiliser principalement en mélange si les conditions de régénération décrites sont validées par le gestionnaire grâce à sa connaissance fine de la parcelle diagnostiquée. La vigilance BioClimSol est classée élevée à l'horizon + 2 °C, le risque d'échec est plus élevé. Conserver ou introduire d'autres essences pour diversifier.

**Itinéraire C** : Essence déconseillée en reboisement si les conditions de renouvellement décrites sont validées par le gestionnaire grâce à sa connaissance fine de la parcelle diagnostiquée. La vigilance BioClimSol est classée maximale à l'horizon + 1 °C et/ou à + 2 °C, le risque d'échec est élevé. Introduire d'autres essences pour diversifier.

**Itinéraire D** : Essence tolérée en reboisement si les conditions de renouvellement décrites sont validées par le gestionnaire grâce à sa connaissance fine de la parcelle diagnostiquée. La vigilance BioClimSol évolue favorablement dans le temps avec le réchauffement. Cette situation est rencontrée pour les essences sensibles au gel dont l'expansion sera favorisée par le changement du climat (essence plus méditerranéenne). Les à-coups de gel et ses dégâts sont toujours importants et difficiles à prédire, la vigilance reste de mise. C'est pour cela que nous indiquons d'employer l'essence de préférence en mélange et/ou bien à titre expérimental. Conserver ou introduire d'autres essences pour diversifier. ■

\*Ces recommandations sylvicoles sont issues des études nationales BioClimSol du CNPF : <https://www.cnpf.fr/bioclimsol>

Il s'agit de grandes lignes de recommandations qui doivent être adaptées par le gestionnaire en fonction des conditions techniques rencontrées.

Les essences sont potentiellement utilisables en reboisement si toutefois les conditions de reboisement sont optimales (sol, climat, provenance, préparation du terrain). Ces recommandations n'engagent pas la responsabilité du CNPF.

## Typologie du diagnostic de la résilience des peuplements



### Feuillus

Présence de minimum  
60 tiges saines/résilientes  
et de qualité par hectare

Présence de minimum  
60 tiges stressées/saines/  
résilientes et de qualité  
par hectare

### Résineux

Présence de minimum  
100 tiges saines/résilientes  
et de qualité par hectare

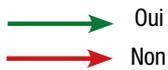
Présence de minimum  
100 tiges stressées/saines/  
résilientes et de qualité  
par hectare

Peuplement sain  
ou résilient améliorabile

Peuplement stressé  
à l'avenir indéterminé

Peuplement irréversible  
et/ou de qualité médiocre,  
non améliorabile

Légende



# Complémentarité de l'outil BioClimSol avec les guides de stations Exemple du hêtre en Hauts-de-France

Par Noémi Havet, CNPF Hauts-de-France – Normandie

*Les préconisations des guides de station de la région Hauts-de-France ne prennent pas toutes en compte le changement climatique. L'indice BioClimSol peut alors être une aide complémentaire. Une étude réalisée en 2019 a comparé les résultats obtenus avec ces deux outils sur le hêtre dans une région où une étude sur le dépérissement de celle-ci a été réalisée avec l'outil BioClimSol.*

Le CRPF a développé des guides de stations sur l'ensemble du territoire entre les années 2000 et 2010, grâce à un soutien financier et politique de la Région. Véritables supports de vulgarisation et de développement forestier pour réaliser des cartographies et connaître la variabilité des productions forestières, ces guides de choix des essences sont un référencement des différentes stations rencontrées sur un territoire donné.

## Préconisations des guides de station

Des conseils sont donnés sur les essences à favoriser ou à proscrire par unités stationnelles (regroupement des types de stations proches). Des préconisations sylvicoles sont également données, ainsi que des liens avec les habitats forestiers ou une flore protégée. Un niveau de fertilité (productivité) est associé à chaque unité stationnelle ce qui permet d'isoler celles qui sont les moins fertiles. Les conseils de choix des essences par unité stationnelle intègrent donc les éléments suivants :

- ▀ productivité de l'essence,
- ▀ réussite de plantation de l'essence,
- ▀ qualité du bois,

- ▀ stabilité de l'essence face au vent,
- ▀ risque de dépérissement au stade adulte.

La productivité et le risque de dépérissement au stade adulte, la réussite des plantations, sont dépendants du climat et de son évolution. C'est une des limites des guides qui, pour les plus anciens, n'ont pas intégré le changement climatique car ils ont été conçus à une période où le climat était considéré comme stable.

## L'intégration du changement climatique

Les équations de l'indice BioClimSol (IBS) sont calibrées au niveau national à partir de plusieurs territoires d'études pour déterminer par essence le risque de dépérissement qui se définit ainsi : avoir au moins 20 % de tiges avec plus de 50 % de perte foliaire. La région Hauts-de-France a été couverte par une étude sur le dépérissement du hêtre<sup>1</sup>.

Les données d'entrée de ces modèles sont des variables climatiques, pédologiques, mais aussi biotiques pour certaines essences. Parmi les variables climatiques, on retrouve les cartes de vigilance climatique par essence, base de l'outil BioClimSol. Ces cartes correspondent au pourcentage d'années à risque (chute de croissance, dépérissement...) par

<sup>1</sup> Perrez M., Havet N., Lemaire J., 2015. Impact du climat et de son évolution sur l'état sanitaire des hêtraies en Nord-Pas-de-Calais et Picardie. Construction d'une carte de vigilance climatique BioClimSol. <https://bit.ly/3BVlgz0>

essence (10 % correspond à une année sur dix avec un risque de dépérissement pour l'essence, 50 % correspond à cinq années...). L'objectif de BioClimSol, avec ces IBS, est de connaître le risque de dépérissement pour les essences de production, afin de l'intégrer lors du renouvellement ou l'amélioration des peuplements mélangés en favorisant les essences les moins à risques ou en adaptant ses pratiques sylvicoles.

BioClimSol n'est pas un outil pour référencer les différents types de station sur un territoire donné et établir une carte des stations forestières, au contraire des guides. Il définit par son indice IBS le risque qu'un peuplement soit dépérissant ou au regard des conditions de climat de sol de topographie, de la sylviculture et des pathogènes rencontrés.

### La vigilance climatique pour le hêtre en Hauts-de-France

Le CRPF Hauts-de-France a travaillé sur la carte de vigilance climatique du hêtre. Il était donc intéressant de comparer les résultats actuels et les prévisions de l'indice BioClimSol avec les préconisations des différents guides de stations forestières.

Pour cela, la base de données des relevés de stations forestières construite lors du projet *PreStation* (outil de pré-cartographie prédictive des stations<sup>2</sup>) a été utilisée.

Ces relevés stationnels avec une localisation précise donnent les informations suivantes, nécessaires à l'alimentation des indices BioClimSol et ce, pour différentes hypothèses de réchauffement : le pH de l'horizon A mesuré ou estimé grâce à la bio-indication (pondération des espèces floristiques indicatrices présentes), la réserve en eau « pioche / tarière » (corrigée ensuite pour avoir une réserve utile sur une profondeur de 150 cm), l'observation de l'hydromorphie, la mesure de la pente, la position topographique... Pour chacun des points utilisés, les données climatiques et topographiques issues du modèle numérique de terrain ont été également extraites pour compléter les indices. Les différents relevés de la base ont également été associés à un guide de station.

L'équation BioClimSol du hêtre repose sur différents facteurs, comme :

- ➡ le seuil de présence d'hydromorphie dans les 50 premiers centimètres de sol ;
- ➡ l'indice d'humidité calculé sur base du MNT<sup>3</sup> 25 m IGN ;
- ➡ le pourcentage d'années à fort déficit hydrique climatique pour le hêtre ;
- ➡ le déficit hydrique climatique sur la période

de juin à août ;

- ➡ et la réserve utile en eau dans les 150 premiers centimètres de sol.

Les IBS sont calculés pour la période 1981-2010, pour l'hypothèse d'un réchauffement de + 1° Celsius par rapport à la période référence de 1981-2010 et pour l'hypothèse d'un réchauffement de + 2° Celsius par rapport à la période référence de 1981-2010.

Le résultat de l'équation est ensuite utilisé pour arriver à une note de vigilance comprise entre 0 et 10.

Un niveau de vigilance est associé à cet indice :

- ➡ Si indice de vigilance < 3,9 : **Vigilance modérée**
- ➡ Si indice de vigilance < 7 : **Vigilance élevée**
- ➡ Si indice de vigilance ≥ 7 : **Vigilance maximale**

### Comparaison stations et valeurs données par l'IBS de BioClimSol

Pour chaque relevé de stations réalisé pour construire le guide (Carte 1), les IBS ont été calculés (Tableau 2) pour différentes hypothèses de réchauffement.

Par unité stationnelle, la moyenne du niveau de vigilance par essence et pour différentes hypothèses de réchauffement a donc été établie, tout comme sa variabilité. Des cartes illustrant ces niveaux de vigilance permettent d'identifier des secteurs où l'essence ne sera plus à sa place climatiquement ou n'est pas à sa place en lien avec le sol.

Les recommandations de l'essence par unité stationnelle (US) sont ainsi comparées à la note moyenne IBS pour différentes hypothèses de réchauffement. Cela permet de comparer les résultats du guide de station avec l'IBS, de préciser les limites et l'apport de chaque outil. Pour les régions naturelles des collines d'Artois, Ponthieu, Cambrésis, Santerre et Saint-Quentinois, l'indice de vigilance BioClimSol permet de préciser le gradient climatique avec la carte de vigilance (Carte 1).

<sup>2</sup> Projet financé par le RMT Aforce : <https://www.reseau-aforce.fr/n/prestation-no/n:3410>

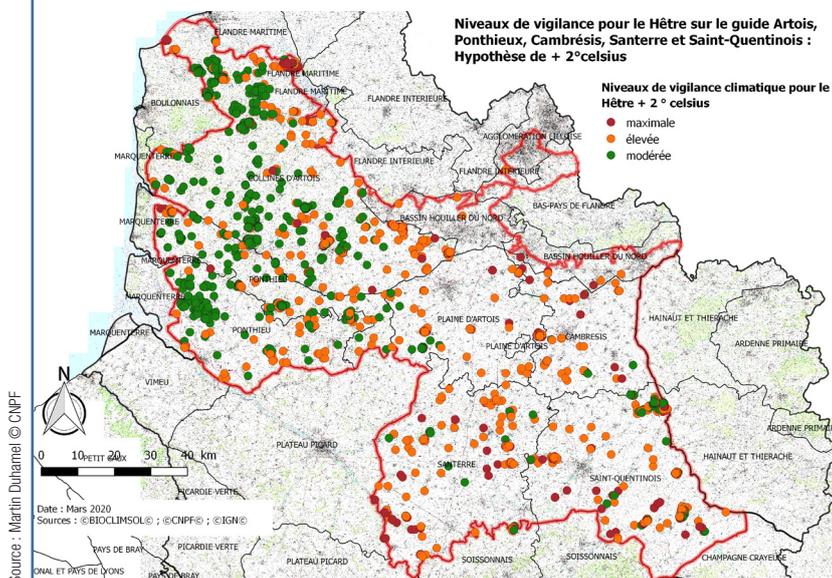
<sup>3</sup> Modèle numérique de terrain

**Tableau 1 – Niveau de vigilance associé à l'indice de vigilance et sa probabilité de risque de dépérissement**

	Niveau de vigilance modéré			Niveau de vigilance élevé			Niveau de vigilance maximal				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Niveau de vigilance IBS</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Probabilité en % d'observer une placette ou une parcelle qualifiée de dépérissante</b>	0	10	15	25	30	45	55	60	70	75	85

## Carte 1 – Carte des niveaux de vigilance pour le guide Artois, Ponthieux

Les points sont les relevés stationnels sur lesquels l'IBS hêtre a été calculé. La couleur est le résultat du niveau de vigilance.



Les stations sur sols limoneux profonds et sains seront ainsi peu à moyennement sensibles (zones climatiques plus contraignantes ou exposition au Sud). Cela correspond aux stations L1, L2 et L3 du catalogue (Tableau 2). Peu de ces stations aujourd'hui favorables au hêtre (en station ou limite de station) seront en vigilance maximale. Dans le même sens, les stations classées moins favorables par le catalogue (Code US A, LH, ALu et M) sont également classées en vigilance élevée voire maximale par l'outil BioClimSol.

À la lecture de ces résultats, on perçoit en général de très bonnes correspondances entre l'IBS et le catalogue de stations sur un territoire où des données BCS ont été, pour rappel, récoltées.

## Bilan et perspectives

Concernant les guides, plusieurs points d'attention sont à retenir comme l'absence de format numérique, l'absence de prise en

**Tableau 2 – Évolution de l'indice de vigilance avec à gauche le calcul des indices moyens**

Pour rappel : de 0 à 3,49 = vigilance modérée ; 3,51 à 6,49 élevée ; 6,5 à 10 maximale et à droite le niveau de variabilité des indices (répartition des points de station par niveau de vigilance).

