

PROJET CARTOBILHY

CARTOGRAPHIE DE L'ÉVOLUTION DE LA
CONTRAINTE HYDRIQUE EN CONTEXTE DE
RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

AFORCE

CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

La demande vis-à-vis d'outils permettant la prise en compte des effets du changement climatique dans le choix des essences se fait fortement ressentir dans un contexte de changement climatique.

La contrainte hydrique est l'un des facteurs les plus importants vis-à-vis de la ressource forestière et c'est aussi l'un des plus affectés par les changements climatiques. Son estimation, nécessitant la réalisation de fosses pédologiques permettant d'estimer la capacité de stockage en eau à l'échelle de la placette, est très coûteuse ce qui restreint son utilisation à de vastes échelles.

De ce fait, la plupart des données cartographiques disponibles en France sur de vastes emprises sont calculées uniquement à partir des informations climatiques (pluies, températures, ...) et ne prennent pas en compte le compartiment sol.

L'objectif de ce projet est de créer et de valider des cartes de bilan en eau des sols utilisables à l'échelle d'un guide des stations forestières, les plateaux calcaires de Lorraine. Dans un deuxième temps, l'intérêt et l'utilisation possible de cartes numériques décrivant la variabilité spatiale de l'eau du sol seront évalués.

CONTENU DU PROJET

**OUVRAGE
TECHNIQUE**



**RAPPORT
SCIENTIFIQUE**



**OUTIL
OPÉRATIONNEL**

**OUTIL DE
RECHERCHE**

Les résultats de ces travaux ont été traités en cinq parties :

- Comparaison des données disponibles et choix des couches ;
- Identification d'un indice pertinent représentant le bilan en eau des sols ;
- Création et validation des cartes de bilan en eau des sols (Fig. 1) ;
- Comparaison de cartes produites aux indices climatiques précédemment utilisées ;
- Utilisation des cartes produites dans le cadre des catalogues de station forestière.

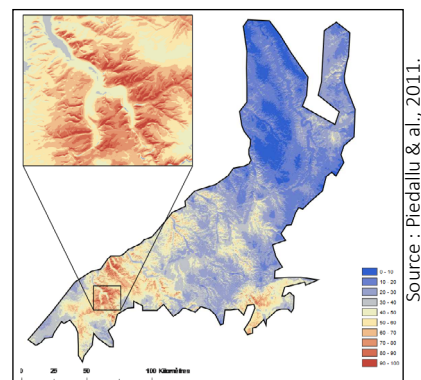
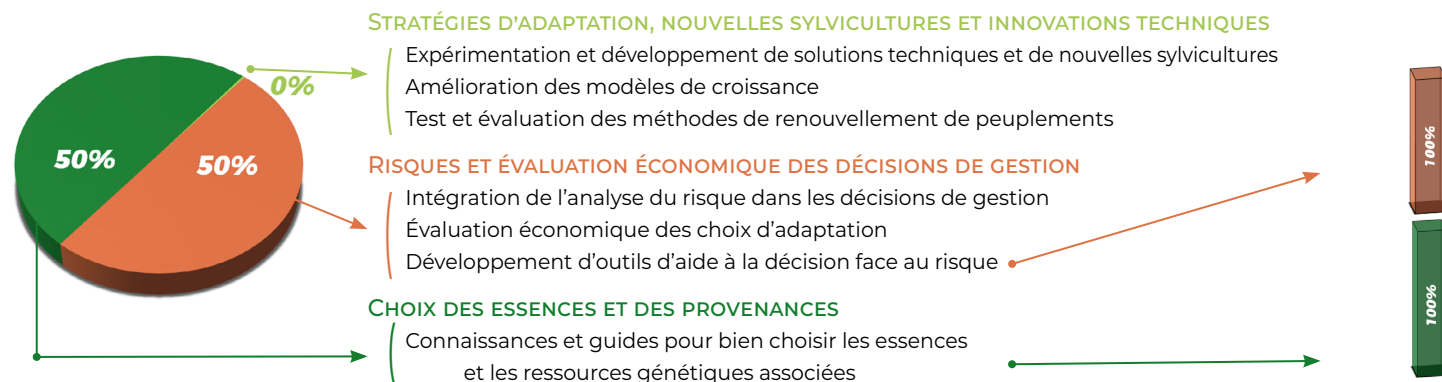


Figure 1 : Présentation de la carte de bilan en eau des sols au pas de 50 m. à l'échelle des plateaux calcaires de Lorraine, Bourgogne, Champagne- Ardenne.

