

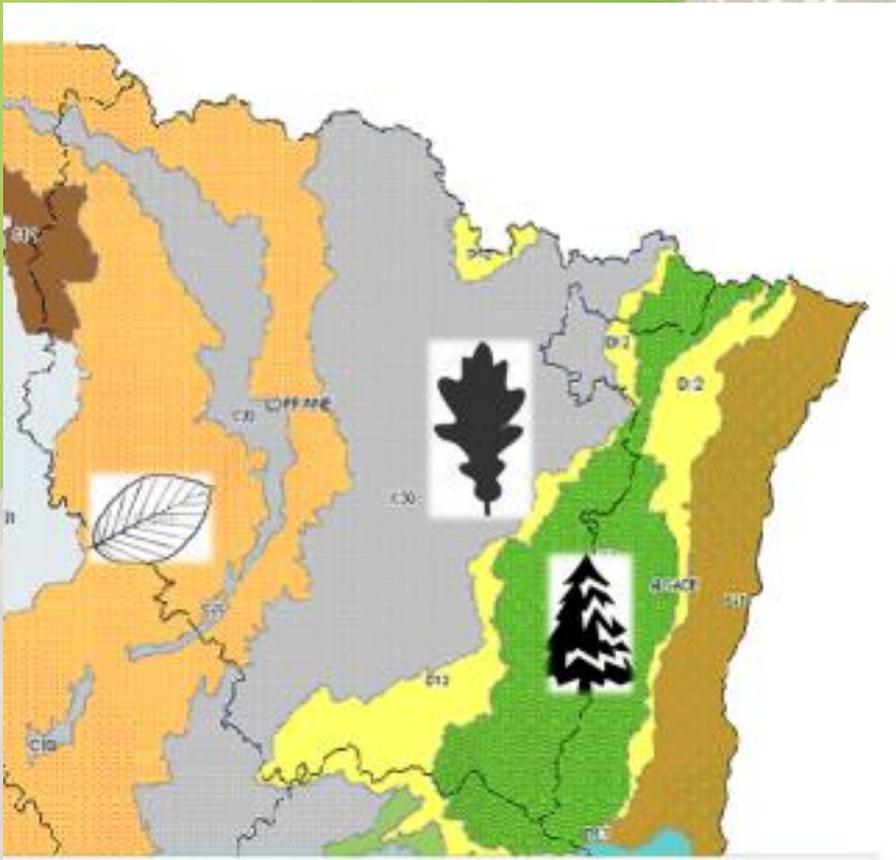
Association Forestière des Vosges du Nord
*« Les dépérissements des forêts » - Des outils de
diagnostics pour construire la forêt de demain*
Zoom sur BioClimSol



Changement climatique et impacts sur la forêt

- Changement de productivité
 - Crises climatiques et biotiques : épidémie scolyte, dépérissements
- Evolution des conditions de gestion : période de portance des sols, difficultés de régénération, multiplication des crises
- Déplacement des aires de répartitions : insectes et maladies des arbres, espèces végétales
 - A terme mise en difficulté de certaines essences forestières ???

Des contextes plus vulnérables



- Les résineux : épicéa et crise scolyte, dépérissement de sapin sur massif vosgien
- Hêtraies sur plateaux calcaires et plateau lorrain en difficulté
- Chênaies mixtes sous pression de la processionnaire

Comment adapter la forêt ?

Il faut diagnostiquer

Agir, anticiper et s'adapter face au changement climatique ... de nombreuses années de recherche pour fournir des outils de diagnostics de terrain pour aider les forestiers :

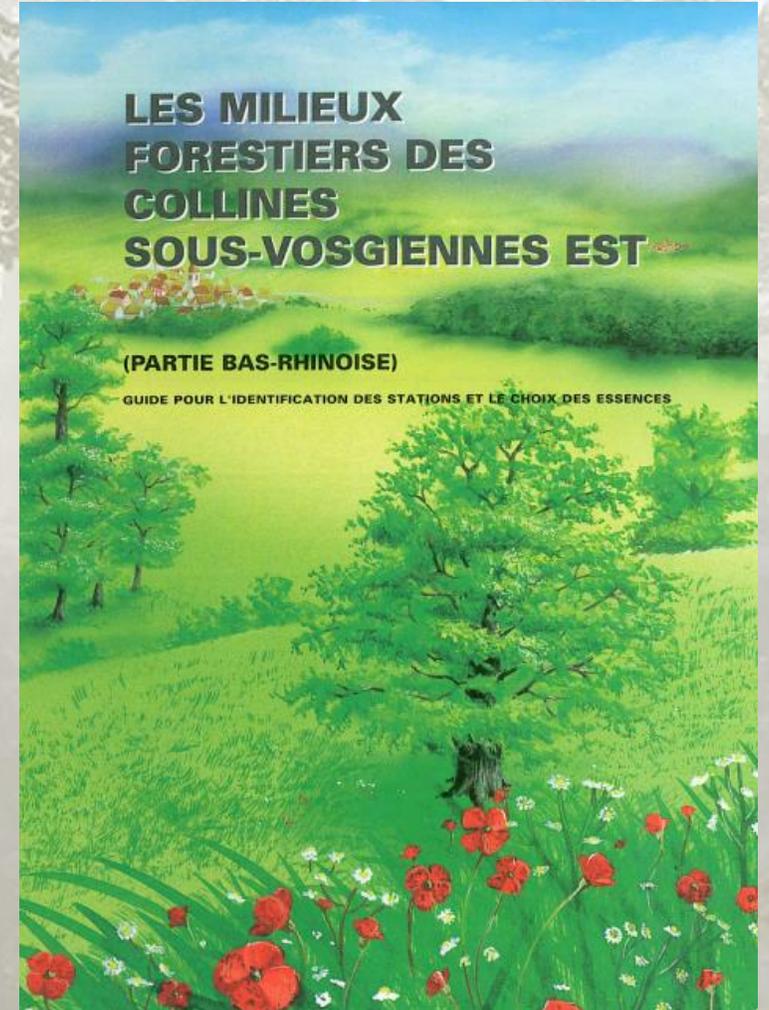
- Quelles essences forestières ?
- Quels itinéraires sylvicoles ?