Unité stationnelle	Hêtre : indice de vigilance moyen pour le guide de l'Artois selon les différentes unités stationnelles			Unité stationnelle	Hêtre : niveau de vigilance par unité stationnelle pour le guide de l'Artois		
	Actuel	+ 1 °c	+ 2 °c		Actuel	+ 1 °c	+ 2 °c
A1	5,01	5,96	7,02	A1			
A2	2,78	3,57	4,61	A2			
ALu1	4,12	5,07	6,14	ALu1			
ALu2	2,68	3,51	4,58	ALu2			
C1	2,63	3,37	4,41	C1			
C2	2,92	3,70	4,72	C2			
C3	3,38	4,27	5,37	C3			
COL	1,93	2,57	3,50	COL			
L1	1,87	2,45	3,33	L1			
L2	2,04	2,69	3,62	L2			
L3	2,18	2,85	3,83	L3			
LH1	4,49	5,37	6,38	LH1			
LH2	3,73	4,68	5,85	LH2			
M1	4,53	5,58	6,72	M1			
M2	5,23	6,27	7,32	M2			
SA1	2,69	3,42	4,40	SA1			
SA2	2,91	3,68	4,70	SA2			
Si1 x	4,70	4,85	5,84	Si1 x			
Si2	2,71	3,39	4,30	Si2			
Si3	2,81	3,46	4,36	Si3			

Couleur des cases = recommandation par US du guide de l'Artois

Essence hors station à ne pas favoriser

Essence à ne conserver qu'en accompagnement

Essence en limite de station avec le changement climatique

Essence en station mais potentiellement sensible au changement climatique

Essence en station

compte du climat dans la recommandation des essences et pour certains d'entre eux une révision complète sera pertinente pour obtenir une clé de détermination plus fonctionnelle. Pour l'indice BioClimSol du hêtre, il manque encore des relevés pour intégrer certains extrêmes stationnels rencontrés sur notre territoire et voir les compensations de climat associées.

L'IBS est un indice sur le risque de dépérissement et non un indicateur sur la réussite de la plantation ou sur la stabilité face au vent ou sur la qualité des bois... Ceci explique parfois des résultats divergents entre les préconisations liées aux IBS seuls et les recommandations des guides pour le hêtre. Par exemple, le hêtre est déconseillé sur certaines stations sensibles au vent, alors que le niveau de vigilance BioClimSol y reste modéré.

BioClimSol est donc bien complémentaire des guides de choix des essences en Hauts-de-France pour préciser :

- ➔ la variabilité climatique au niveau des territoires couverts par les guides (exemple du guide du Plateau Picard, Vimeu, Picardie verte...),
- ➔ et quantifier le risque lié au changement climatique avec différentes hypothèses de réchauffement.

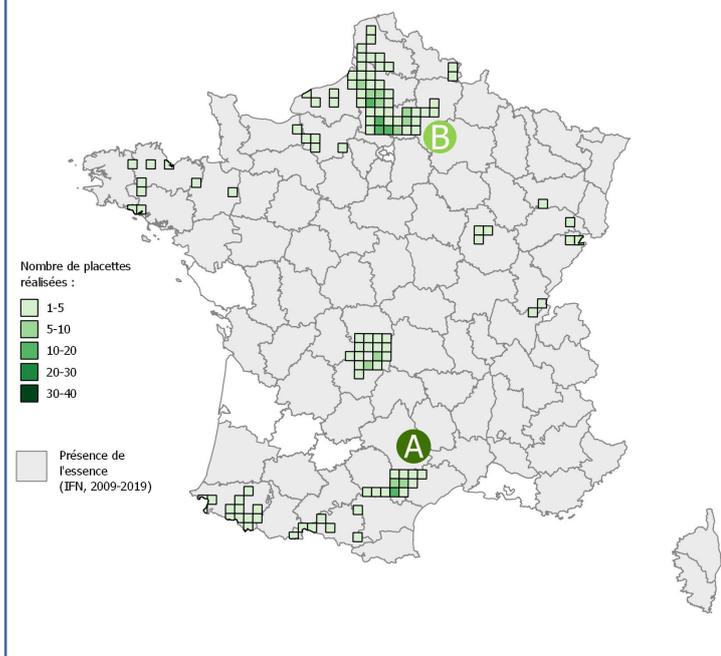
Il est possible, comme ce qui a été montré dans les exemples précédents, de préciser le risque lié au changement climatique par unité stationnelle (US) des guides, en se basant sur l'outil et ses cartes de vigilance climatique, et la prise en compte des effets expositions. Les guides de choix des essences fonctionnels sont à conserver car ils permettent de :

- ➔ synthétiser les atouts et les contraintes des stations forestières en dépassant par essence les seuls aspects dépérissement (productivité, qualité des bois, réussite des plantations, concurrence d'autres essences...),
- ➔ cartographier les différents types de stations rencontrées sur un massif,
- ➔ classer les différents types de stations entre elles par rapport à leurs potentialités.

## Carte 2 – Carte des relevés d'indices BioClimSol du hêtre au plan national, utilisés pour la construction du modèle

La lettre affichée correspond à la fiabilité du modèle sur la région d'étude.

A = excellent à exceptionnel ; B = bon à excellent.



Les US correspondent aux variables sols, qui interviennent dans le calcul des IBS. C'est pourquoi des zonages climatiques par Guide/SER/GRECO<sup>4</sup>, en se basant sur les variables climatiques développés dans BioClimSol, seraient une option intéressante à développer pour la complémentarité des deux outils.

Une autre piste à développer serait d'intégrer dans l'outil numérique de diagnostic BioClimSol, les clés de reconnaissance des unités stationnelles, ainsi que les fiches correspondantes. Il faudrait pour cela partager les mêmes variables diagnostics, notamment floristiques. ■

*Cette étude a été réalisée conjointement avec Martin Duhamel et Jean-Baptiste Reboul, CNPF Auvergne-Rhône-Alpes et Noémi Havet, CNPF Hauts-de-France.*

<sup>4</sup> GRECO : grandes régions écologiques ; SER : sylvoécocorégions.

### À retenir

Le CRPF Hauts-de-France compare l'utilisation de l'outil BioClimSol et les guides de stations pour le hêtre. Les résultats donnent des niveaux de vigilances climatiques pour des régions naturelles, là où le guide ne prend pas en compte le changement climatique et pour d'autres, conforte les recommandations générales. L'amélioration en continu de l'outil sylvoclimatique générera des données nouvelles qui compléteront les catalogues de stations régionaux.

**Mots-clés :** BioClimSol, guides des stations, hêtre, comparaison.

# Avenir du pin sylvestre en région Centre - Val de Loire

Par Jérôme Rosa<sup>1</sup>, Antoine Lelong<sup>1</sup>, Simon Peyrin<sup>2</sup>, Michel Chartier<sup>2</sup>, Alain Colinot<sup>1</sup> et Jean Lemaire<sup>2</sup>

*Quels facteurs expliquent l'augmentation de signalements de dépérissement de pins sylvestre en région Centre - Val de Loire ? Essence réputée rustique, les à-coups climatiques récents, certes trop fréquents, remettent-ils en cause sa présence ? Quelles sont les explications apportées par l'outil BioClimSol ?*

<sup>1</sup> CRPF Centre-Val de Loire,

<sup>2</sup> CNPF-IDF

<sup>3</sup> Institut national de l'information géographique et forestière

De nombreux dépérissements de peuplements de pins sylvestres en Centre-Val de Loire ont remis en question la place et l'avenir de cette essence dans la région. Une étude a évalué l'importance de ces dépérissements, et identifié les facteurs en jeu.

## Une essence « passe-partout » ?

Le pin sylvestre est, en région Centre-Val de Loire, la troisième espèce en surface en tant qu'essence principale (derrière les chênes pédonculé et sessile), avec 60 000 ha de peuplements purs selon l'IGN<sup>3</sup>. La Sologne abrite la majorité de ces peuplements. Le pin est par ailleurs également présent en mélange notamment avec le chêne, dans l'Orléanais sur les stations acides souvent hydromorphes.

Les forestiers de la région Centre-Val de Loire ont apprécié la rusticité de l'essence, que ce soit par rapport aux conditions édaphiques voire aux conditions climatiques. Historiquement, après des déconvenues vécues avec le pin maritime du fait de sa sensibilité aux grands froids, ils ont installé le pin sylvestre sur des sols sableux, acides, parfois engorgés, pour sa capacité à produire du bois de qualité dans ces conditions difficiles. Il apparaissait alors comme l'essence à préconiser sur ces stations difficiles. Il était à l'époque qualifié de résistant à la sécheresse.

Plus récemment, l'essence a même de nouveau connu un regain d'intérêt durant la crise sanitaire du pin laricio dûe à la maladie des bandes rouges.

## Une frugalité et une résistance à la sécheresse mises à rude épreuve

Des dépérissements ont pourtant déjà été constatés sur pin sylvestre dans les années 90, en forêt d'Orléans. Les sécheresses (1989-1991), les sols peu fertiles et hydromorphes, l'âge des arbres, et également des défoliations importantes (par le lophyre du pin en 1984-85) avaient été identifiés comme les principaux facteurs causaux (Piou, 1994).

En 2016, des dépérissements localisés sont signalés en Brenne. Mais, c'est en 2018 que le dépérissement se généralise sur la région ; et on enregistre une hausse très importante des signalements du réseau de correspondants-observateurs du Département de la santé des forêts (DSF) en 2019 et 2020 (Figure 1). Ces signalements sont majoritairement diagnostiqués comme des dépérissements et mortalités causés par des facteurs abiotiques (sécheresses), bien que des galeries de bupreste bleu du pin soient assez souvent observées. Leur sévérité y est évaluée majoritairement comme « sévère » à « très sévère ». Si les signalements concernent toute la région, la Sologne semble être moins touchée que les autres régions forestières (notamment la Brenne et l'Orléanais, voir figure 2). Tous les types de peuplements sont touchés, y compris les pins en mélange avec le chêne.

Les années 2018 à 2020 ont été, comme dans de nombreuses régions françaises, très défavorables climatiquement. Aussi, les forestiers

ont rapidement associé ces dépérissements à une vulnérabilité du pin sylvestre aux sécheresses et canicules, pouvant déboucher sur une remise en cause de l'essence parmi celles retenues comme « d'avenir » dans la région. Il est donc apparu important d'objectiver et d'affiner la connaissance des facteurs explicatifs du dépérissement.

### L'étude « l'Avenir du pin sylvestre »

Financée par l'État (dispositif ADEVBOIS : Aide au développement de la filière forêt-bois), l'étude est portée par le CNPF Île-de-France – Centre-Val de Loire, et co-pilotée par INRAE, l'Office national des forêts (ONF), le DSF, la DRAAF et Fibois.

L'un des objectifs, au-delà de la compréhension et qualification factuelles du dépérissement de l'essence, est l'actualisation des outils de diagnostic. Après considération des moyens disponibles pour cette étude, les objectifs suivants sont précisés :

- environ 100 placettes de mesure,
- domaine d'étude restreint aux peuplements purs, et de plus de 15 m de hauteur.

Avec de nombreuses études similaires menées sur d'autres essences et régions, le protocole BioClimSol est retenu, avec pour objectif de modéliser la vulnérabilité des peuplements au dépérissement. Les grands principes du protocole sont :

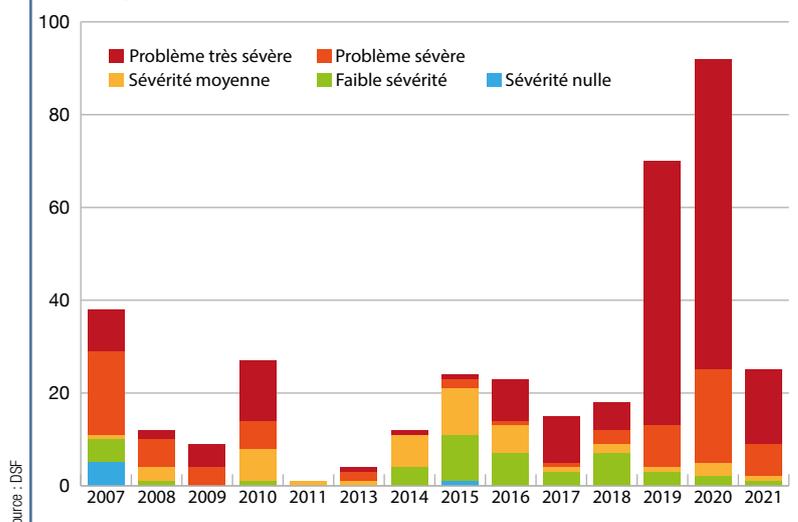
- une stratification selon les variables d'hypothèses influençant le dépérissement, avec tirage aléatoire à partir d'une grille de points potentiels placés sur les peuplements concernés de la région ;
- des relevés pour mesurer le niveau de dépérissement à l'aide du protocole DEPERIS<sup>4</sup> (DSF) sur 20 tiges et des observations sanitaires ;
- des relevés dendrométriques (surface terrière, densité, diamètre à 1,30 m, hauteur dominante) ;
- des relevés stationnels : topographie, et sondage pédologique pioche-tarière.

La localisation des placettes intègre en outre le calcul d'un grand nombre de paramètres climatiques (données Météo-France) et topographiques (Modèle Numérique de Terrain de l'IGN). Plus de 100 variables ont été testées dans notre cas entre les variables climatiques de sol, de topographie et sylvicoles pouvant influencer le dépérissement.

### Une stratification soignée

Une pré-étude à l'aide des données de signalement du DSF (Figure 2) pour asseoir la stratification de l'échantillonnage a été effec-

Figure 1 – Nombre de fiches V « veilles sanitaires » en région Centre-Val de Loire



Source : DSF

tuée. Aucune donnée de sol et de sylviculture n'étant disponible dans les signalements du DSF, cette pré-étude avait pour objectif d'identifier les paramètres climatiques impactant le plus le niveau de dépérissement des pins.

Après analyse d'un grand nombre de variables climatiques (mensuelles pour les années 2018 et 2019, moyennes trentenaires, des températures moyennes, minimales et maximales, pour les précipitations, évapotranspirations bilan hydrique climatique), c'est le P-ETP<sup>5</sup> de mai à septembre 2018<sup>6</sup> qui discrimine le mieux les dépérissements observés. Trois zones climatiques sont donc créées, à l'aide de ce paramètre.

Ensuite pour asseoir la stratification de l'échantillonnage des placettes mesurées en 2021, deux autres critères de stratification ont été retenus pour notre échantillonnage :

- le **réservoir utile** en eau (RUE) (liée à la profondeur prospectable et la texture),
- et la **profondeur d'apparition d'un horizon à engorgement contraignant**.