CONTRIBUTION DU PROJET AUX THÉMATIQUES D'AFORCE



→ DONNÉES ET SITES D'ÉTUDES

Le calcul du bilan hydrique a pour objectif de caractériser l'évolution de la quantité d'eau disponible pour un couvert végétal dans le temps (Fig. 2).

La cartographie du bilan hydrique peut être réalisée à l'aide de différentes méthodes de calcul, dont celles de Palmer¹ et Thornthwaite². Ces calculs donnent lieu à de nombreux indices ici évalués et comparés.

Différentes validations et comparaisons ont été réalisées, pour partie à l'aide de jeux de mesures indépendantes ainsi qu'à l'aide de modèles linéaires (GLM) et additifs (GAM). Afin de pouvoir comparer la performance des différents indices, leur pouvoir prédictif vis-à-vis de la distribution des espèces d'arbres a également été évalué.

Indices : Réserve utile (RU), Evapotranspiration réelle (ETR), Déficit d'évaporation (DE), Soil water deficit (SWD), indice d'aridité, relative extractible water (REW) et stress index (SI).

Zone d'étude

La zone d'étude (Fig. 3) s'étend sur 18 310 km² sur les plateaux calcaires de Bourgogne, Champagne-Ardenne et Lorraine.

Le substrat est composé de calcaires du Jurassique moyen et supérieur.

L'altitude de la zone d'étude se situe entre 100 m. et 550 m.

Les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 650 et 1100 mm par an. Enfin, les températures moyennes annuelles varient de 8,5 °C à 11 °C.

Bases de données

Les bases de données (BDD) spatialisées

Rayonnement solaire : modèle Hélios (résolution 50 m.).

Températures et précipitations : modèles numériques calculés au LERFOB au pas de 50 m. pour les températures, de 1 km pour les précipitations et les données au pas de 1 km de pluies et de températures du modèle Aurelhy de Météo France. Le modèle SAFRAN n'est pas utilisable à cette échelle du fait de sa résolution (pixels de 64 km²).

Réserve Utile Maximale (RUM) : carte des RUM des sols forestiers français dont la méthode de spatialisation a été améliorée (pixels de 500 m. de côté)³ et une carte à la résolution de 50 m. (couvrant les deux tiers de la zone d'étude) élaborée avec des méthodes de modélisation pour mieux appréhender la variabilité locale du paramètre. Les résultats des indices de bilan en eau provenant de ces deux cartes ont été comparés.

Les données ponctuelles utilisées pour validation

BDD IFN : 32 544 placettes disponibles sur la France, dont 1124 relevés dans la zone d'étude.

BDD RENECOFOR : 25 placettes sont disponibles dans la zone d'étude. Les données sont indépendantes de celles utilisées pour la calibration des modèles SIG. Les données de description des sols ont permis un calcul des RUM, afin de comparer les différents modèles spatialisés.

BDD BioSoil : calcul des valeurs de RUM sur 543 placettes.

Les données des catalogues de station

BDD des catalogues de station : 13 460 relevés surfaciques décrivant 551 forêts, réparties sur toute la zone d'étude.

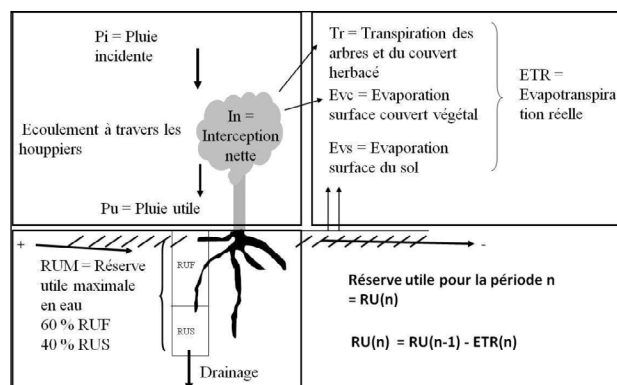


Figure 2 : Schéma simplifié du bilan hydrique sous couvert forestier.