Présentation de quelques outils d'aide à la gestion :

Septembre 1998 : Guide pour l'identification des stations et le choix des essences « Collines sous-vosgiennes Est »

- Situation topographique
- Etude du sol : hydromorphie, éléments grossiers
- Etude de la végétation : plantes indicatrices

Pas de prise en compte du changement climatique
Mise à jour en cours par CRPF du nouveau guide
« Massif Vosgien »



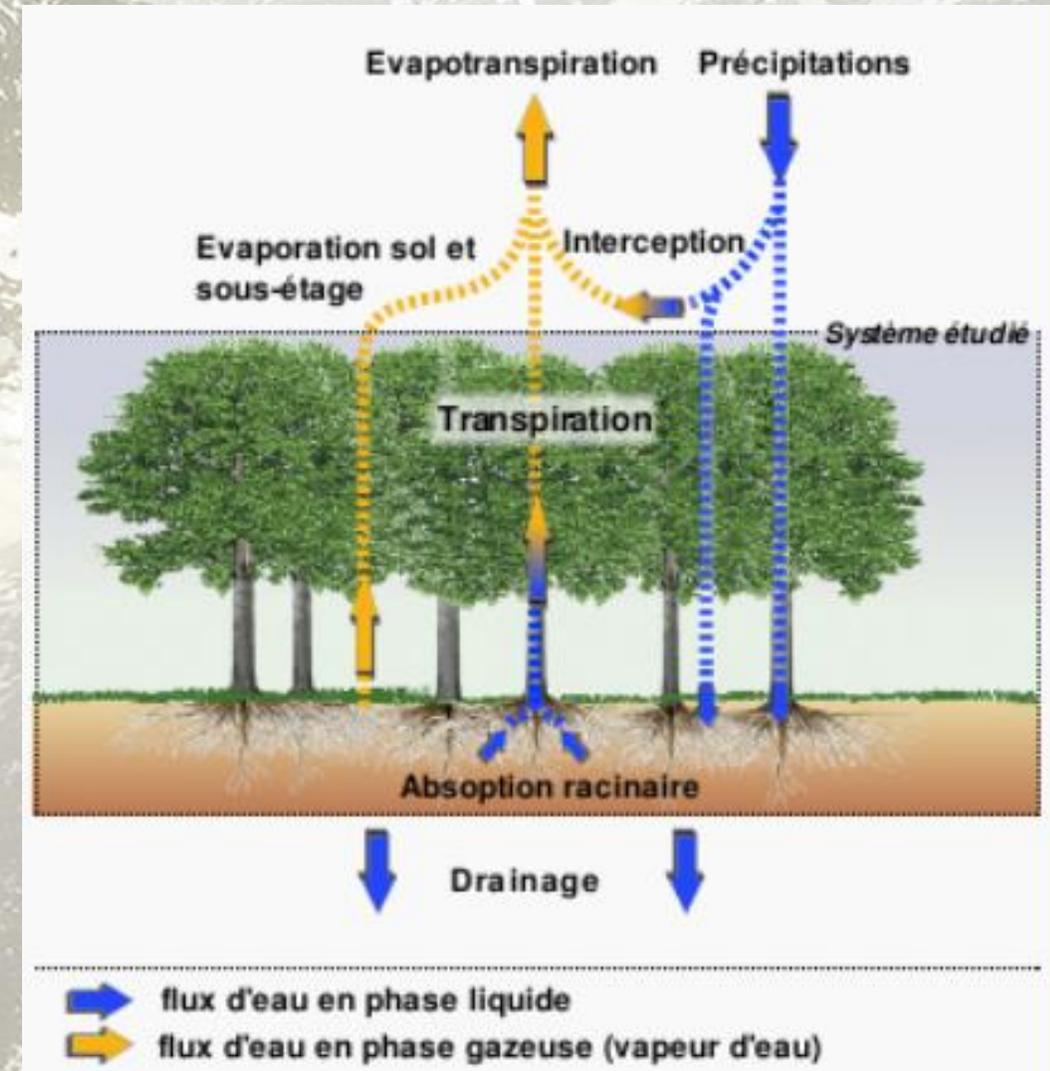
Présentation de quelques outils d'aide à la gestion :

« BILJOU » - Modèle de bilan hydrique forestier – 2009

Besoin de quantifier l'intensité et la gravité d'un déficit hydrique en forêt.

Outil de diagnostic pour quantifier l'impact respectif du climat, du sol, du peuplement et de sa gestion sur les contraintes d'alimentation en eau des arbres.

→ Test scénarios climatiques sensibilité sylvicole et/ou climatique sur la consommation en eau du peuplement



Présentation de quelques outils d'aide à la gestion :

« BILJOU » - Modèle de bilan hydrique forestier – 2009

Données pour créer le modèle :

Coordonnées géographiques, feuillus/résineux, Dates de débourrement et chute des feuilles, Indice foliaire en pleine feuillaison, Nombre de couches du sol (profondeur, RU, Racines fines)

+ fichiers météofrance pour simulation

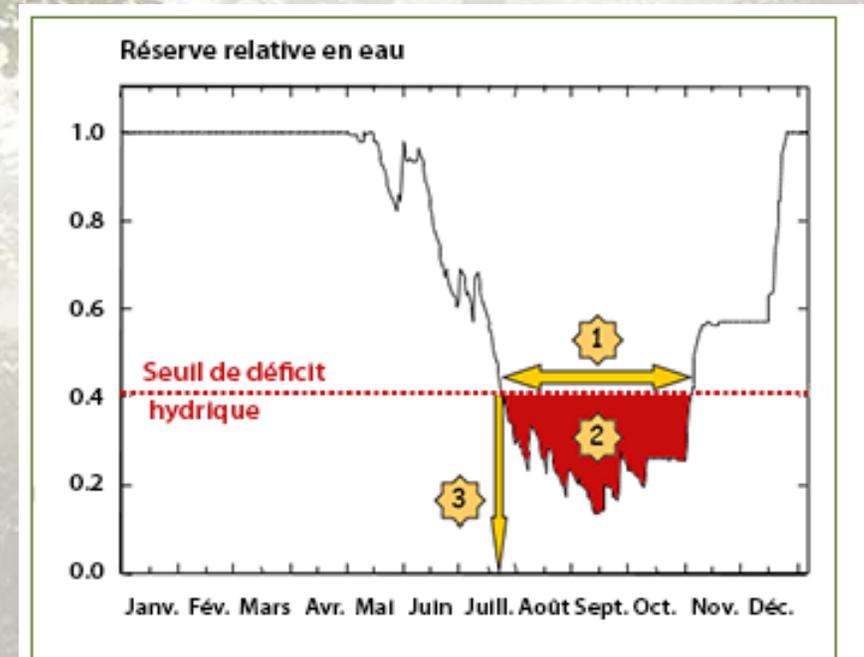


Illustration des trois indicateurs écophysiologiques de sécheresse édaphique décrits ci-contre.