Ces paramètres sont connus pour impacter le dépérissement du pin sylvestre.

Nous nous sommes appuyés sur les cartographies issues du programme PRESTATION NO<sup>7</sup> (CNPF), pour ces deux paramètres liés au sol. Le masque cartographique utilisé pour identifier les « peuplements purs de pins sylvestre » est celui de la BD Forêt 2 (IGN). Ces peuplements représentent sur la région environ 50 000 ha. Un maillage régulier de 200 m x 200 m est ensuite construit sur SIG, en ne conservant que les points inclus dans les peuplements purs de pin selon la BD Forêt. Les 3 variables cartographiées retenues pour stratifier l'échan-

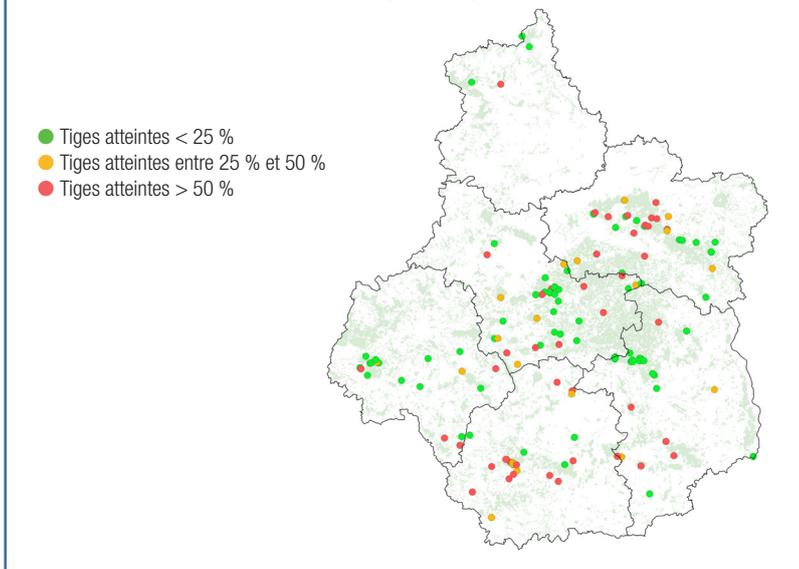
<sup>4</sup> Méthode de notation simplifiée de l'aspect du houppier des arbres forestiers dans un contexte de dépérissement. Nageleisen L.-M., Goudet M., 2019. Dossier Dépérissements : décrire pour mieux agir. *Forêt-entreprise*, n° 246, p. 36-40.

<sup>5</sup> Précipitation moins évapotranspiration de mai à septembre

<sup>6</sup> La quasi-absence de précipitation durant cette période et les températures élevées de mai à septembre 2018 ont influé fortement le bilan hydrique climatique P-ETP.

<sup>7</sup> Gaudin S., Piedallu C., Madrolles F., Reboul J.-B., 2016. Les stations forestières : intérêts et limites des cartographies prédictives et par échantillonnage. Dossier : « Les typologies des stations forestières : des outils d'actualité ». *Forêt-entreprise*, n° 228, p. 39-43.

**Figure 2 – Localisation des signalements DSF pour le pin sylvestre depuis 2018 selon le pourcentage de tiges dépérissantes**



<sup>8</sup> Lemaire J., Vennetier M., 2022. Modélisation du risque de dépérissements des forêts : exemple du pin sylvestre dans le Sud-Est de la France. *Forest Ecology and Management*, à paraître

tillonnage représentant en tout 12 classes (3 classes climatiques x 2 classes de réserve utile x 2 classes de profondeur d'engorgement), une sélection aléatoire de 8 points par classée est opérée (soit 96 points).

Les placettes localisées au bureau, l'opérateur se rendait au point précis géolocalisé en appliquant le protocole de relevé. Au final 91 placettes ont ainsi pu être mesurées.

Les 12 classes de stratification étant globalement bien pourvues en placettes (Tableau 1), seulement une classe n'a pu être échantillonnée car non rencontrée sur le terrain.

### Modélisation du dépérissement

À partir des variables récoltées sur le terrain, et des nombreuses variables cartographiques affectées aux points de sondage (données clima-

tiques, indices topographiques), le dépérissement est ensuite modélisé avec la méthodologie BioClimSol. Ce modèle de dépérissement vise à mettre en relation l'état sanitaire de la placette mesurée avec toutes les variables quantifiées sur le terrain et obtenues à partir des modèles climatiques et topographiques. Les modèles BioClimSol emploient une méthode statistique dédiée à des modélisations complexes avec de très nombreuses variables (analyses multifactorielles) où la corrélation et l'interaction entre les variables explicatives peuvent être élevées<sup>8</sup>. Seules les variables significatives sont retenues dans le modèle, c'est-à-dire que leur « poids » dans l'équation expliquant le dépérissement est significativement différent de 0 (Figure 3). BioClimSol identifie trois grands types de variables pour expliquer et estimer le dépérissement :

- les variables liées au vivant [Bio] : à savoir les agents biotiques (les parasites) ou des variables dendrométriques (densité, mélange, structure du peuplement) ;
- les variables liées au climat [Clim] (températures, précipitation, évapotranspiration) ;
- et les variables liées aux sols et la topographie [Sol] : réservoir utile en eau, hydro-morphie, pH, effervescence à HCl, pente, exposition, position topographique...

La figure 3 visualise ainsi les variables retenues dans le modèle de dépérissement pour le pin sylvestre en Région Centre-Val de Loire entre 2018 et 2020.

Examinons maintenant les variables significatives ainsi retenues influençant le dépérissement du pin sylvestre sur notre jeu de données.

En ce qui concerne les données climatiques, la première variable de ce modèle est la vigilance climatique établie à partir de la pré-étude sur les données du DSF à savoir le « **P-ETP0509 de 2018** », également les déficits hydriques de juin à août de 2018 et 2019. Plus le climat est déficitaire en eau ces deux années, plus le risque de dépérissement augmente.

Ensuite, parmi les variables pédologiques, lorsque le Réservoir Utile en Eau (RUE) est faible, il favorise le risque de dépérissement. Une autre variable liée au sol est le **réservoir utile en eau**, dont la valeur est pondérée par la **profondeur d'apparition d'un engorgement** en eau significatif ; cela démontre ainsi l'importance du fonctionnement hydrique des sols dans notre région.

La **pente** diminue le risque de dépérissement sans doute à cause de son incidence sur la profondeur d'engorgement, lien très sensible en zone de plateau. À l'inverse, les placettes

**Tableau 1 – Répartition finale des 91 points inventoriés selon les 3 paramètres de stratification (mesurés)**

L'utilisation de cartes prédictives a servi à construire l'échantillonnage de l'étude.

Niveau de vigilance climatique Probabilité de dépérissement en % (figure 3)	Profondeur d'engorgement contraignant (calculée à l'aide des données terrain)	Réservoir utile en eau faible (calculé)	Réservoir utile en eau moyen à fort (calculé)	Total	
0 – 30	< 50cm	0	10	10	29
	> 50cm	16	3	19	
30 – 70	< 50cm	6	13	19	34
	> 50cm	9	6	15	
70 – 100	< 50cm	4	10	14	28
	> 50cm	9	5	14	
<b>Total</b>		<b>44</b>	<b>47</b>	<b>91</b>	

en haut de versant (TPI 100 et 1500 m) sont plus touchées par le dépérissement, cette position topographique étant une zone de départ en eau du fait d'un ruissellement supérieur aux apports. Les parcelles exposées au sud avec un indice IKRL<sup>9</sup> élevé sont également plus dépérissantes.

D'un point de vue dendrométrique, une surface terrière élevée et une plus faible proportion de pin sylvestre parmi le peuplement principal sont des facteurs favorisant le dépérissement dans notre échantillon. Une forte densité, combinée à des pins souffrant de la concurrence des autres essences sont donc, dans ce modèle, défavorables à l'état sanitaire des pins. Rappelons toutefois que notre étude n'a échantillonné que des peuplements à prépondérance de pins sylvestre. Le mélange restait relativement faiblement échantillonné. Il faut donc prendre ces résultats sur le mélange avec précaution.

Des cartographies du risque peuvent être réalisées à l'aide du modèle figure 6, en utilisant les variables cartographiées (topographie, climat) disponibles retenues par le modèle, et en formulant diverses hypothèses pour les variables dendrométriques et édaphiques non cartographiées (contexte favorable, défavorable, moyen). Si ces cartes sont à interpréter avec prudence, elles nous renseignent cependant sur le gradient de risque pour le pin dans la région, d'un point de vue climatique et topographique (Figure 4).

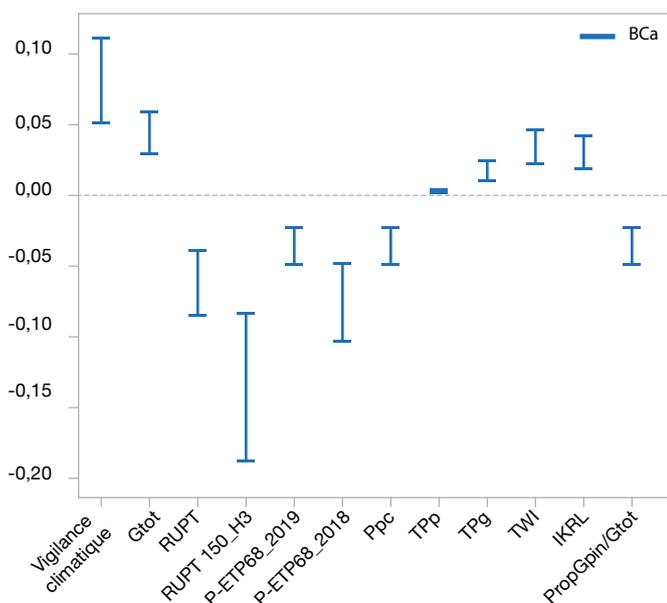
### Évaluation de la surface affectée

Bien que la stratification n'ait pas été étudiée pour estimer la surface des peuplements dépérissants, l'étude de nos placettes n'en constitue pas moins une première approche. Au total, 16 % des placettes sont évaluées dépérissantes, c'est-à-dire qu'elles comportent plus de 20 % d'arbres atteints (selon le protocole DEPERIS, classé D, E, F). Ramené au total des arbres mesurés, cela signifie que **10 % d'entre eux sont dépérissants**, et 4,5 % sont notés E ou F, c'est-à-dire morts ou quasiment morts. L'estimation à partir de la carte « médiane » modélisant le dépérissement (Figure 4) indique la même tendance.

Pour compléter ce premier constat, une approche par la télédétection est mise en place. Des images Sentinel 2 de juillet 2020 et juillet 2017 sont utilisées, permettant de comparer des données avant et après la crise sanitaire observée. Deux indices de végétation sont calculés, et les différences sont normalisées entre ces deux dernières variables entre 2017 et 2020.

**Figure 3 – Coefficients standardisés des variables significatives intervenant dans le modèle de dépérissement du modèle de risque du pin sylvestre en région Centre-Val de Loire, entre 2018 et 2021**

Les barres d'erreurs en bleu représentent l'intervalle de confiance des variables significativement différentes de zéro. Une valeur inférieure à 0 indique que plus la variable augmente, plus elle diminue le risque de dépérissement. Une valeur supérieure à 0 indique que plus la variable augmente, plus elle augmente le risque de dépérissement.



#### Signification des variables retenues :

Vigilance climatique : niveau de vigilance climatique du pin sylvestre basé sur le P-ETP0509 de 2018, données calculées à partir de SAFRAN© Météo-France résolution 8 km [Figure 3]

GTOT : surface terrière toutes essences confondues calculée sur le terrain

RUPT [mm] : réservoir utile pioche-tarière calculée sur le terrain

RU150PT H3 pondérée [mm] : RU arrêtée à 1 m 50PT pondérée en fonction de la profondeur d'apparition de l'hydromorphie 3

PETP065089\_2018 et 2019 [mm] : bilan hydrique P-ETP de mai à septembre en 2018 et 2019, données calculées à partir de SAFRAN© Météo-France résolution 8 km

TPI 100m : indice de position topographique à l'échelle de 100 m MNT 25 m IGN

TPI 1500m : indice de position topographique à l'échelle de 1500 m MNT 25 m IGN

IKRL : indice de rayonnement solaire calculé à partir de Norclis© CNPF

Ppc : pente en % estimée sur le terrain

Proportion GPIN sur GTOT : proportion de la surface terrière du pin sur la surface terrière totale

Si la valeur est de 1, cela indique que le pin est pur dans le peuplement.

Ces deux indices sont le NDVI<sup>10</sup>, sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation, et le CRSWIR<sup>11</sup>, sensible à la teneur en eau de la végétation.

