

Résumé du Projet Développement, spatialisation et validation d'indices bioclimatiques

Convention 2005.18 et 2005.19 ENGREF-IFN-INRA- Octobre 2007

Piedallu C., Lebourgeois F., Gégout J.C., Seynave I., Vepierre R. (LERFOB – AgroParisTech-ENGREF – Nancy), Cluzeau C., Nédeltcheva T., Bruno E., (IFN), Badeau, V. (EEF – INRA – Nancy)

Travaux réalisés par l'IFN-INRA

L'Inventaire forestier national (IFN) recueille depuis 1992 sur ses points d'inventaire des données phytocologiques, en complément des données dendrométriques, dans le but de décrire les caractéristiques stationnelles des peuplements forestiers. Il dispose actuellement de plus de 100 000 relevés répartis sur tout le territoire national.

Cependant, les données recueillies sur le terrain ne permettent pas toujours de caractériser de façon complète la topographie et le climat local, en particulier dans les zones de montagne. C'est pourquoi nous avons travaillé dans ce projet sur le calcul d'indices topographiques à partir d'un modèle numérique de terrain et sur le calcul du rayonnement solaire direct à l'échelle du territoire national selon différentes méthodes. Dans une deuxième étape, ces indices ont été utilisés pour définir les limites des étages de végétation dans la région des Alpes du nord. Dans les études de typologie des stations forestières en région montagneuse, les étages de végétation sont une des entrées principales des clefs de détermination.

Les valeurs d'altitude, de pente et d'exposition relevées au niveau des points IFN ont été comparées aux valeurs extraites du MNT au pas de 50 m de l'IGN. Les situations topographiques notées sur le terrain par l'IFN ont été comparées aux valeurs données par le modèle Positopo développé par le Lerfob. Ces comparaisons ont été effectuées dans la région Rhône Alpe. Les valeurs d'altitude et d'exposition extraites du MNT sont très proches des valeurs relevées sur le terrain, avec néanmoins une réserve pour l'exposition. Par contre, la pente mesurée directement sur le terrain rend mieux compte des conditions locales, or ce sont celles qui agissent sur les espèces végétales. Il en est de même de la position topographique qui pourrait cependant être améliorée, dans certaines situations difficiles à décrire directement depuis la placette d'inventaire, en complétant l'observation de terrain par les informations données par le modèle Positopo du Lerfob.

Le rayonnement solaire a été calculé sous SIG à partir d'un modèle topographique existant sur le marché (Solar Analyst) et comparé avec les modèles Helios (développé par le Lerfob) et Satmos (données satellitales de Meteosat). Les différences entre ces 3 modèles varient dans le temps et dans l'espace. D'une manière générale, les valeurs de radiation globale issues de Solar Analyst sont les plus faibles. Les valeurs de rayonnement des 3 modèles sont plus proches pendant la période de végétation. Nos résultats montrent que la prise en compte de la topographie, de la latitude, mais aussi de l'albédo est nécessaire pour comprendre la répartition du rayonnement à grande échelle. Une solution à envisager pourrait être le couplage d'un modèle topographique comme Hélios avec un modèle satellital comme Satmos.

Le travail de définition des étages de végétation à partir des indices topo-climatiques s'est appuyé sur une étude précédemment réalisée dans le cadre du programme national de la typologie des stations forestières de la DGFAR. Nous sommes repartis de la classification de plus de 3000 points IFN selon 3 étages différents pour établir un modèle prédictif à partir d'une analyse discriminante. Le meilleur résultat a été obtenu avec le modèle combinant l'altitude, le rayonnement et la latitude. Afin de le valider, ce modèle devra être testé sur l'ensemble des Alpes, ce qui n'a pas pu être fait durant le projet.

Ce projet a permis à l'IFN de bénéficier des apports de l'INRA et du Lerfob en matière de spatialisation du rayonnement solaire et de calculs d'indices topographiques sous SIG. On peut d'ores et déjà envisager de futures collaborations sur le calcul et la spatialisation du rayonnement solaire en travaillant sur le couplage des modèles Satmos et Hélios ou encore sur l'amélioration de l'évaluation de la situation topographique en approfondissant l'étude comparée des observations Ifn et du modèle Positopo, encore en développement.