Présentation de quelques outils d'aide à la gestion :

Plateforme « Caravaniks » ONF – 2020/2021

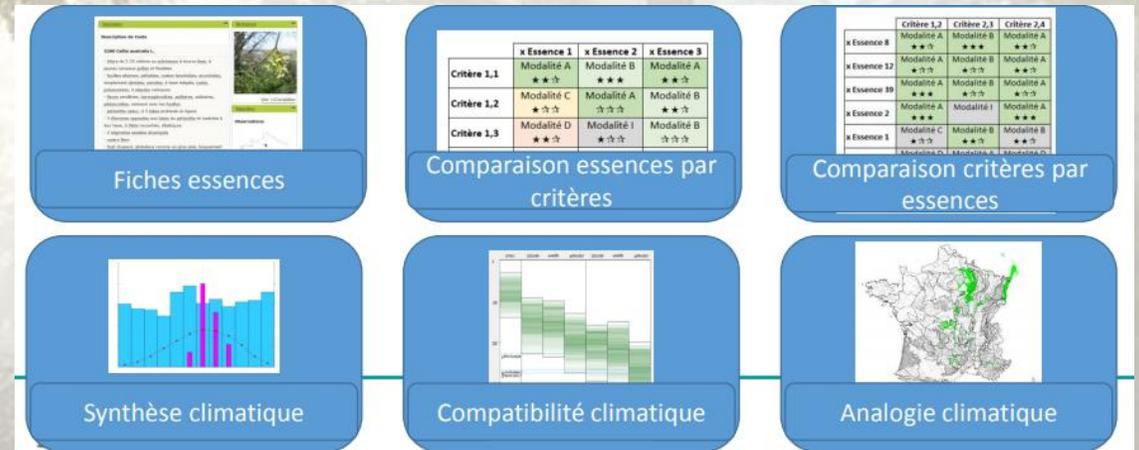
Plateforme en ligne pour « rechercher les essences candidates »

But guider les utilisateurs dans le choix des essences à favoriser dans un contexte de changement climatique parmi :

- Celles en place
- Provenances différentes ou nouvelles essences
- A expérimenter

3 modules principaux :

- Améliorer les connaissances des espèces forestières
- Découvrir des évolutions du climat
- Choisir les essences dans un contexte en évolution



Fiches essences

	x Essence 1	x Essence 2	x Essence 3
Critère 1,1	Modalité A ★★☆	Modalité B ★★★	Modalité A ★★☆
Critère 1,2	Modalité C ★★☆	Modalité A ☆☆☆	Modalité B ★★★
Critère 1,3	Modalité D ★★☆	Modalité I ★★☆	Modalité B ☆☆☆

Comparaison essences par critères

	Critère 1,2	Critère 2,1	Critère 2,4
x Essence 8	Modalité A ★★☆	Modalité B ★★★	Modalité A ★★☆
x Essence 12	Modalité A ★★☆	Modalité B ★★★	Modalité A ★★☆
x Essence 19	Modalité A ★★★	Modalité B ★★☆	Modalité A ★★☆
x Essence 2	Modalité A ★★★	Modalité I ★★★	Modalité A ★★★
x Essence 1	Modalité C ★★☆	Modalité B ★★★	Modalité B ★★★

Comparaison critères par essences

Synthèse climatique

Compatibilité climatique

Analogie climatique

Présentation de quelques outils d'aide à la gestion :



BIOCLIMSOL

Un outil d'aide à la décision dans un contexte de dérèglement climatique

Plus de 10 ans de recherche avec 24 études et 3000 placettes sur le territoire national

Mise en service d'une application mobile et formation des techniciens forestiers début d'année 2021

BIOCLIMSOL – C'est quoi ?

Outil numérique du CNPF pour aider les forestiers dans la gestion du risque de dépérissement dans la conduite des peuplements sur place ou pour le choix des essences en reboisement dans un contexte de dérèglement climatique

BIO pour la prise en compte du vivant (essence, peuplement) via le risque de dépérissement et l'autécologie des essences

CLIM pour la prise en compte du climat

SOL pour la prise en compte des facteurs compensateurs ou aggravants du climat, liés au sol et à la topographie, en particulier la disponibilité en eau

BIOCLIMSOL – Comment ça marche ?

Les données

	Climatiques	Stationnelles	Peuplement
Récoltées par l'utilisateur	-	Pédologie, topographie locale décrite sur la parcelle	Toutes
Téléchargées	Toutes	Modèle numérique de terrain (MNT)	-

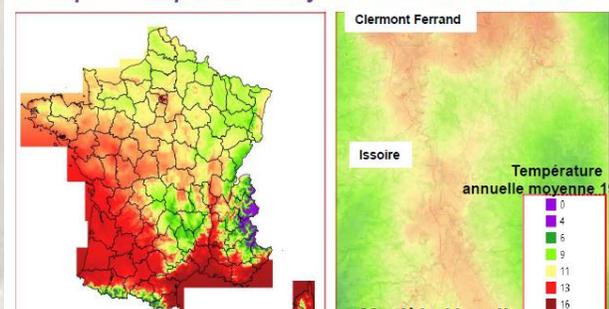


BIOCLIMSOL – Comment ça marche ?

1. Des données climatiques qui collent au terrain

Etabli à partir des données MétéoFrance et d'un modèle d'Agroparistech, le CNPFF a développé un modèle climatique en moyenne trentenaire 1981-2010 à échelle de 50 à 75 m pour une plus grande précision et mieux intégrer l'effet topographie