Les placettes de l'étude ont été utilisées pour calibrer le modèle selon deux méthodes. La première méthode avait pour principe d'identifier des seuils pertinents, pour les deux indices, entre les peuplements dépérissants et non dépérissants. Cette méthode n'ayant pas donné de résultats pertinents, des classifications supervisées par apprentissage automatique sont réalisées selon différentes méthodologies, (SVM et Random Forêt). Ces

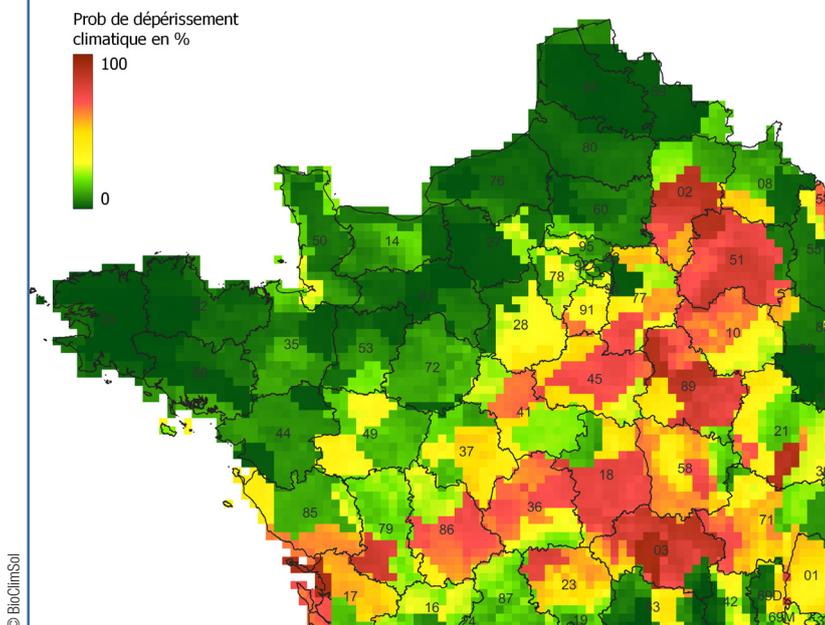
<sup>9</sup> Indice de rayonnement solaire calculé à partir de Norclis

<sup>10</sup> Normalized Difference Vegetation Index

<sup>11</sup> Dutrieux *et al.*, 2021

## Figure 4 – Modélisation cartographique du pourcentage de tiges dépérissantes selon le modèle médian

Pour les données du modèle non disponibles en version cartographique (sol et dendrométrie), les valeurs médianes de l'étude de 2021 ont été retenues. Les valeurs représentent le pourcentage de tiges classées D ou plus en notation DEPERIS. Résolution 75 m



classifications sont réalisées selon 3 classes : Sain, Dépérissant, Sol nu. Cette dernière classe a pu être déterminée en entrant dans le jeu de données la couche « coupe rase » générée par INRAE (K. Ose, 2018).

Un modèle majoritaire a été construit, et est utilisé pour classer l'ensemble des peuplements de pins sylvestre de la BD Forêt en « dépérissant » ou « sain ».

Globalement cette étude montrerait qu'environ 30 % des peuplements de pins sylvestre de la région Centre-Val de Loire seraient « dépérissants », au sens de la définition précédente. Certaines régions forestières de la Brenne, ont même des taux supérieurs à 40 %.

Si le déséquilibre de notre échantillonnage entre peuplements dépérissants et non dépérissants et le faible échantillon ne nous permet pas d'assurer la robustesse des résultats, l'approche est tout de même encourageante, car les gradients géographiques sont conformes à ce qui a été observé sur le terrain (Orléanais plus touché que la Sologne, voir figure 5).

### Complémentarité BioClimSol et télédétection

L'application BioClimSol sera donc mise à jour à l'aide du modèle issu de cette étude. Le catalogue régional des stations intégrera également les contraintes édaphiques et climatiques mises

en évidence dans cette étude (notamment l'engorgement), trop faiblement pris en compte actuellement, dans une prochaine mise à jour. Le nombre limité de placettes et l'exploitation d'un nombre significatif d'arbres dépérissants ou morts représentent toujours un écueil dans ce type d'étude. Cependant, il semble possible de fournir des pistes pour répondre aux principales interrogations des forestiers de la région, notamment en termes de compréhension des facteurs en jeu. Si le climat est un facteur déclenchant, certains paramètres édaphiques et dendrométriques sont pré-disposants (Figure 6), et leur connaissance permet d'éviter certaines situations de vulnérabilité. La complémentarité entre BioClimSol et la télédétection ouvre des perspectives encourageantes.

De cette meilleure connaissance, les pistes suivantes sont proposées pour favoriser l'adaptation des forêts régionales au changement climatique :

- surveillance des pins sylvestre au travers des réseaux existants (DSF), ou à développer. L'information auprès des propriétaires et gestionnaires reste primordiale pour que cette surveillance soit la meilleure possible ;
- pour les peuplements mûrs ou dépérissants : dans les cas pour lesquels les diagnostics avec outils existants mis à jour à l'aide de cette étude (BioClimSol, Guide des stations) indiquent une station limite ou un risque élevé, on privilégiera des essences mieux adaptées. Soit : en station engorgée, pin maritime et en station séchante, pin laricio, cèdre ;
- en plantation : éviter les stations trop séchantes ou trop engorgées, mais conserver le pin sylvestre parmi les essences possibles dans les contextes plus favorables (voir les préconisations des outils de diagnostic) ;
- sylviculture : privilégier les itinéraires dynamiques et des éclaircies pratiquées avec soin fréquemment ;
- approfondir les questions sur le mélange (via notamment le dispositif de recherche Optimix d'INRAE) ;
- poursuivre des analyses par télédétection en complémentarité de BioClimSol (projet Reconfor) ;

Il existe évidemment de nombreux critères que de tels modèles ainsi construits ne peuvent aborder ; parmi ceux-ci, la variabilité génétique. N'oublions pas que le pin sylvestre est l'essence de production résineuse qui a la plus grande aire de répartition dans le monde. Enfin, l'utilisation de l'application BioClimSol en

France permettra, grâce à son mode collaboratif, d'affiner les modèles de dépérissement de l'essence.

Si le pin sylvestre fait donc toujours partie des essences possibles pour le sylviculteur en région Centre-Val de Loire, les contextes, où il est désormais préconisé, sont clairement mieux ciblés. ■

### Remerciements

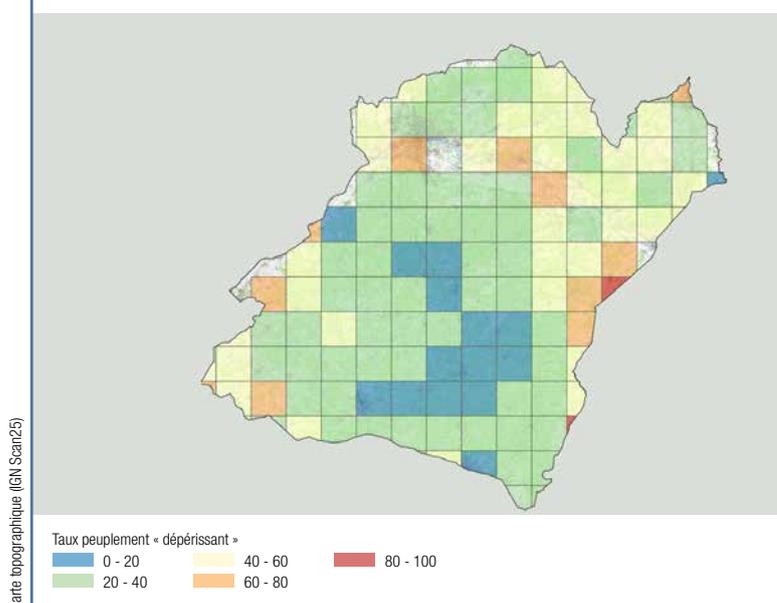
Aux membres du Comité de Pilotage : Sandrine Perret (INRAE), Violaine Rieffel (DRAAF Centre-Val de Loire), Gilbert Douzon (DSF), Xavier Mandret (DSF), Jean-François Hauttecoeur (DRAAF Centre-Val de Loire), Antoine Hubert (FIBOIS Centre-Val de Loire), Christian Ginisty (INRAE), Christophe Poupat (ONF).

Et aux appuis de terrain : Michel Sottejeau (ONF), François-Xavier Saintonge (DSF), Bruno Jacquet, Franck Massé, David Houmeau, Clément Deschamps, Thomas Varquet, Aurélien Février et Laurence Plaige (CRPF).

Au service administratif du CNPF Centre-Val de Loire : Céline Fougeron et Sophie Avril.

Aux propriétaires nous ayant accueillis.

**Figure 5 – Estimation par maille du dépérissement en SER Sologne Orléanaise en 2022**



**Figure 6 – Interactions des différents facteurs ayant entraîné le dépérissement du pin sylvestre en région Centre-Val de Loire**

#### Facteurs prédisposants

Faible réserve utile des sols  
Horizon temporairement engorgé  
proche de la surface



Antoine Leung © ONF

#### Facteurs déclenchants

Sécheresse  
+ température extrême



Pixabay/Tamab6©

#### Facteurs aggravants

Bupreste bleu du pin

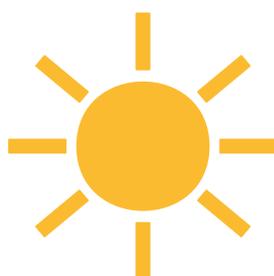


Source : Ephyllia.inra.fr

Surface terrière forte



Michel Chantier © CNPF



*Diplodia Pinea*, hylésine du pin,  
sténographe...



Source : Ephyllia.inra.fr

### À retenir

Une étude, réalisée en 2021, évalue l'importance et les facteurs explicatifs possibles des dépérissements du pin sylvestre en région Centre. Le déficit hydrique de mai à septembre 2018 est la première variable significative, associée à un engorgement ou une surface terrière élevée entre autres facteurs influents. L'application BioClimSol intégrera les données acquises par l'étude. Le catalogue régional des stations forestières intégrera également les contraintes édaphiques mises en évidence par cette étude (notamment l'engorgement).

**Mots-clés** : pin sylvestre, dépérissement, modélisation des risques, déficit hydrique et facteurs de compensation.

# Ils utilisent BioClimSol, ils en parlent

*Quelques utilisateurs – chercheurs, enseignant, gestionnaires, étudiante – partagent leurs attentes et leurs regards sur BioClimSol.*

Propos recueillis par Nathalie Maréchal, CNPF-IDF



Michel Venetier, ingénieur-chercheur, retraité d'INRAE Aix-en-Provence, impact du changement climatique et des incendies sur les écosystèmes

## Quels sont vos besoins et attentes vis à vis de BioClimSol ?

**Michel Venetier** : BioClimSol répond à des besoins importants sur le terrain, car les dépérissements sont en augmentation dans tous les écosystèmes. Aucun type de forêt n'y échappe dans toutes les régions de France et dans le monde entier. **Il répond au besoin d'un outil d'aide au diagnostic pour prédire les risques.** Il était presque en avance sur son temps pour la France : il a été développé lorsque des dépérissements étaient localisés ou ponctuels sur une espèce particulière dans une région, alors que les dépérissements se généralisent actuellement.

Pour rendre leurs prévisions plus fiables, il est nécessaire de confronter les modèles de dépérissement, soit de mortalité ou de perte de productivité, à la réalité évolutive du terrain. Les allers-retours entre les modèles et la réalité constatée à chaque nouvelle étude sont essentiels pour les conforter, affiner, améliorer. Pour une gestion et une anticipation efficaces, le choix des espèces en lien avec une sylviculture adaptée est important.

## Quels sont les atouts de l'outil BioClimSol et ses faiblesses ?

**MV** : Un des atouts de BioClimSol est qu'il a été testé avec la même méthodologie sur beaucoup d'espèces et dans

différentes régions aux conditions naturelles très variées (plaines, montagnes, régions sèches ou humides, chaudes ou froides, sols très différents...). Souvent les autres modèles vont qualifier le dépérissement sur une ou deux espèces dans une région particulière. Et le modèle est modifié avec d'autres facteurs, données et méthodes pour une autre essence.

**C'est un cas unique et sans équivalent, aussi précis, testé sur autant d'espèces.** Un atout de BioClimSol est de prendre en compte tous les facteurs biotiques, climatiques, de sol, en incluant le rôle très important de la topographie. Il devrait se nommer plutôt « BioClimSol-Top » ! Il intègre également beaucoup d'interactions entre les facteurs, ce qui le rend très complet. Les autres modèles n'intègrent pas tous ces facteurs.

**L'autre atout de BioClimSol est l'interactivité : l'outil est conçu et construit avec une mise à jour à chaque résultat d'étude.** Les données de terrain viennent en permanence améliorer le modèle. La même base évolue en intégrant les nouvelles études pour devenir plus efficiente. De plus, chaque étude intègre de nombreuses données de terrain précises (topographie, sol, dendrométrie...).

L'outil est aussi facile d'utilisation sur le terrain avec une bonne ergonomie dans l'application.

Ses faiblesses sont le revers de ses forces. Les données très précises feront des résultats valides pour la zone d'étude, mais cela ne sera pas toujours extrapolable à une autre zone. Par exemple, le modèle expliquant les dépérissements du pin sylvestre en région PACA fait la part belle à des facteurs biotiques comme le gui ou la chenille processionnaire ; cela ne sera pas utilisable en l'état dans une région où ces facteurs biotiques sont absents. De plus, les interactions entre les facteurs biotiques, de climat, et de sol différeront suivant les régions, d'où l'intérêt de mises à jour à partir des études de terrain. La méthode est robuste et extrapolable, mais les facteurs changeant d'une région à l'autre, le modèle sera à adapter. Ses inconvénients correspondent à ses atouts, mais il n'y a pas de faiblesse intrinsèque.

## Quels développements ou évolutions bénéfiques à envisager ?

**MV** : Un premier développement attendu est la validation scientifique de la méthode par la thèse en cours, les communications, interventions en colloques internationaux et publications dans des revues scientifiques. D'ailleurs, le premier article sur le pin sylvestre dans le sud-est de la France est accepté dans *Forest Ecology and Management*, une

des revues scientifiques les plus lues par les forestiers dans le monde : c'est une bonne nouvelle, qui va dans le sens d'une validation et reconnaissance internationales.

L'utilisation régulière dans toutes les régions françaises améliorera la modélisation, la rendant plus précise. La mise à jour continue avec toutes les études testant le modèle contribuera à sa pertinence. C'est un travail collectif qui demande un suivi actif.

L'internationalisation serait une étape importante : en motivant d'autres utilisateurs hors France pour tester la méthode et le modèle dans des condi-

tions relativement proches et même des conditions plus éloignées. Elle permettrait un développement en Europe, en Amérique du Nord et au-delà.