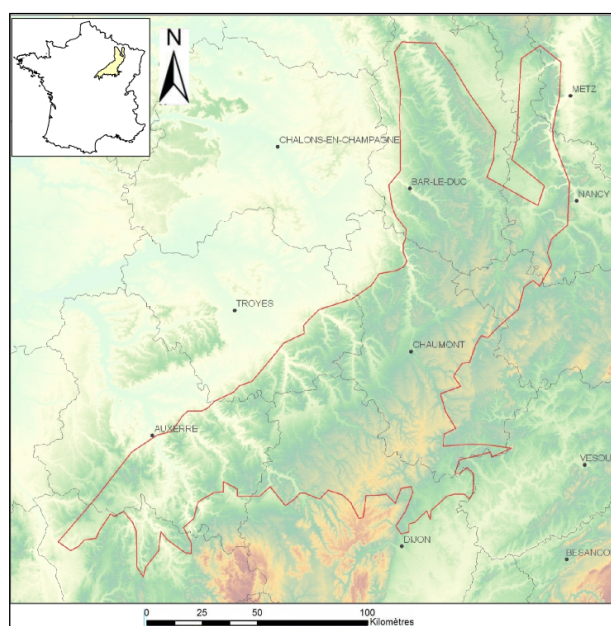


Figure 3 : Zone d'étude des plateaux calcaires.

Les campagnes complémentaires de terrain

Ces modèles sont élaborés pour être utilisés à l'échelle de la forêt par les gestionnaires. Afin de valider les modèles à l'échelle locale des données complémentaires ont été collectées :

Bois l'évêque et Villiers le sec :

les relevés (175 placettes) ont été effectués à l'échelle de la forêt selon trois maillages imbriqués (250, 100 et 50 m.). Elles ont permis l'estimation des RUM des sols sur ce maillage.

Plateaux calcaires de Bourgogne :

afin d'évaluer la variabilité des mesures au sein des prédictions d'un pixel, un dispositif d'inventaire sur trois transects a été mis en place.

De plus, les variations au sein d'un pixel ont été estimées sur dix points de relevés en réalisant cinq fosses différentes au sein d'un même pixel (un point au centre et quatre autres situés à 20 m. du centre et orientés à 50, 150, 250 et 350 grades).

RÉSULTATS

Validité des données utilisées

Un certain nombre de données ont pu être validées à l'échelle de la France et leur capacité à prédire la distribution de 40 essences a également été évaluée : le modèle Hélios, les modèles de températures et de précipitations du LERFOB ainsi que des données de RUM (au pas de 500 m.) sont concernés.

Les températures sont très bien prédites, les précipitations et le rayonnement solaire le sont un peu moins, mais restent globalement bien prédits.

La prédiction des RUM est beaucoup plus délicate et les résultats obtenus confirment une forte variabilité des valeurs à l'échelle locale en contexte de plateau calcaire.

Identification d'un indice caractérisant la contrainte hydrique

La comparaison de la capacité prédictive des indices de bilan en eau au regard de la distribution des 40 espèces étudiées montre des différences. Le déficit d'évaporation estival calculé avec la méthode de Thornthwaite a montré des performances supérieures aux autres.

Comparaison des cartes de bilan en eau aux données traditionnellement utilisées

En comparant la capacité prédictive des différents indices, il apparaît que les modèles prenant en compte le bilan en eau des sols sont statistiquement plus efficaces que ceux construits sur des paramètres uniquement climatiques.

Cependant, ces différences ne sont pas homogènes entre espèces, le bilan en eau du sol étant surtout plus performant pour les espèces hygrophiles et les xérophiles, par rapport aux espèces mésophiles.

Création et validation des cartes de bilan en eau

La cartographie des déficits d'évaporation a été réalisée grâce à la carte des RUM à résolution de 500 m. et de la carte des RUM au pas de 50 m. pour une partie de la zone d'étude.

Les cartes numériques obtenues mettent en évidence une hétérogénéité assez forte au sein de la zone d'étude vis-à-vis des contraintes hydriques estivales, selon un gradient nord-sud.

La carte au pas de 50 m. montre une hétérogénéité locale des prédictions plus importante que la carte au pas de 500 m. (Fig. 4).

Validation nationale

Réseau RENECOFOR : difficulté de validation avec un faible nombre de placettes.

Réseau IFN : cohérence des données entre celles issues de SIG et celles mesurées sur le terrain.

Validation au sein de la zone d'étude

La carte des DE réalisée est bien corrélée aux mesures réalisées sur les placettes IFN, mais la corrélation diminue à des échelles locales. Il est possible de réaliser des cartes qui aient du sens à l'échelle de la forêt et de la parcelle.