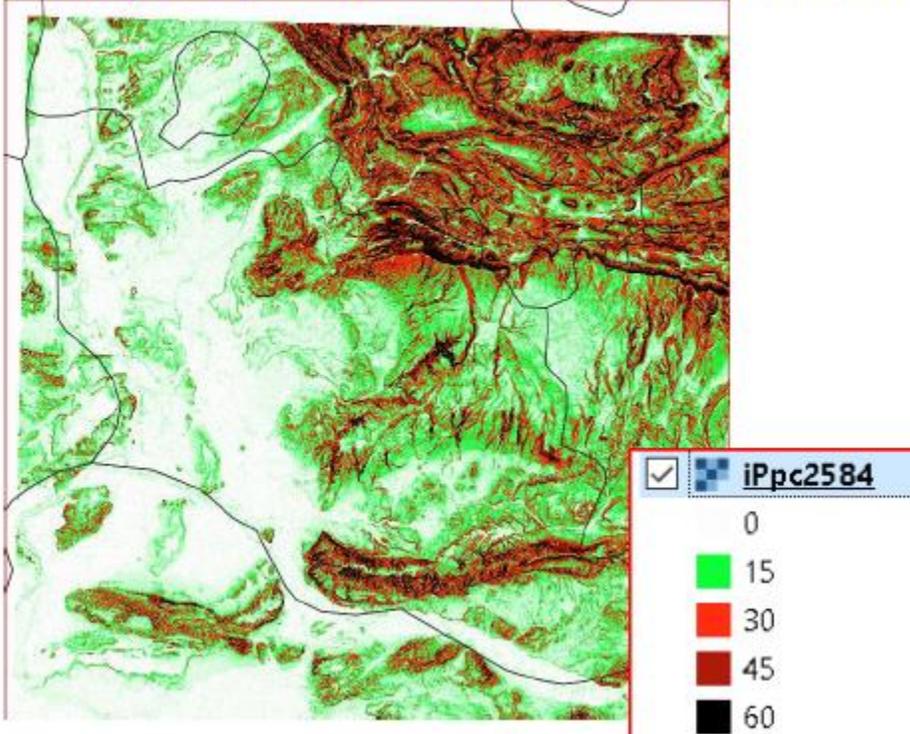
Exemple : Température moyenne annuelle NORMALE 1



Données climatiques		Période concernée
Températures (T)	Température moyenne annuelle Température minimale de janvier Température minimale de mars Température maximale de juin à août	Moyenne trentenaire 1981-2010
	Température minimale absolue sous abri	Extrême de la période 1981-2010
Précipitations (P)	Cumul des précipitations annuelles Cumul des précipitations d'avril à octobre (saison de végétation) Indice de répartition des précipitations dans l'année (saisonnalité)	Moyenne trentenaire 1981-2010
Évapotranspiration potentielle (ETP)	Évapotranspiration annuelle (formule de Turc)	Moyenne trentenaire 1981-2010
Bilans hydriques climatiques (P-ETP)	Bilan hydrique climatique annuel Bilan hydrique climatique d'avril à octobre (saison de végétation) Bilan hydrique climatique de mai à septembre Bilan hydrique climatique de juin à août	Moyenne trentenaire 1981-2010
Récurrence des années sèches, par essence		Proportion sur la période 1981-2010

BIOCLIMSOL – Comment ça marche ?

Exemple : pente en % dans le Vaucluse



2. Des données liées au modèle numérique de terrain (MNT)

Fournies par l'IGN avec une précision de 75 m dans l'application (car gratuite).
Sinon disponible à une précision de 25 m par le CNPF.

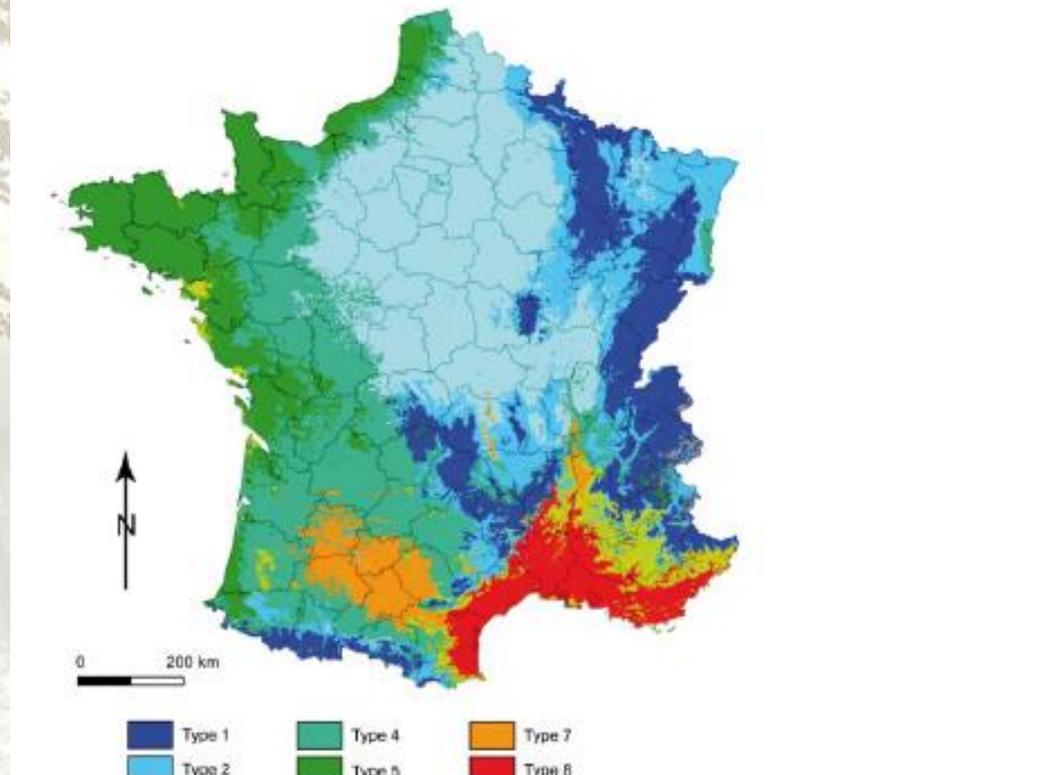
Modèles numériques de terrain	Résolution
Altitude	75 m
Pente	75 m
Exposition	75 m
TPI (Topographic position index) [†]	75 m
SWI (Saga Wetness Index)	75 m
TWI (Topographic Wetness Index)	75 m
SVF (Sky View Factor)	75 m
IKR (Indice de climat lumineux)	75 m

BIOCLIMSOL – Comment ça marche ?

3. Pour le climat futur : base de donnée DRIAS de MétéoFrance

Données analysées dans un rayon de 30 km autour de points répartis selon les grands types de climat en France.

Type de climat en France par Joly et al



4. Données relevées sur le terrain

Contexte stationnel

Obligatoire	Nom du champ	Précision
■	Altitude (m)	Automatiquement rempli d'après le MNT (GPS) – valeur pouvant être modifiée par l'utilisateur
■	Exposition (degrés, grades ou Aucune)	Unité sélectionnée par l'utilisateur – « Aucune » s'il n'y a pas d'exposition dominante (sommet ou plat)
■	Pente (% ou degrés)	Unité sélectionnée par l'utilisateur
■	Confinement (% ou degrés)	Unité sélectionnée par l'utilisateur
■	Position topographique	Valeur sélectionnée dans la <i>liste 1</i>
■	TPI (150 m)	Automatiquement rempli d'après le MNT (GPS) – valeur pouvant être modifiée par l'utilisateur
■	Alimentation en eau	Valeur sélectionnée dans la <i>liste 2</i>
■	Affleurement rocheux (%)	Librement complété
■	Terrasses	Valeur sélectionnée parmi OUI / NON
	Commentaires / Précisions	Librement complété

BIOCLIMSOL – Comment ça marche ?