Travaux réalisés par le LERFOB – AgroParisTech-ENGREF – Nancy

La modélisation de la distribution ou de la productivité des espèces nécessite l'utilisation de variables écologiques qui souvent ne peuvent être relevées sur le terrain, cette opération étant trop complexe ou trop coûteuse. Les Systèmes d'Informations Géographiques, couplés à l'usage des modèles numériques de terrain, permettent d'estimer des facteurs écologiques en des lieux où ils n'ont jamais été mesurés, grâce à la réalisation de modèles spatialisés fournissant une information en tout point du territoire. L'étude des relations entre les espèces et les facteurs du milieu nécessite de travailler sur de larges emprises, afin de prendre en compte le plus largement possible le gradient écologique qui conditionne la distribution des espèces. Il est également nécessaire d'avoir une approche la plus fine possible, afin de prendre en compte l'effet de la topographie qui est un déterminant majeur à l'échelle locale. L'objectif de ce travail est donc de créer un certain nombre d'indices spatialisés caractérisant le bioclimat et étant à la fois valides à l'échelle de la France entière et à l'échelle la plus locale possible.

Dans un premier temps un modèle de rayonnement solaire est programmé sous le logiciel ArcGis, prenant en compte les effets liés à la topographie et les modulations à large échelle dues aux variations de nébulosité et de latitude. Le rayonnement a été cartographié pour la France entière au pas de 50 mètres pour chaque mois de l'année. La sensibilité du modèle a été analysée à différentes échelles montrant l'importance de chacune des composantes du modèle selon l'échelle. Sa validation sur un jeu de données indépendant montre une bonne corrélation avec les postes de Météo France (R^2 0.78 sur les valeurs annuelles, 0.88 en hiver). La capacité du modèle Helios à améliorer les modèles de distribution a été démontrée sur *Quercus pubescens*, *Acer pseudoplatanus*, et *Abies alba*. Une comparaison avec des estimateurs plus simples dérivés des calculs de pente ou d'exposition montre que les modèles radiatifs prenant en compte la nébulosité sont de loin les plus aptes à simuler le rayonnement solaire et à améliorer les modèles de distribution. Des ETP ont été calculées selon les méthodes de Thornthwaite, Hargreaves et Turc, cette dernière méthode intégrant le rayonnement calculé avec Helios. La comparaison de ces méthodes semble montrer que l'ETP Hargreaves est la plus proche de la mesure sur zone plate, mais que l'ETP Turc possède la plus forte capacité à prédire la distribution de la végétation du fait qu'elle prend en compte de la topographie.

Le calcul des bilans hydriques nécessite la prise en compte de la réserve utile maximale des sols (RUM). Nous avons élaboré une méthode permettant sa cartographie à partir de plus de 100000 relevés écologiques de IFN. Pour cela nous avons testé des classes de pédotransfert élaborées par différents auteurs, puis nous avons comparé diverses méthodes de prise en compte de la charge en cailloux. Les résultats ont été étalonnés sur des estimations de fertilité de trois essences, *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, et *Quercus petraea*. Les résultats entre ces trois essences concordent pour désigner la meilleure méthode de calcul, qui a servi à la spatialisation des RUM. Des tests ont permis d'identifier la meilleure résolution de la carte, une taille de pixel de 50 mètres de coté ayant été choisi. L'étude multiéchelle des relations entre la carte des RUM et les indices de fertilité des trois essences démontre l'indépendance du pouvoir prédictif de la carte en fonction de l'échelle. La carte des RUM, combinée aux ETP Turc, a permis le calcul du bilan hydrique pour chaque mois de l'année et la spatialisation des variables qui en découlent sur la France entière.

Les différents indices calculés au cours de cette étude ont été comparés aux axes d'une AFC réalisée sur plus de 16000 placettes des bases EcoPlant et SOPHY, répartis sur France entière. Un indice tiré du calcul du bilan hydrique, le déficit d'évaporation cumulé sur l'année, indicateur de la sécheresse, est le meilleur facteur explicatif de l'axe 1 de l'AFC. Les ETP Thornthwaite annuelles sont les plus discriminantes de l'axe F2 de l'AFC, elles seraient liées à la croissance des espèces. Ceci est confirmé par l'étude des corrélations entre ces indices et la fertilité de plusieurs essences, qui met en avant les ETP Thornthwaite comme le facteur le plus explicatif de la fertilité pour *Picea abies* et *Fagus sylvatica*. *Quercus petraea* quant à lui réagit fortement à la RUM des sols.

Une grande majorité des indices réalisés dans le cadre de ce projet sont liés à la ressource forestière, et améliorent les modèles prédictifs. Il est nécessaire pour aller plus loin de les tester vis à vis d'un nombre plus important d'espèces. Des études complémentaires sont également nécessaires pour analyser les interactions entre ces indices et déterminer les plus pertinents pour prédire la distribution et la fertilité des espèces, ou de caractériser le type de station. Ces travaux complémentaires sont permis par l'existence de variables numériques spatialisées existant sur l'ensemble du pays. La porte est ainsi ouverte à des études régionalisées concernant la sensibilité des espèces au changement climatique sur le territoire Français.