### Quel regard portez-vous sur BioClimSol en 3 mots ?

**MV** : Mon premier regard est un outil très pratique, concret, opérationnel, correspondant typiquement à la relation constructive et valorisante entre recherche et terrain pour les forestiers et chercheurs. Il y a eu des améliorations liées au travail en collaboration avec INRAE pour une base scientifique solide. Mon deuxième regard sera sur l'énorme

travail de très longue durée pour cet outil de R&D. La patience s'avère payante. Contrairement aux financements actuels de recherche ou techniques qui sont plutôt ponctuels et sporadiques sur 2 ou 3 ans maximum, sans suite garantie. Ce projet démontre l'intérêt du suivi à long terme d'un projet, de l'accumulation coordonnée d'études, d'expériences, de recherches, de données. Un bel exemple d'aboutissement et de ténacité. L'IDF a investi sur le long terme et Jean Lemaire a porté ce projet en s'appuyant sur de nombreux partenaires forestiers. Il faut poursuivre !



François-Xavier Saintonge,  
expert au Département de la santé des forêts (DSF)

### Quels sont vos besoins et attentes vis-à-vis de BioClimSol ?

**François-Xavier Saintonge** : Les évolutions climatiques passées et à venir constituent une nouvelle donne d'ampleur pour le monde forestier. Il convient d'apporter aux gestionnaires des outils d'aide à la décision, qui bien qu'imparfaits, doivent l'aider à mieux comprendre les dépérissements qu'ils observent et anticiper ou appréhender les crises à venir. BioClimSol permet au DSF d'illustrer la situation actuelle en valorisant nos données et de se projeter dans un avenir proche à partir des scénarii proposés par les météorologues. La stratégie de gestion des peuplements existants devient plus complexe et nécessite une approche plus fine, dans un contexte de forte incertitude. Les dépérissements observés touchent de plus en plus d'essences ce qui nécessite de gros efforts de reboisement. Le choix des essences est un véritable casse-tête : BioClimSol doit guider ces choix, à différentes échelles.

### Quels sont les atouts de l'outil et ses faiblesses ?

**FXS** : BioClimSol compile et valorise les données de dépérissement observés en construisant des modèles de prédiction. Son principe réellement collaboratif est à souligner : il s'agit de son principal atout.

Ses faiblesses sont liées à sa relative jeunesse, puisque l'ensemble des observations du territoire n'est pas encore intégré dans les modèles, ce qui limite leur validité géographique. Cette faiblesse devrait diminuer dans les mois et années à venir avec la prise en compte des données nouvellement recueillies, notamment celles consécutives à la période de sécheresse 2018-2020 qui a touché beaucoup d'essences. Cependant, l'inconnu sur les évolutions climatiques à moyen terme restera probablement une limite factuelle de ce type d'outil.

### Quels développements ou évolutions bénéfiques à envisager ?

**FXS** : Les données biotiques sont jusqu'alors insuffisamment prises en compte dans BioClimSol. Certaines essences en souffrent directement (comme le frêne avec la chalarose) ou indirectement (le châtaignier avec l'encre). Ce développement nécessite un travail commun avec les entomologistes et pathologistes, qui possèdent "dans leurs cartons" des modèles de prédictions de prévalence et d'évolution pour un certain nombre de bio-agresseurs.

### Quel regard portez-vous sur BioClimSol en 3 mots ?

**FXS** : Complémentaire des autres outils d'aide à la décision du gestionnaire face aux évolutions climatiques, BioClimSol mérite d'être largement déployé et enrichi par un maximum d'observations de terrain.



Jean Yves Massenet, enseignant –formateur, responsable de la licence professionnelle « Conseiller forestier » de l'Institut de Mesnières en Bray (76)



### Quels sont vos besoins et attentes vis-à-vis de BioClimSol ?

**Jean-Yves Massenet :** Dans notre établissement, les étudiants de licence professionnelle Conseiller forestier ont suivi la formation sur l'outil BioClimSol en septembre 2021. En tant qu'enseignant en techniques forestières ayant également bénéficié de cette formation, j'ai ensuite encouragé son utilisation dans le cadre des projets tuteurés et rapports de stages d'étudiants de BTS. Cet outil est un complément très intéressant à l'utilisation des guides de stations lors des diagnostics stationnels. Il apporte des éléments de réflexion sur la possible vulnérabilité des essences présentes dans une parcelle dans la

perspective des scénarios possibles de changements climatiques. Les étudiants s'interrogent sur le recours et découvrent des essences « atypiques » peu connues.

Lors des exercices de diagnostic, les étudiants sont sensibilisés à la notion de robustesse des modèles utilisés par l'outil et à la validité statistique des propositions d'essences délivrées. En combinant les observations de terrain et l'utilisation d'outils d'aides à la décision (ClimEssences, BioClimSol, Foreval), les étudiants apprennent à fonder leur prise de décision et propositions sur plusieurs sources d'information. L'utilisation de l'application aborde également les méthodes de diagnostic de dépérissement avec les outils DEPERIS

et ARCHI et ainsi développe les compétences en matière de diagnostic sanitaire. Des connaissances assez solides en description des sols, bioclimatologie forestière et écologie des essences sont indispensables afin d'utiliser l'outil avec pertinence.

### Quels développements ou évolutions bénéfiques à envisager ?

**JYM :** Afin d'améliorer l'outil, une documentation accessible dans l'application sur l'autécologie des différentes essences proposées serait un plus. La possibilité de joindre des photos à chaque projet pourrait aussi être intéressante, ainsi que la représentation de la station sur un écogramme.

*Les étudiants en licence professionnelle Conseiller forestier en formation BioClimSol.*





### Quels sont vos besoins et attentes ?

**Anaëlle Seignol** : Pour les dossiers de reboisement avec l'aide du Plan de relance et les contrats de Label Bas-Carbone forestier, j'ai réalisé une quinzaine de diagnostics BioClimSol. L'outil en propose deux : le diagnostic du peuplement sur pied, et celui de boisement, dans le cadre d'un premier boisement ou d'un changement d'essence.

Le diagnostic peuplement sur pied de l'outil s'avère très utile pour qualifier l'avenir d'un peuplement en place. Par exemple, dans un taillis de châtaignier à Montmoreau en Charente, le diagnostic BioClimSol indique que 6 peuplements sur 10 avec les critères stationnels identiques sont dépérissants ou morts ; dans le scénario + 1 °C, le risque est de 8/10, dans le scénario + 2 °C, c'est 9/10. Cela montre clairement l'inadéquation du peuplement et la nécessité de changement d'essence à faire par plantation.

Certains propriétaires de notre secteur souhaitent reboiser en feuillus, ce qui n'est pas toujours possible sur leurs terrains sableux du sud-Charente et nord-Gironde. En complément de nos conseils, l'outil d'aide à la décision BioClimSol via le 'diagnostic boisement' vient confirmer mon diagnostic. **Il va nous aider à faire comprendre au propriétaire nos préconisations dans le cas d'inadéquation de ses demandes avec les caractéristiques de la station.** Sur certains terrains atypiques de notre secteur, avec des sols plus calcaires, l'outil BioClimSol propose des essences différentes, comme le cèdre, que nous allons tester en mélange avec d'autres.

### Quels sont les atouts de l'outil et ses faiblesses ?

**AS** : L'atout de BioClimSol est d'être fait par et pour des forestiers. Les données à relever sont complètes pour qualifier et analyser un projet à un endroit donné. L'atout est aussi la projection à + 1 ou 2 °C. Le diagnostic DEPERIS inclus est aussi

une aide utile pour les projets éligibles au Plan de relance. Avec la méthode DEPERIS, on quantifie le dépérissement, et avec BioClimSol on l'explique.

Les données sur la vulnérabilité des peuplements dans le contexte de réchauffement sont constamment enrichies dans la base de l'application par les diagnostics des utilisateurs, puisqu'on décrit à la fois la station et l'état sanitaire du peuplement sur pied.

Le point faible est le manque de données pour certaines essences de renouvellement suite au dépérissement. L'outil progressera avec l'avancée de la recherche sur les essences prometteuses face aux changements climatiques.

Il faut plus de connaissances sur les critères discriminants. Les potentielles essences d'avenir possèdent les données correspondant à leur autécologie, mais sans prise en compte d'éventuels effets de compensation entre les composantes de la station.

### Quels développements ou évolutions bénéfiques à envisager ?

**AS** : Il faudrait acquérir plus de données sur des essences méridionales, qui seront probablement les essences d'avenir, leurs données d'autécologie.

Les essences souvent proposées par BioClimSol dans les relevés dans ma région Poitou-Charentes sont principalement le pin maritime, le chêne pubescent ou le cèdre. Nous présentons des projets avec une essence d'avenir « fiable » et en diversification un mélange d'essences, pour concilier les souhaits de certains propriétaires avec les possibilités de leur station. Une version simplifiée du diagnostic à destination du propriétaire serait un avantage, en complément de la version technique actuelle.

### Votre regard en 3 mots ?

**AS** : Bon outil pertinent, à enrichir.



Cindy Chateignier, étudiante en BTS Gestion forestière, stagiaire du Cetef du Berry (18)

### Quels sont vos besoins et attentes vis à vis de BioClimSol ?

**Cindy Chateignier** : La question pourrait être : Quelle est la plus-value par rapport à des outils déjà disponibles comme le guide Valorisation des stations et des habitats forestiers de la région Centre ? Sans remplacer cet outil de base, BioClimSol intègre à sa conception, un élément dont il n'est plus possible de faire abstraction lorsque l'on parle de l'avenir de nos forêts : le réchauffement climatique.

Fraîchement inscrite en BTS Gestion Forestière, j'ai effectué mon stage au Cetef du Berry, encadré par David Houmeau, technicien du CRPF Île-de-France – Centre-Val de Loire. La mission était de réaliser des diagnostics avec l'application BioClimSol chez des propriétaires forestiers adhérents au Cetef du Berry, ayant des projets de reboisement dans le cadre du Plan de relance. L'objectif secondaire était d'estimer leur appropriation de ce nouvel outil et quel usage ils feraient de l'analyse fournie.

Munie de l'application BioClimSol, j'ai été accueillie par 11 adhérents au Cetef du Berry, afin de procéder à 23 analyses de parcelles. Leurs besoins et attentes différaient selon leurs projets : diagnostic de l'état sanitaire des essences en place en vue d'un enrichissement ou d'un boisement futur, boisement d'une prairie... Dans tous les cas, l'enjeu de BioClimSol était d'identifier quelles essences pourraient être possiblement résilientes dans un contexte de réchauffement climatique, et ce en fonction des caractéristiques de la parcelle. Afin de parvenir à un diagnostic au plus près des besoins des propriétaires, nous avons choisi ensemble le lieu précis de l'analyse, puis procédé aux différents relevés nécessaires (topographie, horizons du sol, état sanitaire des essences en place...). Sur la base de ces informations, BioClimSol aboutit à des propositions sur les essences à planter et leur résilience future avec un horizon de + 1 ° et + 2 °. Les

propriétaires impliqués dans leur projet étaient tous déjà sensibles aux impacts forestiers du réchauffement climatique. Cependant, **les propositions de BioClimSol ont été l'occasion pour certains de réaliser que les essences qu'ils comptaient planter n'étaient peut-être pas les plus adaptées aux contraintes climatiques futures en fonction des caractéristiques de leur station forestière.** De ce que j'ai pu observer, les propriétaires forestiers font souvent le choix de ou des futures essences à planter en fonction de ce qu'ils ont pu trouver auparavant dans leur forêt. Cependant, ils ont conscience que leur forêt évolue rapidement ces dernières années suite aux sécheresses des années passées, et ils sont inquiets de faire le bon choix. En tant qu'outil numérique, j'ai trouvé que **BioClimSol constitue un bon médiateur pour ouvrir le dialogue avec le propriétaire, afin de lui faire prendre conscience des exigences futures en matière de plantation.** Lors de mes visites, j'ai remarqué qu'aucun propriétaire n'a été indifférent au compte-rendu de BioClimSol. Certains ont été déstabilisés, car ils envisageaient la plantation d'essences considérées comme à risque par l'application, tandis que d'autres ont été confortés dans leur choix initial. Le rôle du technicien forestier est ici essentiel, car **il proposera un compromis entre l'analyse générée par l'application et les aspirations des propriétaires.**

### Quels sont les atouts de l'outil et ses faiblesses ?

**CC** : À l'issue de mon intervention, les adhérents complétaient un questionnaire de leur avis concernant la facilité d'utilisation de l'application, ainsi que son utilité et ses apports dans la réflexion de leur projet. De l'avis de tous, il ressort que **l'ensemble de l'application est assez ergonomique** et permet de s'y retrouver aisément. Néanmoins, il est à noter que, pour un usage pertinent et correct, l'utilisateur doit avoir des connaissances préalables sur

sa parcelle et l'identification d'un certain nombre de paramètres de cette dernière. Déterminer l'humus ou les horizons du sol constituent souvent une opération délicate pour les propriétaires forestiers, tout comme de diagnostiquer l'état sanitaire de leur forêt. Ils sont en effet plus à l'aise lorsqu'il s'agit de déterminer les essences présentes et la station ou de manipuler des outils de mesure de la hauteur des arbres et la surface terrière. Pourtant, sans la capacité à renseigner toutes ces informations et donc la nécessité pour le propriétaire forestier d'être formé, la synthèse fournie par BioClimSol ne pourra qu'être erronée et induire en erreur celui-ci, dans ses choix de boisement ou enrichissement. Les diagnostics menés avec les propriétaires ont d'ailleurs été l'occasion pour certains de mesurer les connaissances spécifiques nécessaires pour renseigner les données, et donc leur besoin de formation.