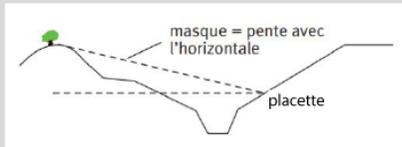
4. Données relevées sur le terrain

Contexte stationnel

Comment mesurer le confinement ?

Le confinement, aussi appelé « masque », est un paramètre important dans le cas d'une vallée encaissée. Il permet de définir si la placette se situe sur une station confinée qui restreint ses échanges avec l'extérieur, notamment dans les domaines thermiques et hydriques.

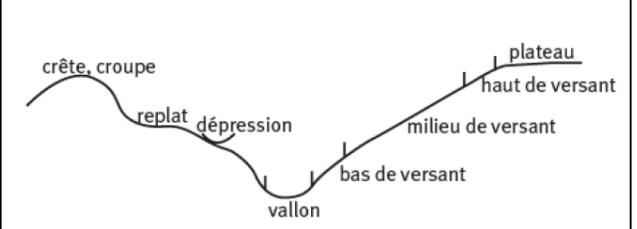
Le confinement correspond à la hauteur angulaire de la droite joignant le point étudié à la plus haute partie du versant opposé à la pente, sans tenir compte des arbres. Il est mesuré au clisimètre et est exprimé en %.



ROSA J., RIOU-NIERT P. et PAILLASSA E. 2011 – Guide de l'expérimentation forestière. Principe de base. Prise en compte du changement climatique – Paris : CNPF-IDF – 224 p.

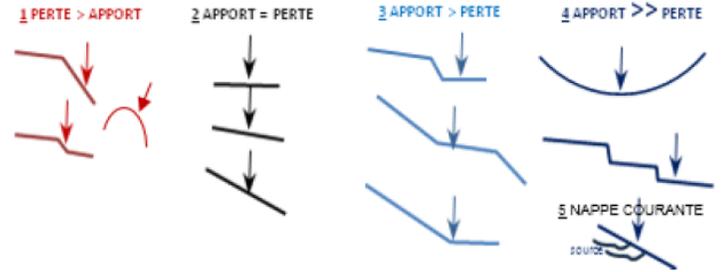
La **position topographique** traduit la situation de la placette dans le relief général qui l'entoure.

Liste 1 : Valeurs possibles pour le champ « Position topographique »

	Aide contextuelle disponible :
1. Plaine	
2. Plateau	
3. Haut de versant	
4. Milieu de versant	
5. Bas de versant	
6. Vallon	
7. Dépression	
8. Replat	
9. Sommet, croupe	

L'**alimentation en eau** prend en compte la position topographique relevée, mais aussi les effets de convexité et de concavité latéraux.

Liste 2 : Valeurs possibles pour le champ « Alimentation en eau »

	Aide contextuelle disponible :
Pertes > apports	Conditions topographiques défavorables à l'alimentation en eau : pertes par drainage supérieures aux apports latéraux
Pertes ≈ apports	Conditions topographiques entraînant une alimentation en eau équilibrée : pertes nulles ou presque équivalentes aux apports latéraux
Apports > pertes	Conditions topographiques favorables à l'alimentation en eau : apports latéraux supérieurs aux pertes par drainage
Apports >> pertes	Conditions topographiques entraînant une alimentation en eau excédentaire : apports latéraux excédentaires
Nappe courante	Conditions d'alimentation en eau très excédentaires
	

BIOCLIMSOL – Comment ça marche ?

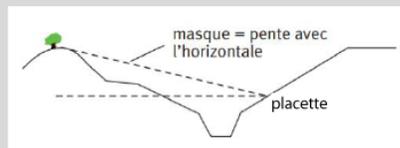
4. Données relevées sur le terrain

Contexte stationnel

Comment mesurer le confinement ?

Le confinement, aussi appelé « masque », est un paramètre important dans le cas d'une vallée encaissée. Il permet de définir si la placette se situe sur une station confinée qui restreint ses échanges avec l'extérieur, notamment dans les domaines thermiques et hydriques.

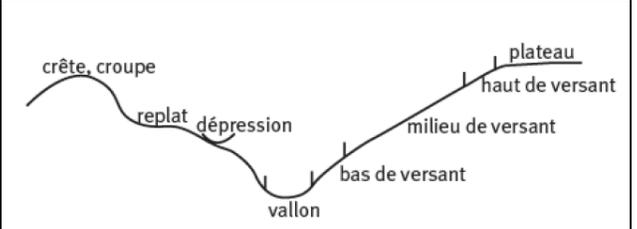
Le confinement correspond à la hauteur angulaire de la droite joignant le point étudié à la plus haute partie du versant opposé à la pente, sans tenir compte des arbres. Il est mesuré au clisimètre et est exprimé en %.



ROSA J., RIOU-NIERT P. et PAILLASSA E. 2011 – Guide de l'expérimentation forestière. Principe de base. Prise en compte du changement climatique – Paris : CNPF-IDF – 224 p.

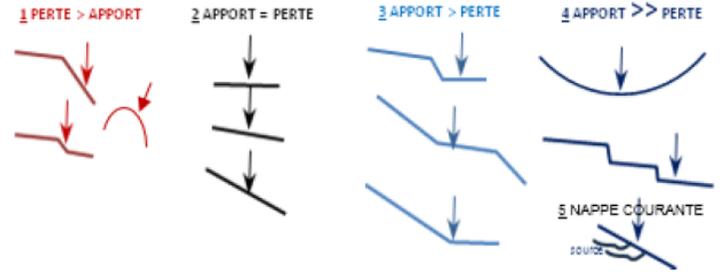
La **position topographique** traduit la situation de la placette dans le relief général qui l'entoure.

Liste 1 : Valeurs possibles pour le champ « Position topographique »

	Aide contextuelle disponible :
1. Plaine	
2. Plateau	
3. Haut de versant	
4. Milieu de versant	
5. Bas de versant	
6. Vallon	
7. Dépression	
8. Replat	
9. Sommet, croupe	

L'**alimentation en eau** prend en compte la position topographique relevée, mais aussi les effets de convexité et de concavité latéraux.