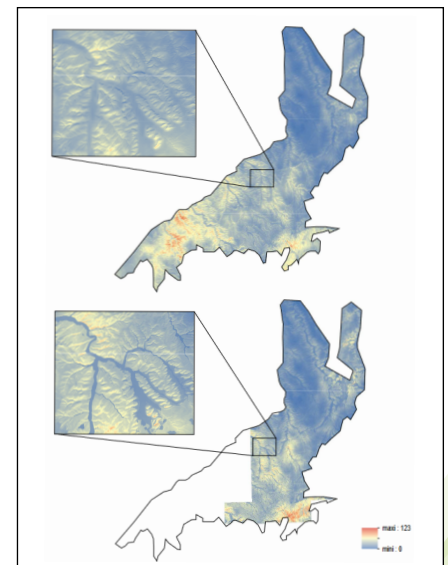


Figure 4 : Comparaison des cartes de déficits d'évaporations utilisant la carte des RUM au pas de 500 m. (DE, en haut) et de 50 m. (DE' en bas).

Utilisation dans le cadre des catalogues de stations forestières

Il y a un manque de concordance entre les deux approches. Le calcul de la carte des DE montre qu'il y a une variation de la ressource en eau au sein d'une même unité stationnelle, qui est due majoritairement à des variations climatiques intra-stationnelles. Nous en concluons que la prise en compte des données climatiques dans la typologie des stations est indispensable dans un contexte de changement climatique.

LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

Il est possible de calculer une carte des déficits d'évaporation reflétant assez finement les variations spatiales de la contrainte hydrique qui ait du sens à différentes échelles.

La carte obtenue permet donc une estimation de la variabilité locale qui se doit d'être vérifiée en fonction des connaissances des opérateurs de terrain et de sondages appropriés.

Un point crucial réside dans l'estimation de la RUM des sols, malgré certaines imprécisions, sa prise en compte apporte une sérieuse plus-value dans l'estimation de l'eau disponible pour les plantes par rapport à des données uniquement climatiques ou caractérisant uniquement la profondeur du sol.

Ces cartes peuvent être utilisées lors de la création ou de la mise à jour de guides afin d'aider à déterminer les limites des types de stations ou d'affiner et de redécouper les stations. Elles permettent de préciser les listes d'essences recommandées. Leur utilisation peut se faire soit au niveau de la clef d'entrée du catalogue, soit sous forme cartographique en modulant les recommandations.

PUBLIC CIBLE ET FINALITÉ DU PROJET

Difficulté d'appropriation : FAIBLE MOYENNE FORTE Absence de cette finalité pour ce public : ○

FINALITÉ PUBLIC CIBLE	Gestion Outils et recommandations	Recherche et développement Outils et création de contenu	Pédagogie Acquisition des connaissances
Propriétaires forestiers	●	○	●
Personnel forestier technique	●	○	●
Acteurs de la recherche et du développement	○	●	●
Étudiants de l'enseignement supérieur	○	●	●
Étudiants de l'enseignement technique	●	○	●

Cet outil est principalement à destination des **professionnels techniques de la gestion forestière** mais aussi des **acteurs de la recherche et du développement**.

CASTING

Le coordinateur du projet est M. Piedallu Christian (AgroParisTech).

Ce projet a été mené avec la participation de Richard J-B., Villiers T., Gaudin S., Lebourgeois F., Perez V., Davillier S., Thirion E. et Riofrio-Dillon G. (AgroParisTech) ; de Legay M., Nicolas M., Kochert T. et Cazet M. (ONF) ; de Carnnot-Milard L. (CRPF Champagne-Arenne) ; de Madesclaire A. et Hodapp R. (CRPF Alsace lorraine).

POUR OBTENIR PLUS D'INFORMATIONS

Plus d'informations sur la [page projet CARTOBILHY](#) du RMT AFORCE.

Enfin, un guide simplifié résumant l'usage et les limites des cartes produites est présenté dans [l'annexe 4 du rapport final](#).

¹ Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought. Office of Climatology, Weather Bureau, Washington D.C.

² Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1955. The water balance. Laboratory of Climatology, Publication in Climatology. n°8.

³ Piedallu, C., Gégout, J., Bruand, A., Seynave, I., 2010. Mapping soil water holding capacity over large areas to predict potential production of forest stands. Geoderma, doi:10.1016/j.geoderma.2010.10.004.

FINANCEURS DU PROJET