### Quels développements ou évolutions bénéfiques à envisager ?

Dans l'optique d'une amélioration de l'application, les diagnostics réalisés ont fait ressortir que pouvoir renseigner le couvert végétal dans l'application pourrait être un gain majeur, car il permettrait d'avoir accès plus aisément au groupe écologique des plantes en station, plutôt que d'avoir à faire a posteriori un contrôle du pH.

### Quel regard portez-vous sur BioClimSol en 3 mots ?

Ce qui saute aux yeux avec l'application BioClimSol c'est tout d'abord **son ergonomie. Elle est facile à prendre en main, nul besoin d'être un(e) expert(e) en informatique pour être à l'aise dans la manipulation de l'outil.** C'est aussi une application utile, car nous savons depuis de nombreuses années que les plantations d'aujourd'hui et de demain devront obligatoirement composer avec le réchauffement climatique. Néanmoins ses conséquences impactent de nombreux paramètres dans une forêt et il est souvent difficile de tous les prendre en compte lorsque l'on doit porter son choix sur une ou des essences à planter. En ce sens, BioClimSol constitue donc **un bon outil d'aide à la décision dans ce contexte changeant.**



Bertrand Vallier, expert forestier,  
Forestière Chasseval La Bussière<sup>2</sup> (45)

### Quels sont vos besoins et attentes ?

**Bertrand Vallier :** Notre besoin est lié à une demande amplifiée de boisement, alors que durant 20 ans, peu de plantations ont été faites. Actuellement des peuplements entiers sont en dépérissement. Dans ce contexte changeant, le forestier « sachant » est fébrile ou circonspect sur le choix des essences. Il était fréquent de planter les mêmes essences. L'idée est de s'ouvrir à des essences auxquelles nous n'aurions pas pensé. Ces essences habituelles ne fonctionneront peut-être plus dans les cinquante prochaines années, donc un besoin de recul est nécessaire au-delà de l'expérience dans notre région. Notre attente est dans les propositions faites par l'outil suite aux relevés terrain effectués. Actuellement, l'appli manque de données, clairement les propositions sont partielles. Quand les propositions nous confortent dans notre diagnostic, on confirme le projet de boisement. Par contre, dans des stations plus difficiles au choix plus limité d'essences, l'application n'apporte rien de plus, parce certaines données ne sont pas renseignées sur certaines essences, comme le modèle du chêne sessile pas assez complet en région Centre-Val de Loire. Cela est une limite actuelle dans l'appui aux conseils à donner aux propriétaires ; cependant, il est clair que l'outil n'est pas là pour remplacer notre expérience et expertise.

### Quels sont les atouts de l'outil et ses faiblesses ?

**BV :** BioClimSol est un outil en devenir ; j'ai bien compris que c'est à nous, utilisateurs, d'enrichir cette base de données. L'outil est prometteur, cependant aujourd'hui il n'est pas assez complet pour être efficace. Des essences importantes ne sont pas proposées, alors que selon notre diagnostic, elles sont adaptées aujourd'hui. J'utilise cet

outil et je réfléchis avec mes connaissances, et je complète avec d'autres informations pour certaines essences, qui seraient adaptées au climat futur. L'application est très bien conçue, facile d'utilisation, assez instinctive, y compris pour la description de paramètres pointus comme ceux de pédologie.

### Quels développements ou évolutions bénéfiques à envisager ?

**BV :** Un axe à développer est l'intégration de données sur certaines essences et les stations, par des mises à jour régulières de l'outil. Sur telle station, l'outil indique un risque modéré sur une essence, par contre dans le scénario + 2 °C, il confirme l'augmentation ou non du risque. En région Centre-Val de Loire, le chêne sessile est l'essence phare dans tous les boisements feuillus. Pour certains projets où l'implantation du chêne sessile présente un risque variable, il est important d'ajuster sa proportion à ce risque.

Quand des essences extraordinaires inconnues sont proposées, cela pique la curiosité : « d'où ça vient ? ». Cela enrichit nos connaissances, car elles feront partie de la solution indéniablement.

La fiche de résultat devrait plus refléter l'incomplétude actuelle du modèle de l'application. Un document, dans lequel n'apparaît pas l'essence que nous proposons, et que d'autres essences inconnues sont proposées, cela est délicat vis-à-vis du propriétaire.

Pour être un outil utile avec lequel on puisse communiquer, nous gestionnaires, elle manque encore de données.

### Votre regard sur BioClimSol en 3 mots

**BV :** BioClimSol : un outil d'avenir, j'y crois vraiment ! ■

<sup>2</sup> La Ménagerie –  
45230 La Bussière  
[www.forestierechasseval45.com](http://www.forestierechasseval45.com)

# BioClimSol, fruit de collaborations passées et surtout futures



Par Éric Sevrin, directeur de l'IDF

Après la lecture de ce dossier, il vous reste à faire réaliser par votre gestionnaire ou conseiller, des diagnostics BioClimSol.

## Fruit de mobilisations de longue haleine

Pour en arriver là, quel travail et mobilisation réalisés par les équipes du Centre national de la propriété forestière : cette démarche exemplaire démontre bien les synergies entre l'IDF, les CRPF et le service du développement numérique, sans oublier les équipes administratives sollicitées pour le suivi des nombreuses conventions depuis 2009, et nos partenariats extérieurs ! L'originalité initiale, c'est de chercher les facteurs influençant les dépérissements. Les cas d'études n'ont malheureusement pas manqué depuis...

Beaucoup de temps et d'énergie ont été nécessaires pour appliquer une méthodologie de relevés sur le terrain sur 14 essences et trouver des financements locaux. Il a fallu ensuite :

- compiler les résultats pour aboutir aux indices BioClimSol ;
- travailler sur les données de Météo-France, d'AgroParisTech et de l'IGN ;
- creuser plus de 150 fosses profondes pour établir de nouveaux concepts de mesures de réservoir utile en eau ;
- construire des modèles complexes de risque de dépérissement prenant en compte un très grand panel de variables (et leurs interactions) intervenant significativement dans le risque de dépérissement ;

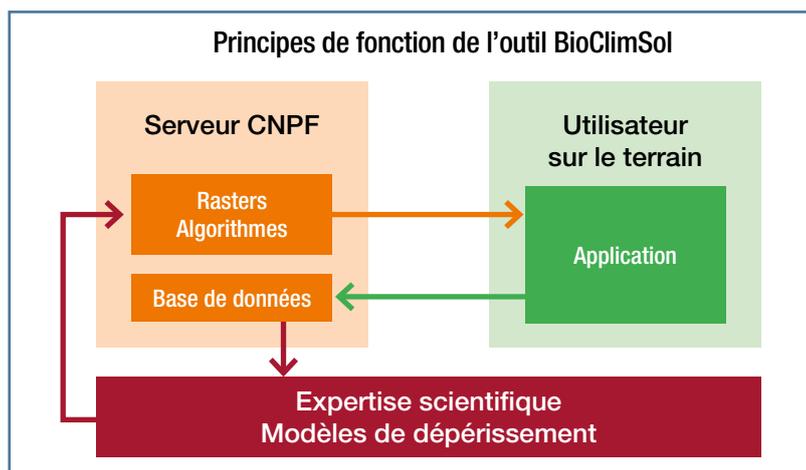
► proposer pour plus de 30 essences ne disposant pas de modèle de dépérissement, des modèles de niches pédoclimatiques. Un programme Life FORECCAsT piloté par le Parc naturel régional du Haut-Languedoc a concrétisé le développement de l'application numérique. L'application *FORECCAsT by BioClimSol* se caractérise par la réalisation d'un diagnostic à la parcelle pour les peuplements en place ou lors du renouvellement : c'est l'innovation. Comme pour d'autres outils, une formation est nécessaire pour comprendre sa construction et bien interpréter les résultats obtenus, avec un regard critique grâce à la connaissance du terrain des utilisateurs. Sa vocation est d'être diffusée aux gestionnaires et forestiers, auprès de l'enseignement forestier supérieur, puis aux groupes de progrès de la forêt privée. BioClimSol est également un outil de planification grâce aux cartes de vigilance qu'il génère.

## Perspectives

Réaliser un tel outil numérique, c'est une élaboration continue pour l'améliorer, le sécuriser, le mettre à jour (données météo, amélioration des différents indices...), compléter la liste d'essences, apporter de nouveaux services... L'équipe se renforce ; une stratégie est mise en place pour répondre aux attentes des gestionnaires forestiers et des propriétaires. Les ambitions sont à la mesure de l'enjeu, cependant elles vont nécessiter des moyens conséquents. Une nouvelle organisation en interne éclairera nos décideurs sur les perspectives d'évolution des modèles scientifiques de l'outil. Des actions seront engagées en partenariat pour renforcer la fiabilité des diagnostics. Le déploiement et l'amélioration continue de l'outil nécessiteront de nouveaux financements.

BioClimSol a été primé en 2021 par les Life Awards et par le prix du public du concours ItalnnoV en 2022. Tout le mérite en revient à Jean Lemaire, concepteur de l'outil et aux équipes qui ont participé à ce travail de longue haleine. Loin de nous endormir sur nos lauriers, nous restons mobilisés pour les années à venir.

**Cet outil est collaboratif** : chaque relevé réalisé enrichit la base de données et génère des améliorations aux bénéfices de la communauté des utilisateurs, que nous souhaitons grandissante. Alors à vos tablettes ! ■



# La coupe rase, une pratique ancienne, en discussion aujourd'hui

Par Amélie Castro, CNPF Nouvelle-Aquitaine

*La récolte des arbres fait l'objet de critiques souvent par méconnaissance. Cette opération de gestion, courante et parfois nécessaire durant le cycle d'une forêt, a cependant des avantages par la création d'un effet mosaïque de milieux ouverts favorable à la biodiversité.*

À l'heure actuelle, la gestion forestière fait l'objet d'une forte attention médiatique. Une opération forestière, la « coupe rase », focalise les critiques et suscite des manifestations parfois véhémentes. Dans ces critiques, la coupe rase est présentée comme indissociable d'une « ligniculture industrielle ». Avec la plantation et la mécanisation, la coupe rase est alors un symbole de « l'industrialisation de la forêt française » ou de la « malforêtation », des concepts peu ou mal définis, inexplicables et encore moins étayés d'éléments

factuels, mais suffisamment inquiétants pour garantir une audience attentive à leurs promoteurs. L'inquiétude est d'autant plus forte que les articles et reportages présentent ces pratiques comme destructrices de toutes les composantes de l'écosystème (sol, faune, flore...). Le vocabulaire employé par les forestiers : coupe rase, coupe à blanc, coupe à blanc étoc, coupe définitive, coupe secondaire, coupe d'ensemencement, coupe de régénération, coupe par parquet, exploitation, abat-jauge... compte autant de termes issus du jar-

*Coupe rase dans une peupleraie  
et présence d'une prairie temporaire.*



gon technique, parfois très ancien. Ces mots se confondent en une seule nébuleuse néfaste dans la tête du lecteur (majoritairement urbain) et sont mal perçus.

Certains termes peuvent laisser penser que la forêt ne sera pas renouvelée ou régénérée, qu'elle sera « rasée de façon définitive », transformée, défrichée, construite... animant ainsi le spectre de la déforestation qui détruit les forêts équatoriales dans de nombreux pays. Cette image, lorsqu'elle est combinée à la lecture de critiques violentes dans leur expression, provoque un rejet global, auquel n'échappent pas les coupes d'éclaircie, d'amélioration, de jardinage et autres balivages. Il faut donc se méfier de la façon dont un vocabulaire technique courant et ancien peut être perçu à l'heure actuelle.

Cette présentation négative appelle une analyse détaillée, pour ce qui concerne les coupes rases et notamment leur lien avec la biodiversité. C'est d'autant plus important que ces coupes sont une pratique traditionnelle et ancienne, nécessaire dans certains cas.

### Une pratique ancienne

La coupe des peuplements « arrivés à maturité », entendue comme le prélèvement de tous les arbres d'une parcelle (de taille variable) lorsqu'ils ont atteint des dimensions suffisantes (variables elles aussi) en une seule opération de coupe, est une **pratique sylvicole courante et ancienne pour certains types de peuplements**. Elle fait partie de la famille des coupes de renouvellement.

Les coupes rases constituent des étapes incontournables pour certaines sylvicultures, comme la gestion des taillis simples, des peupleraies, de certaines futaies régulières, pour transformer des peuplements inadaptés ou présentant des problèmes sanitaires graves. En sylviculture courante, hors problème sanitaire ou problème de gestion, c'est une opération préalable au renouvellement des peuplements, adaptée pour les essences d'arbre à caractère héliophile comme les pins, les peupliers, les bouleaux...

La coupe rase de tous les arbres affectés par une maladie ou un insecte est un moyen pour enrayer la propagation du problème sanitaire, en l'absence – et c'est très généralement le cas en forêt – de traitement. Elle est alors souvent assortie de prescriptions sanitaires comme l'exportation, l'écorçage ou le broyage des bois abattus. Il s'agit donc d'un outil de gestion, parmi de nombreux autres.

La coupe rase peut aussi être le résultat de perturbations naturelles ou accidentelles :

vent, incendie, parasites, sécheresse... qui interviennent régulièrement dans les cycles forestiers.

### Un effet de coupe rase variable

Comme toutes les opérations forestières, cette pratique a des inconvénients, mais aussi des avantages. La suppression temporaire du couvert n'est pas favorable pour certaines espèces forestières, adaptées aux conditions d'ombre et d'humidité. Cet aspect est largement mis en avant dans les critiques. Cependant, la coupe permet aussi la **création de milieux ouverts temporaires favorables, pendant plusieurs années après la reconstitution du jeune boisement, à de nombreuses espèces, avides de lumière et de chaleur**. C'est le cas d'espèces landicoles : fadet des laïches (van Halder, Barbaro et Jactel, 2011), engoulevent (Paquet *et al.*, 2006), fauvette pitchou (Deuffic *et al.*, 2020) pour ne citer que quelques espèces à fort enjeu de conservation.