Liste 2 : Valeurs possibles pour le champ « Alimentation en eau »

	Aide contextuelle disponible :
Pertes > apports	Conditions topographiques défavorables à l'alimentation en eau : pertes par drainage supérieures aux apports latéraux
Pertes ≈ apports	Conditions topographiques entraînant une alimentation en eau équilibrée : pertes nulles ou presque équivalentes aux apports latéraux
Apports > pertes	Conditions topographiques favorables à l'alimentation en eau : apports latéraux supérieurs aux pertes par drainage
Apports >> pertes	Conditions topographiques entraînant une alimentation en eau excédentaire : apports latéraux excédentaires
Nappe courante	Conditions d'alimentation en eau très excédentaires
	

BIOCLIMSOL – Comment ça marche ?

4. Données relevées sur le terrain

Peuplement

1 projet = 1 seule essence

Nom du champ
Essence
Type de peuplement
Intervention récente
Diamètre moyen (cm)
Hauteur dominante (m)
Surface terrière (m ² /ha)
Âge (ans)
Commentaires / Précisions

BIOCLIMSOL – Comment ça marche ?

4. Données relevées sur le terrain

Pédologie

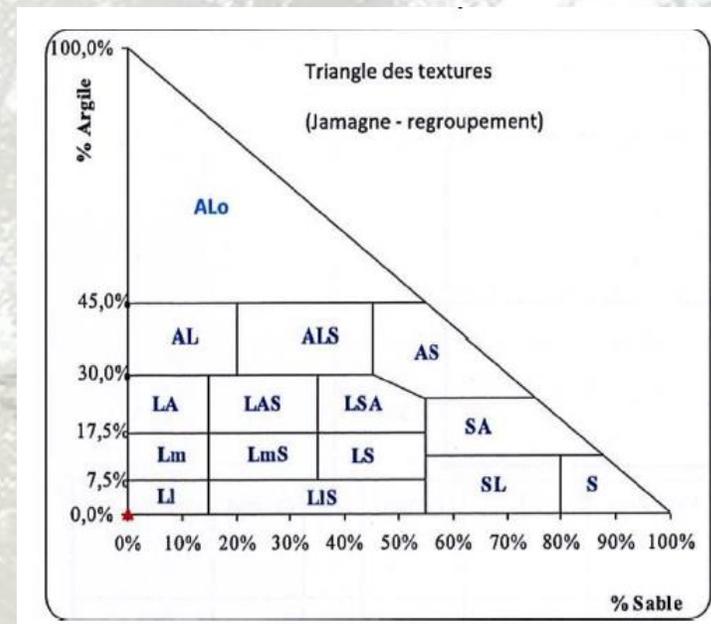
Nom du champ	Précision
Épaisseur (cm)	Pour l'horizon 1 ; librement complété
Texture	Pour l'horizon 1 ; valeur sélectionnée dans la <i>liste 6</i>
% d'éléments grossiers (%)	Pour l'horizon 1 ; librement complété ; <i>Figure 2</i>
Effervescence	Pour l'horizon 1 ; valeur sélectionnée parmi OUI / NON
Hydromorphie	Pour l'horizon 1 ; valeur sélectionnée dans la <i>liste 7</i>
Compacité	Valeur sélectionnée dans la <i>liste 8</i>
Cause arrêt tarière	Valeur sélectionnée dans la <i>liste 9</i>
Nature de la roche	Valeur sélectionnée dans la <i>liste 10</i>
Type de sol	Valeur sélectionnée dans la <i>liste 11</i>
Forme d'humus	Valeur sélectionnée dans la <i>liste 12</i>
pH à 20 cm	Librement complété ; coche « Valeur mesurée »
UCS	Automatiquement extrait de la carte des UCS (<i>voir p.30</i>)
Réserve utile (mm)	Automatiquement calculé d'après le profil pédologique
RU (200 cm) (mm)	Automatiquement calculé d'après le profil pédologique et le type de sol
Commentaires / Précisions	Librement complété

BIOCLIMSOL – Comment ça marche ?

4. Données relevées sur le terrain

Pédologie

Texture



Estimer la texture de la terre fine ?

Le sable gratte les doigts et crisse à l'oreille. Le limon tache les doigts à l'état sec. Son toucher est « soyeux » (farine). Pour estimer la teneur en argile, 3 tests sont possibles :

- réaliser une écaille qui reste dressée sur le doigt : 5 à 10 % d'argile ;
- réaliser un boudin de diamètre 5mm : environ 15 % d'argile ;
- réunir les deux extrémités du boudin pour former un anneau : > 30 % d'argile.

4. Données relevées sur le terrain

Pédologie

Hydromorphie



Aide contextuelle disponible :

0	Aucune tache rouille ou presque (0 à 2 % ; engorgement nul ou faible), matrice non décolorée
1	Matrice non ou peu décolorée avec quelques taches rouille diffuses sur 2 à 15 % (engorgement temporaire à horizon rédoxique)
2	Matrice partiellement décolorée, taches de réduction grises ou légèrement éclaircies sur 10 à 50 % avec taches rouille abondantes sur 15 à 50 % (engorgement temporaire à horizon rédoxique)
3	Matrice entièrement décolorée avec des taches rouille (40 % à 60 %) et grises (40 % à 60 %) (engorgement temporaire à horizon rédoxique)
4	Gley à couleur homogène bleuâtre à verdâtre, voire blanche à grise, éventuellement avec quelques taches de réoxydation (engorgement permanent à horizon réductique)

4. Données relevées sur le terrain

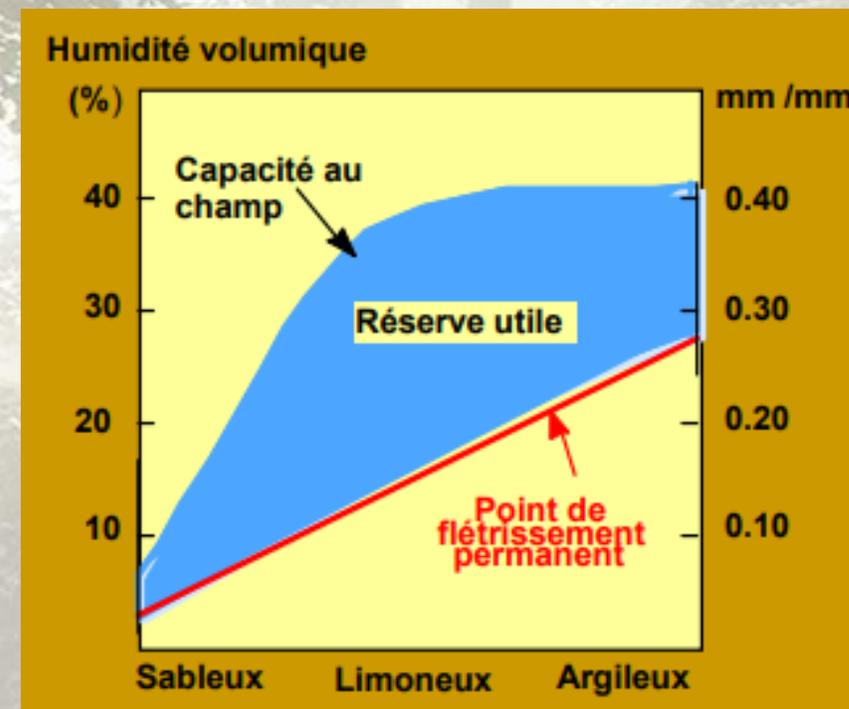
Pédologie

Capacité au champ : eau retenue par le sol après une période de pluie et un ressuyage de 2/3 jours (pas d'évaporation) : eau capillaire + eau gravitaire

Point de flétrissement : valeur de base pour laquelle les racines ne peuvent plus absorber l'eau

Réserve utile : quantité d'eau stockée dans le sol donnée par la différence entre la capacité au champ et le point de flétrissement

$$RU_{(i)} = \text{épaisseur}_{(i)} \times \text{coefficient texture}_{(i)} \times \frac{(100 - \% \text{ éléments grossiers}_{(i)})}{100}$$



4. Données relevées sur le terrain

Problèmes sanitaires



Gui
sur le tronc.

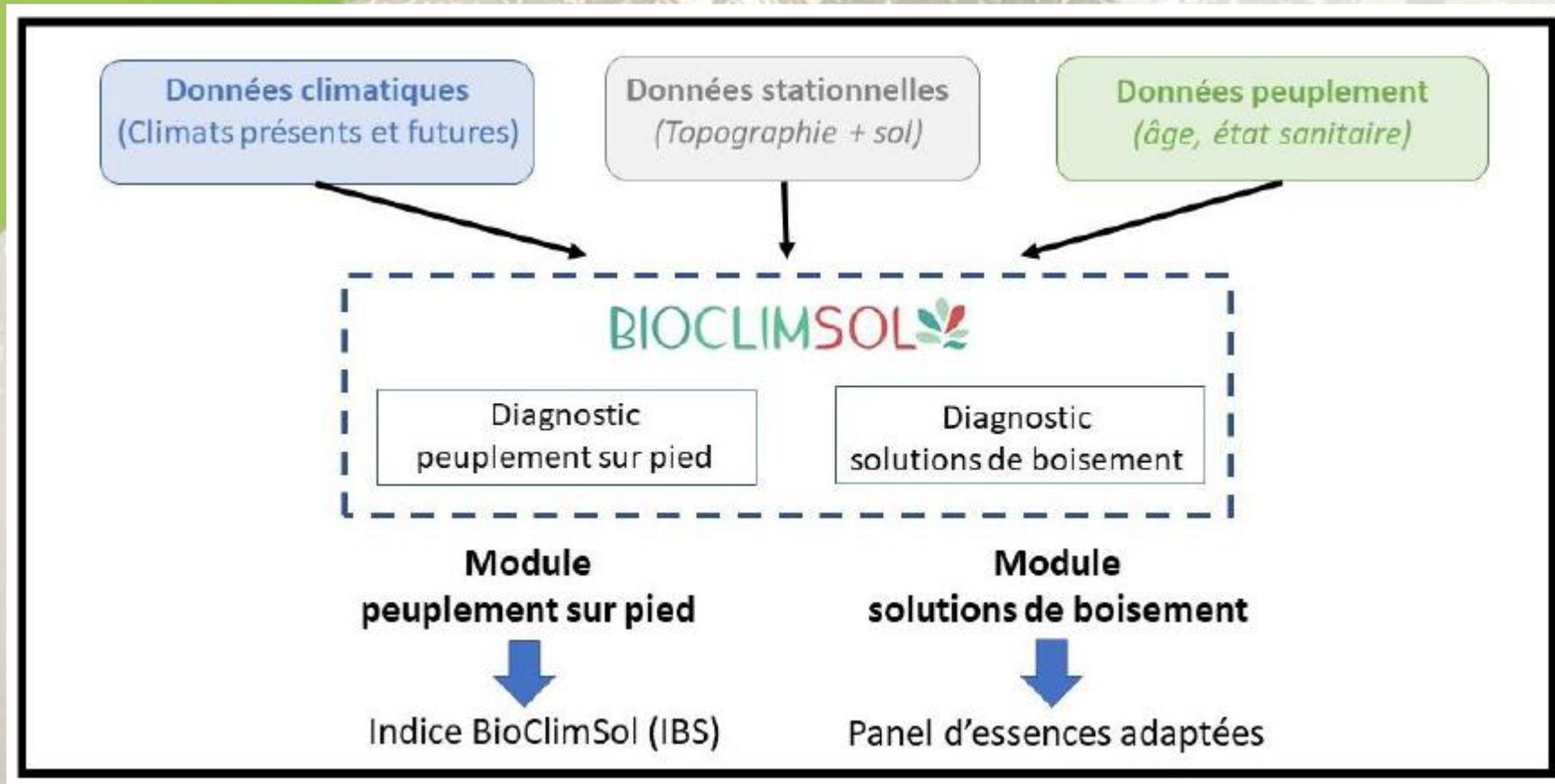
CRÉER UN PROJET PROBLÈMES SANITAIRES		
Problème	Sévérité	% tiges atteintes
Gui	Sévérité nulle	<5%
Défoliateur	Sévérité nulle	<5%
Scolyte(s)	Sévérité nulle	<5%
Cynips	Sévérité nulle	<5%
Autres insectes	Sévérité nulle	<5%
Chancre	Sévérité nulle	<5%
Encre	Sévérité nulle	<5%
Oidium	Sévérité nulle	<5%
Autres champignons	Sévérité nulle	<5%
Décoloration	Sévérité nulle	<5%
Nécroses	Sévérité nulle	<5%
COMMENTAIRES / PRÉCISIONS		

BIOCLIMSOL – Comment ça marche ?