Avec les autres coupes de renouvellement, les coupes rases fournissent aussi à certaines espèces des milieux contrastés pour nicher et se nourrir. Elles permettent aussi la création de lisières intra-forestières, entre milieu forestier fermé et milieu ouvert temporaire, où se développe une flore herbacée, voire arbustive plus héliophile. Ces lisières fonctionnent comme des écotones<sup>1</sup> et des zones de nourrissage. La huppe fasciée chasse ainsi les larves de chenille processionnaires dans les coupes et leurs lisières et niche dans les peuplements feuillus (Barbaro *et al.*, 2008). Les coupes de renouvellement sont un élément important d'une **mosaïque forestière diversifiée**, d'autant plus que le massif forestier est étendu : aspect paysager qui permet d'avoir des zones de dégagement.

### Des conditions de réalisation déterminantes

Comme pour toutes les opérations, il y a des **risques** associés aux coupes de renouvellement, qu'il convient d'évaluer et de prendre en compte. Car, même si les effets des coupes rases sont souvent peu importants et fugaces dans le temps (Barthod *et al.*, 1999), réaliser une coupe avec des pratiques ou du matériel inadaptés peut avoir des conséquences importantes dans certains contextes, notamment sur le sol.

Lorsque la coupe se justifie au regard de la gestion forestière, **ces précautions permettent de limiter certains risques environnementaux** : dimension et fréquence des coupes adaptées en fonction du contexte,

<sup>1</sup> Zone d'interface marquant la frontière entre deux écosystèmes (Bastien Y., Gauberville C., 2011. *Vocabulaire forestier*, CNPF-IDF, Paris, 608 p.).

## Diversité $\beta$ et mosaïque paysagère

La diversité  $\beta$  exprime la variation d'espèces et d'abondance entre les différents milieux qui composent un paysage. Elle fait l'objet de moins d'études et d'attention que la classique diversité  $\alpha$  (diversité au sein d'un milieu homogène : parcelle). Pourtant, elle joue un rôle important dans le fonctionnement global des écosystèmes et de la diversité des espèces végétales et animales qui les composent.

Elle traduit l'importance de prendre en compte différentes échelles spatiales (et temporelles) pour pouvoir appréhender la biodiversité : différents milieux forestiers et non forestiers, différents types de peuplements qui composent le massif forestier, aux différents stades de développement se succédant dans un même type de peuplement forestier. Les coupes s'intègrent dans cette dernière composante.

Le rôle de la mosaïque dans l'expression de la diversité  $\beta$  permet d'expliquer les résultats des études scientifiques qui comparent les effets de différents modes de gestion. Celles-ci ne font pas apparaître de différence significative en termes de richesse spécifique et soulignent plutôt des effets différents (Nolet *et al.* 2018 ; Schall *et al.* 2018).

## La mosaïque, favorable à la biodiversité



Amélie Castro © CNPFP

*Fadet des laïches, papillon diurne dont la plante hôte est la molinie, présent dans les Landes de Gascogne où les coupes et jeunes boisements sont un habitat secondaire important.*

L'effet mosaïque de certains massifs a été reconnu comme favorable à la biodiversité pour des groupes d'espèces comme l'avifaune, l'entomofaune ou les chiroptères dans différents contextes nationaux, européens ou mondiaux (Forsman *et al.* 2010; Loeb et O'Keefe 2011 ; Nolet *et al.* 2018 ; Schall *et al.* 2018 ; van Halder *et al.* 2011 ; Thirion, 2005). Cet effet peut être accentué suivant l'origine du massif forestier, notamment lorsqu'il s'est développé sur des milieux anciennement défrichés pour des usages agropastoraux.

Dans les grands massifs anciennement acquis en grande partie sur des landes comme les Landes de Gascogne ou la Sologne, mais aussi sur les terres agropastorales abandonnées qui ont évolué plus récemment vers la forêt, par boisement volontaire ou spontané, il y a un intérêt certain, pour le maintien de certains cortèges faunistiques et floristiques, à avoir en forêt des mosaïques paysagères intégrant les milieux ouverts temporaires induits par les

coupes de renouvellement. Sur ces anciennes landes devenues forestières, la mosaïque permet la persistance des espèces landicoles héritées des anciens usages et l'accueil des espèces forestières favorisées par les boisements.

L'intérêt n'est toutefois pas limité à ces forêts. La plupart d'entre elles servent de refuge à ces cortèges faunistiques et floristiques associés aux milieux ouverts et il ne faut pas négliger les espèces forestières qui utilisent, à un moment de leur cycle, les ouvertures liées aux coupes.

Cette approche n'est pas antagoniste des préconisations sur la conservation des milieux ouverts permanents au sein des massifs (landes, tourbières, mares, pelouses...). Ces milieux interstitiels représentent des surfaces faibles, jouent un rôle de réservoir et leur entretien est souvent coûteux. Cependant, il est probable que se limiter à ces seules surfaces, en négligeant l'apport complémentaire des coupes et régénérations forestières ne serait pas suffisant pour produire un espace vital permettant de maintenir les populations. Le maintien de milieux ouverts permanents (landes, pelouses ou prairies) implique des opérations de maîtrise de la végétation arbustive ou arborée dont le coût n'est pas négligeable pour la collectivité, s'il n'est plus assuré par une activité économique. S'il fallait entretenir la même surface de milieux ouverts que celle engendrée par les coupes dans les Landes de Gascogne, il faudrait investir a minima 5 500 000 €/an. L'effort financier direct serait alors considérable, pour maintenir ce qui ne coûte rien à la collectivité à l'heure actuelle et s'intègre dans une gestion forestière multifonctionnelle.

Il n'y a donc pas lieu d'opposer ces différents types de sylviculture mais plutôt d'en explorer les complémentarités. La sylviculture régulière avec renouvellement par coupe rase peut trouver sa place au sein de massifs gérés suivant d'autres modes, et doit être réalisée de façon raisonnable, dans des contextes adaptés. Cependant, pour paraphraser Marion et Frochot (2001) qui ont travaillé sur l'avifaune dans les forêts de douglas dans le Morvan, l'abandon total des coupes rases, qui initient certains cycles forestiers, entraînerait la disparition des milieux ouverts temporaires utilisés par différentes espèces, dont certaines représentent un enjeu patrimonial fort. Ceci pourrait réduire notablement la richesse spécifique et l'intérêt ornithologique de certaines forêts toutes entières.



Amélie Castro © CNPFP

*Coupe rase de pinède en attente de reboisement dans les Landes de Gascogne. Les sylviculteurs observent un délai d'au moins deux ans entre la coupe et le reboisement dans les Landes de Gascogne, pour éviter les attaques d'hylobe sur les jeunes plants. Ce milieu est favorable au fadet des laïches.*

choix de la période d'intervention, choix du matériel et parcours délimité pour éviter ou limiter les impacts sur le sol, maintien de certains éléments structurants pour la protection des sols ou la biodiversité...

Les impacts paysagers des coupes rases, lorsqu'ils sont négatifs, peuvent être limités par un certain nombre de pratiques comme la forme des coupes, lorsque c'est possible. Le maintien de certains espaces de diversification peut favoriser l'intégration de l'opération dans la mosaïque paysagère. Le maintien des ripisylvies peut jouer ce rôle tout comme des îlots de sénescence, par exemple. Ces bonnes pratiques existent et doivent être encouragées.

L'une des premières questions est **la taille des coupes**.

Suivant certaines études scientifiques, qui se sont intéressées à l'effet de la taille des coupes sur la biodiversité, dans les coupes de moins de 10 ha, les effets positifs (lisières, ouverture et lumière), sont supérieurs aux effets négatifs, y compris pour certaines phases du cycle de vie d'espèces associées aux forêts fermées. Dans les coupes d'une taille supérieure, l'ambiance forestière ne peut se maintenir mais elles accueillent aussi des espèces d'oiseaux spécialistes des milieux ouverts herbacés ou arbustifs, à grand domaine vital, qui s'y reproduisent, surtout si la technique de reconstitution du peuplement permet la recolonisation spontanée de la végétation (Barbaro *et al.*

2005 ; Urbina-Tobias 2014). Les coupes de trop petite taille ne permettent pas l'installation de ces espèces, ni le brassage génétique au sein de leurs populations.

### Une surface moyenne de coupe inférieure à 4 ha

Sur le cycle d'inventaire forestier 1980-1988, la surface annuelle des coupes fortes (coupes de plus de 50 % des arbres dominants) représentait 0,7 % de la surface boisée nationale et les coupes rases concernaient un tiers de cet ensemble. Le taux était plus élevé dans les Landes de Gascogne, où la sylviculture du pin maritime est bien présente, mais restait limité à 1,1 %. Ces chiffres sont restés stables sur les périodes suivantes (IFN 1995, 2000, 2010, 2015, 2020). Les situations de crise (incendies, tempêtes, attaques sanitaires) influent sur ces bilans. Les données issues de la télédétection permettent d'estimer la taille moyenne des coupes rases dans le massif des Landes de Gascogne en 2005-2006 (Étude CIBA). Elle est de 5,1 ha en gestion courante hors crise. Suivant ces données, 87 % des coupes font moins de 10 ha. Les coupes d'une taille supérieure à 10 ha sont donc peu fréquentes.

En dehors du contexte des Landes de Gascogne, **la taille moyenne est nettement plus faible, majoritairement inférieure à 4 ha**. À l'heure actuelle, il n'y a pas d'indice montrant une tendance à l'augmentation de la taille des coupes en gestion courante.

*Coupe rase de pinède dans les Landes de Gascogne en attente de reboisement, avec la présence des chênes et d'une lande temporaire.*





Fauvette pitchou,  
aquarelle d'Amélie Castro.

Les opposants à la coupe rase citent des pays où elles sont fortement réglementées (Autriche, Suisse, notamment). Il convient de se rappeler que ces pays sont montagneux, avec un fort risque d'érosion et d'avalanche. En Suisse, où les coupes rases sont interdites, l'étude des conséquences de perturbations naturelles (incendies) sur l'avifaune a montré que les parcelles incendiées étaient colonisées par des espèces spécifiques, souvent protégées et considérées comme menacées. Les stades de régénération de la végétation après incendie étaient les plus favorables. Ce résultat, obtenu pour une perturbation naturelle, rejoint ceux obtenus pour les coupes dans d'autres contextes.

Utilisées de façon raisonnable, avec des modes opératoires et dans des contextes adaptés, ces coupes de renouvellement sont aussi un élément de diversité, inséré dans une mosaïque. L'abandon total de ces coupes pourrait réduire notablement la richesse spécifique de certains massifs. ■

## Bibliographie

- Barbaro Luc *et al.*, 2008. Multi-scale habitat selection and foraging ecology of the Eurasian hoopoe (*Upupa epops*) in pine plantations. *Biodiversity and Conservation*, 17(5):1073-87.
- Barbaro Luc *et al.*, 2005. Comparative responses of bird, carabid, and spider assemblages to stand and landscape diversity in maritime pine plantation forests. *ECOSCIENCE*, 12(1):110-21.
- Barthod Christian *et al.*, 1999. Coupes fortes et coupes rases dans les forêts françaises. *Revue Forestière Française*, 1999(4):469-86.
- Bretagnolle V. (coord.) et coll., 2020. Ecobiose - Le rôle de la biodiversité dans les socio-écosystèmes de Nouvelle-Aquitaine. Rapport de synthèse, 378 p. Chizé et Bordeaux, France. Pages 142 et 160.
- Forsman Jukka T. *et al.*, 2010. The Effects of Small-Scale Disturbance on Forest Birds: A Meta-Analysis. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(9):1833-42.
- van Halder, Inge, Barbaro Luc, & Jactel Hervé, 2011. Conserving Butterflies in Fragmented Plantation Forests: Are Edge and Interior Habitats Equally Important? *Journal of Insect Conservation*, 15(4):591-601.
- Loeb Susan C., & Joy M. O'Keefe, 2011. *Bats and Gaps: The Role of Early Successional Patches in the Roosting and Foraging Ecology of Bats*. P. 16789 in: *Sustaining Young Forest Communities*. Vol. 21, édité par C. Greenberg, B. Collins, et F. Thompson III. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Marion Pierre, et Frochot Bernard, 2001. L'avifaune nicheuse de la succession écologique du sapin de Douglas en Morvan (France). *La Terre et la Vie - Revue d'écologie*, 56:53-79.
- Nolet Philippe, Kneeshaw Daniel, *et al.*, 2018. Comparing the Effects of Even- and Uneven-Aged Silviculture on Ecological Diversity and Processes: A Review. *Ecology and Evolution*, 8(2):1217-26.
- Schall Peter *et al.*, 2018. The Impact of Even-Aged and Uneven-Aged Forest Management on Regional Biodiversity of Multiple Taxa in European Beech Forests Édité par A. Mori., *Journal of Applied Ecology*, 55(1):267-78. doi: 10.1111/1365-2664.12950.
- Urbina-Tobias Patrice, 2014. Habitat de la Fauvette pitchou *Sylvia undata* dans les Landes de Gascogne au cours de la saison de reproduction. *Le casseur d'os*, 14:92-109.
- Thirion Camille, 2005. Regards naturalistes sur la coupe à blanc — 1<sup>re</sup> partie. *Silva Belgica*, 112(2), 27-33.
- Wegiel Andrzej *et al.*, 2019. The Foraging Activity of Bats in Managed Pine Forests of Different Ages. *European Journal of Forest Research*, 138(3):383-96. doi: 10.1007/s10342-01901174-6.