4. Données relevées sur le terrain

Dépérissements

BIOCLIMSOL – Objectifs et fonctionnement



BIOCLIMSOL – Objectifs et fonctionnement

Diagnostic peuplement sur pied

Indice BioclimSol – IBS = Indice de vigilance

Calculé en intégrant les données de terrain, le climat, la carte de vigilance climatique et le climat futur

But : définir si une essence est en adéquation avec la station au regard du risque de dépérissement

Résultat : indice de 0 à 10

	Vigilance modérée				Vigilance élevée				Vigilance maximale		
Niveau de vigilance	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Probabilité dépérissement	0 %	10 %	15 %	20 %	30 %	40 %	45 %	50 %	65 %	75 %	80 %

BIOCLIMSOL – Objectifs et fonctionnement

Diagnostic solution de boisement

Indice de Niche Bioclimsol – INB = « Indice d'adéquation »

Calculé en intégrant les données de terrain, le climat et les exigences écologiques des essences

But : proposer un panel d'essences utilisables en reboisement sur la parcelle diagnostiquée

35 essences avec INB

11 essences d'après IBS

→ 46 essences

Alisier torminal	Pin maritime
Bouleau verruqueux	Pin noir
Calocèdre	Pin de Salzmann
Cèdre de l'Atlas	Pin sylvestre
Châtaignier – montagne continentale	Poirier sauvage
Châtaignier – plaine océanique	Pommier sauvage
Chêne chevelu	Robinier faux-acacia
Chêne liège	Sapin de Bornmuller
Chêne pédonculé	Sapin de Céphalonie
Chêne pubescent	Sapin du Maroc
Chêne sessile	Sapin de Nordmann
Chêne vert	Sapin de Numidie
Douglas vert	Sapin pectiné
Épicéa commun	Sapin du roi Boris
Érable sycomore	Séquoia sempervirens
Hêtre commun	Tilleul à grandes feuilles
Hêtre oriental	Tilleul à petites feuilles
Mélèze d'Europe	Tulipier de Virginie
Merisier	
Noyer commun	
Noyer noir	
Pin d'Alep	

BIOCLIMSOL – Objectifs et fonctionnement

Diagnostic solution de boisement

**Indice de Niche Bioclimsol –
INB = « Indice d'adéquation »**

Résultat sous 3 indices

	<p>La niche climatique correspond à l'ensemble des conditions climatiques dans lesquelles la présence de l'essence est vérifiée.</p>	<p>Vert : essence en cœur de niche Orange : limite de niche Rouge : hors de la niche</p>
	<p>Les conditions pédologiques renseignées par l'utilisateur sont comparées aux exigences de l'essence pour les critères suivants: effervescence à l'acide (carbonatation), hydromorphie (engorgements permanent et temporaire), réserve utile, pH et compacité.</p>	<p>Vert: tous les critères sont favorables ou neutres Orange: au moins un critère potentiellement limitant, aucun excluant</p>
	<p>Le critère alimentation en eau renseigné par l'utilisateur est comparé aux exigences de l'essence.</p>	<p>Rouge: au moins un critère excluant pour l'essence</p>

BIOCLIMSOL – Objectifs et fonctionnement

Module pistes de recommandations sylvicoles

Recommandations faites selon :

IBS : indice vigilance : < 4 / 4-7 / > 7

Etat sanitaire : sain / dépérissant

Proche du terme d'exploitabilité : oui / non

	Vigilance modérée				Vigilance élevée				Vigilance maximale		
Niveau de vigilance	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Probabilité dépérissement	0 %	10 %	15 %	20 %	30 %	40 %	45 %	50 %	65 %	75 %	80 %

BIOCLIMSOL – Démo application

Les étapes de l'utilisation de l'application

- | | | |
|---------|------------------|--|
| BUREAU | 👉 ETAPE 1 | Je télécharge les données nécessaires au fonctionnement de l'application de préférence au bureau ou dans une zone couverte par la 4G |
| | 👉 ETAPE 2 | Je me géolocalise avec une tablette ou un smartphone adapté à l'application. |
| | 👉 ETAPE 3 | Je saisis les données de terrain dans les formulaire de l'outil : données générales, topographie, sol, peuplement. |
| | 👉 ETAPE 4 | L'outil, grâce à la géolocalisation, extrait les données climatiques (température, pluviométrie, déficit hydrique climatique (P-ETP), cartes de vigilance climatique) pour établir le diagnostic. |
| | 👉 ETAPE 5 | Je définis l'objectif de mon diagnostic soit : <ul style="list-style-type: none"> - je m'oriente vers un reboisement = MODULE BOISEMENT - j'établis un diagnostic dans un peuplement existant = MODULE PEUPEMENT SUR PIED |
| TERRAIN | 👉 ETAPE 6 | L'outil, à partir du relevé de terrain et des données climatiques fournit : <ul style="list-style-type: none"> • MODULE BOISEMENT = palette d'essences potentiellement adaptées en reboisement dans le climat actuel et futur.
<i>Seules les essences en conditions stationnelles favorables sont présentées. Les essences refusées en terme de boisement sont également disponibles et les causes du refus sont mentionnées (sol, climat, ...). Les essences sont présentées sous forme de tableau en fonction du niveau de connaissance de l'autécologie de l'essence et de fiabilité du modèle.</i> • MODULE PEUPEMENT SUR PIED = niveau d'adéquation stationnelle de l'essence diagnostiquée, dans le climat actuel et futur, défini par l'indice de vigilance BIOCLIMSOL défini par le risque d'observer des présences de dépérissement. L'ensemble du diagnostic (sol et climat) permet de définir le niveau de vigilance par rapport à l'essence étudiée au climat actuel à + 1°C et + 2°C. |
| BUREAU | 👉 ETAPE 7 | Un rapport PDF est généré. Je peux le partager avec des collègues disposant de l'application. Au bureau ou sur le terrain, grâce au tableau de préconisation préconisations de sylviculture, je propose des recommandations de sylviculture adaptée. Le relevé peut, avec l'accord de l'utilisateur de l'application, être envoyé au serveur BIOCLIMSOL. L'ensemble des données ainsi récoltées permet une mise à jour en continu de cet outil participatif. |

BIOCLIMSOL – Démo application

https://www.youtube.com/watch?v=6cVJujU4dA&ab_channel=BIOCLIMSOLCNPFF

Il faut se préparer dès aujourd'hui, en adaptant les pratiques sylvicoles, d'autant plus pour les essences vulnérables. La solution la pire serait de ne pas agir et de constater des dégâts analogues à ceux des canicules passées.