### Résumé

La coupe rase est un acte de gestion pratiqué depuis longtemps dans les taillis, les peupleraies et certaines futaies régulières. À l'échelle nationale, elles sont peu fréquentes et peu étendues dans la gestion courante. L'effet sur l'environnement dépend du contexte et des conditions de réalisation. Les coupes rases peuvent avoir un rôle positif pour la biodiversité lorsqu'elles contribuent à la mosaïque des milieux forestiers.

**Mots-clés** : sylviculture, futaie régulière, biodiversité, coupe rase.



# Digitalisation des forêts

## Sylvamap poursuit le développement de ses services

*La digitalisation de la gestion des forêts françaises progresse ! Depuis 10 ans, Sylvamap développe des outils, destinés aux propriétaires forestiers et aux professionnels pour faciliter la conduite de la sylviculture à l'heure du tout numérique. L'objectif est d'améliorer significativement la transmission d'informations entre les parties prenantes et entre les générations, au service de la gestion durable des forêts.*

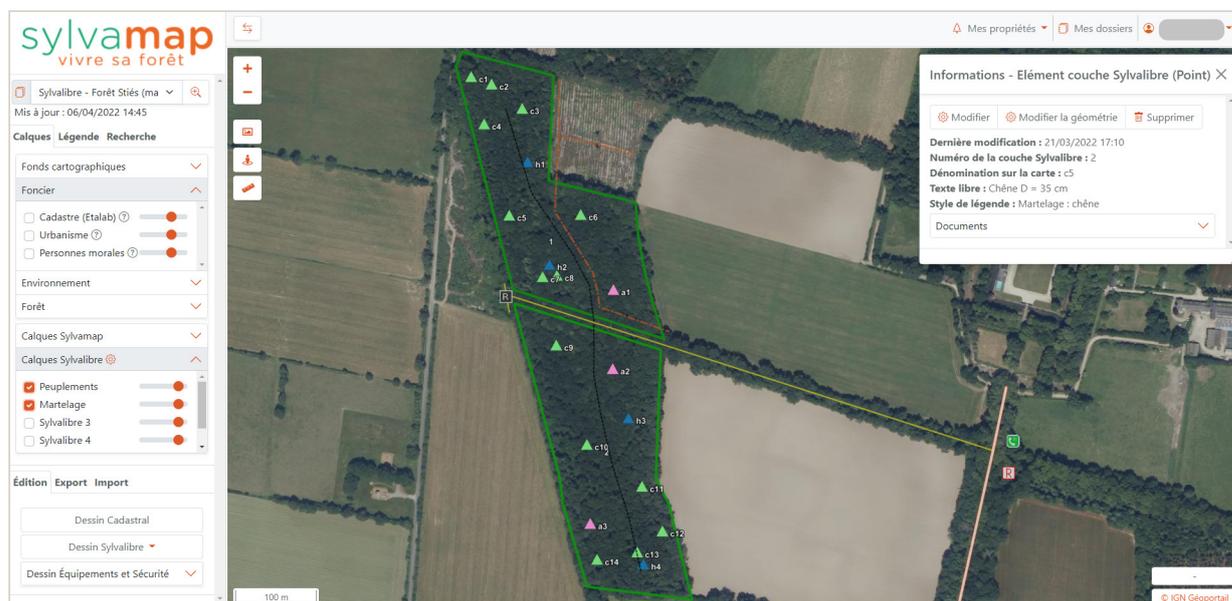
Après avoir propulsé la forêt dans le digital à sa création en 2011, Sylvamap continue de développer des solutions innovantes pour accompagner les forestiers : cartographie, rédaction de document de gestion durable (PSG, RTG, CBPS), suivi des coupes et travaux, et transmission vers le CNPF. Alban Le Cour Grandmaison, directeur de Sylvamap, explique : « *Le sylviculteur est confronté à un dilemme : respecter le rythme de la forêt qui s'étale sur plusieurs décennies et orchestrer le quotidien qui demande beaucoup de disponibilité et d'implication terrain. Pour épauler les propriétaires et les gestionnaires dans ce savant équilibre, Sylvamap*

*s'applique à ce que chaque acte sylvicole et administratif puisse être facilité et tracé ». Plus récemment, avec la publication en Open Data par le gouvernement des comptes de propriété des personnes morales, Sylvamap est en mesure de cartographier les contours de plus de 9 000 groupements forestiers, et propose une prise en main gratuite pour se familiariser avec les outils.*

À chaque étape de la gestion d'une forêt, une solution Sylvamap facilite les opérations :

► **La cartographie** : les propriétaires et les gestionnaires peuvent s'appuyer sur l'outil « Sylvalibre » pour cartographier librement leurs parcelles et les partager facilement

*La cartographie facilitée grâce à Sylvalibre, un service de Sylvamap.*



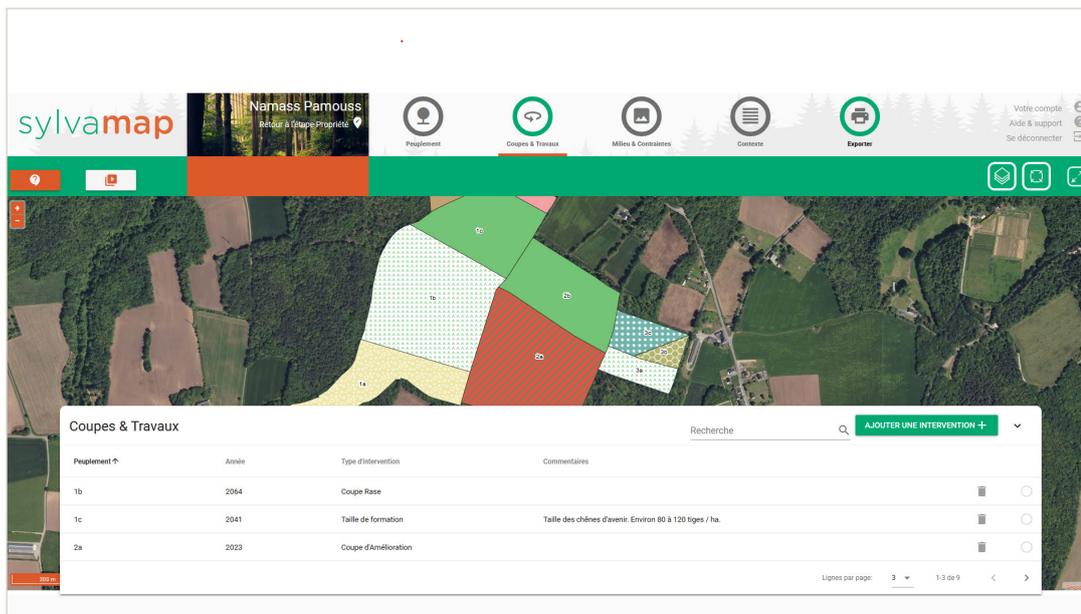


Tableau des coupes et travaux facile avec Hubert.

avec les parties prenantes. Cet outil permet entre autres de préparer les visites terrain, dématérialiser les martelages ou encore assurer le suivi sanitaire des forêts.

► **La rédaction et la télétransmission :** « Hubert » est l'offre de service dédiée aux documents de gestion durable (DGD). L'outil permet au rédacteur de concevoir le DGD en ligne, le tout étant ensuite télétransmis au CNPF. « À noter que la télétransmission se fait dans le respect de la protection des données personnelles. Les exportations des données prennent en compte uniquement les données nécessaires pour l'agrément » commente Alain Posty, responsable du développement numérique du CNPF.

► **Le suivi :** une fois les parcelles cartographiées et le DGD numérisé, Sylvamap propose un service pour assurer le suivi des échéances, des dépenses et des recettes. Réunis au sein d'un espace collaboratif, les gestionnaires, les propriétaires et les ayants-droits peuvent suivre à distance la gestion administrative, l'économie sylvicole et l'historique des opérations sylvicoles de la propriété.

Pour éviter de tomber dans le piège du tout digital, qui entraîne une perte du lien humain, Sylvamap met en place une hot-line pour permettre au rédacteur du DGD d'être assisté par téléphone. « Vous n'êtes jamais tout seul face à l'écran, nos cartographes-géomaticiens sont continuellement joignables pour répondre à vos questions » précise Alban Le Cour à destination des rédacteurs de DGD, qui souhaitent utiliser le service « Hubert ».

« La télétransmission des documents de gestion durable du CNPF est un chantier difficile à

mener compte tenu de la multitude de formats existants. Chaque société rédactrice d'un DGD agence les données différemment. Sylvamap a été précurseur pour penser son outil et le rendre compatible au regard de notre organisation interne au CNPF. Nous avons travaillé efficacement et en moins de 6 mois nous avons concrétisé l'interfaçabilité. Au-delà de l'aspect gain de temps et sécurité, la comptabilité des données entre le CNPF et Sylvamap garantit également leur justesse en évitant toutes les fautes de saisies » précise Alain Posty.

L'enjeu de digitalisation des documents de gestion durable (DGD) demande un investissement, car il faut repenser les méthodes de travail. C'est cependant le meilleur moyen de permettre aux techniciens de passer plus de temps au contact des propriétaires et sur le terrain. ■

Une offre de rédaction de votre PSG via le service HUBERT de Sylvamap : 3€ HT l'hectare réglable une fois la procédure aboutie.

<https://www.sylvamap.fr/rediger-mon-document-de-gestion-durable/>



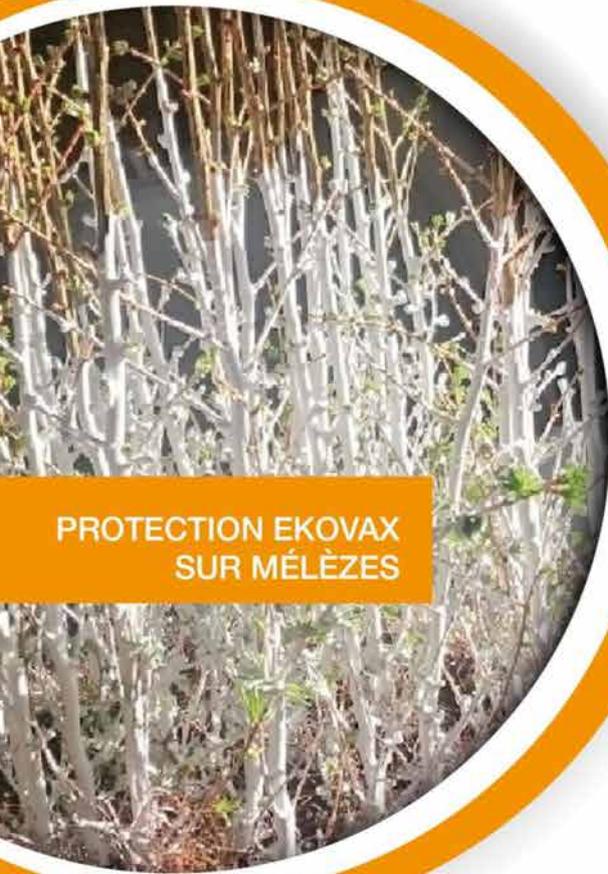
# EKOVA X®

## EKOVA X

### Solution naturelle contre les hylobes

Barrière physique, à base de cire, qui enrobe et protège les plants en racines nues du collet jusqu'à 2/3 de leur hauteur.

Une solution reconnue dans les essais officiels depuis 3 ans.



PROTECTION EKOVA X  
SUR MÉLÈZES



Solutions & Plants

Solutions naturelles  
en pépinières et forêts



# TRICO®

## TRICO

### Biocontrôle contre les cervidés

Répulsif à action OLFACTIVE et gustative.  
Reconnu par toute la profession forestière pour sa facilité de mise en œuvre et son efficacité.



PROTECTION TRICO  
SUR DOUGLAS



Solutions & Plants



06 02 06 42 43



smigot@solutions-plants.com



Tous les détails sur [www.solutions-plants.com](http://www.solutions-plants.com)

## Titre

Rejets de chêne pubescent  
d'une saison de pousse,  
recouverts d'oïdium

## L'auteur :

Joël Perrin



Technicien au CRPF PACA dans le Var, il a longtemps travaillé dans le Limousin. Depuis 2018, il est correspondant-observateur du DSF.

*Je prends beaucoup de photos pour illustrer mes activités. L'appareil photo est donc pour moi un outil de travail, mais je n'ai aucune technique et n'ai pas pris le temps de me former. Avec le numérique, on peut mitrailler : il en reste toujours quelque chose.*

*Je suis attentif au cadrage et j'essaie de faire de belles photos, au feeling. J'aime les photos insolites, contrastées, qui attirent le regard.*

## Commentaire de la photo :

Lors d'une visite de suivi de PSG à Aiguines, 1 an après une coupe de taillis de chêne pubescent, les rejets étaient couverts du feuillage blanc-gris de l'oïdium, révélant le contraste du jaune vif des cochenilles dans un ensemble gris, en toute simplicité.



# La taille des arbres d'ornement

## Architecture - Anatomie - Techniques

2<sup>e</sup> édition entièrement revue et mise à jour

Christophe Drénou

Partant du principe que la taille ne doit pas être systématique mais doit résulter d'une démarche méthodique, l'auteur propose des raisonnements adaptés à la diversité des cas rencontrés sur le terrain ainsi qu'un vocabulaire simplifié. Ce guide comprend 34 analyses de cas concrets et un glossaire de près de 250 termes. Cette nouvelle édition intègre les dernières connaissances en architecture et anatomie végétales, avec la collaboration de spécialistes du monde entier. Largement illustré de photos et de dessins techniques, c'est l'outil indispensable de tous ceux dont l'arbre est le métier ou la passion.

320 pages, format 16 x 24 cm.

Réf. : ID125

29 €\*

\* plus frais de port



La collection complète « C. Drénou »  
*L'arbre au delà des idées reçues,*  
*Les racines, La taille des arbres d'ornement, 2<sup>e</sup> édition*

Réf. : ID127

94,50 €\*

\* plus frais de port

