



HAL
open science

Les stations forestières : intérêts et limites des cartographies prédictives et par échantillonnage

Sylvain Gaudin, Christian Piedallu, Florentin Madrolles, Jean-Baptiste Reboul

► To cite this version:

Sylvain Gaudin, Christian Piedallu, Florentin Madrolles, Jean-Baptiste Reboul. Les stations forestières : intérêts et limites des cartographies prédictives et par échantillonnage. Forêt Entreprise, 2016, Typologie et cartographie des stations forestières, 228. hal-01335508

HAL Id: hal-01335508

<https://hal.science/hal-01335508>

Submitted on 27 Jun 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les stations forestières : intérêts et limites des cartographies prédictives et par échantillonnage

Par Sylvain Gaudin CNPF-CRPF Champagne-Ardenne, Christian Piedallu, Inra-Lerfob,
Florentin Madrolles et Jean-Baptiste Reboul, CNPF-CRPF Normandie

publié dans : **Forêt-entreprise** - N° 228 - mai 2016, p39-43

Les outils dont disposent les forestiers sont de plus en plus nombreux et performants. Les bases de données, les SIG ou les GPS changent ainsi les manières de cartographier les stations forestières. Cet article présente une synthèse des approches actuelles.

La cartographie des stations comprend l'inventaire d'unités écologiques homogènes présentes en un lieu donné et la représentation de leur distribution dans l'espace. Une carte des stations est un outil précieux, voire indispensable dans toute démarche d'aménagement forestier, car elle permet de caractériser pour chaque unité les potentialités et les risques. Outre son utilisation évidente dans le choix des essences à favoriser lors du renouvellement des peuplements, elle permet d'optimiser le dosage des essences lors des travaux de dégagement ou des martelages, de localiser les sols fragiles lors des débardages ou de concentrer les investissements sylvicoles sur les sols les plus productifs...¹⁾.

Si la cartographie des stations est couramment pratiquée pour l'aménagement des forêts publiques, elle n'est pas imposée dans les plans simples de gestion (PSG) en forêt privée. Ainsi, même s'il existe une disparité entre régions, les cartes des stations y sont très rares. Parfois, il est fait référence dans le PSG aux principales stations présentes sur la forêt, mais sans qu'elles soient cartographiées. L'avènement des outils numériques a changé beaucoup de pratiques forestières, dont la cartographie des stations. Le déploiement des bases de données, les systèmes d'information géographique (SIG) et les récepteurs GPS permettent non seulement un gain de temps, mais également le développement de nouvelles approches jusqu'alors impossibles. La cartographie des stations s'est d'abord faite à l'aide de relevés de terrain (méthode par échantillonnage). Désormais, une approche utilisant des cartes prédictives se développe dans certaines régions²⁾. Cet article présente ces deux approches, les compare et décrit les évolutions possibles.

La cartographie des stations par échantillonnage

Historiquement, la cartographie des stations a été réalisée à l'échelle de chaque forêt, à partir de relevés phytoécologiques de terrain (détermination de la flore du sous-bois, de la topographie locale, des principales caractéristiques du sol) (*figure 1*). Le plus souvent, les clés de détermination disponibles dans les guides ou les catalogues de stations permettent de classer les relevés et de connaître directement les potentialités des stations. Dans les zones où ces ouvrages ne sont pas disponibles, un travail de synthèse complémentaire est nécessaire pour définir des unités cartographiques homogènes. Le nombre de relevés à effectuer dépend de la surface à cartographier, de la variabilité locale des stations et de la précision souhaitée. Les relevés peuvent être réalisés en suivant les mailles d'une grille systématique, des lignes orientées selon la plus grande variation supposée des stations (transects) ou selon un zonage préalable construit en tenant compte *a priori* de tous les facteurs locaux pouvant influencer sur la distribution des sols : géologie, topographie, nature des matériaux de surface, présence de cours d'eau...³⁾ L'utilisation d'un GPS simplifie fortement le travail de terrain.

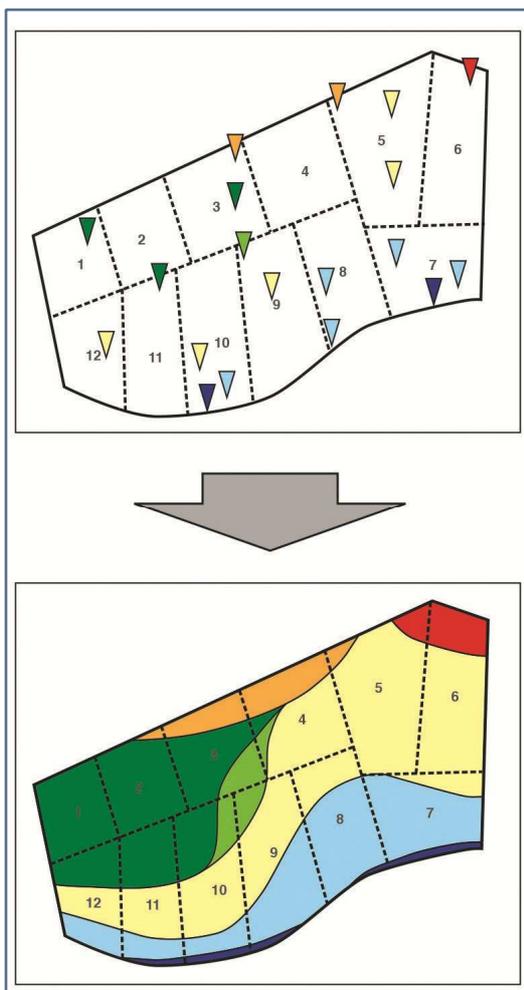


Figure 1 – Des relevés de terrain symbolisés par les triangles permettent de déterminer localement les types de stations (couleur du triangle). La carte est obtenue par interprétation à partir de ces relevés et d'informations complémentaires (catalogue des stations, courbes de niveau, géologie, exposition...).

- 1) Bazin et Gaudin, 2004 ; Gaudin , 2011.
- 2) Gégout 2008, voir l'article du projet EcoGéoDyn page 44-48.

3) Bazin et Gaudin, 2004. **Figure 2 – Méthode d'élaboration des cartes prédictives des stations. Cette méthode permet également de produire des cartes prédictives pour la distribution des essences.**

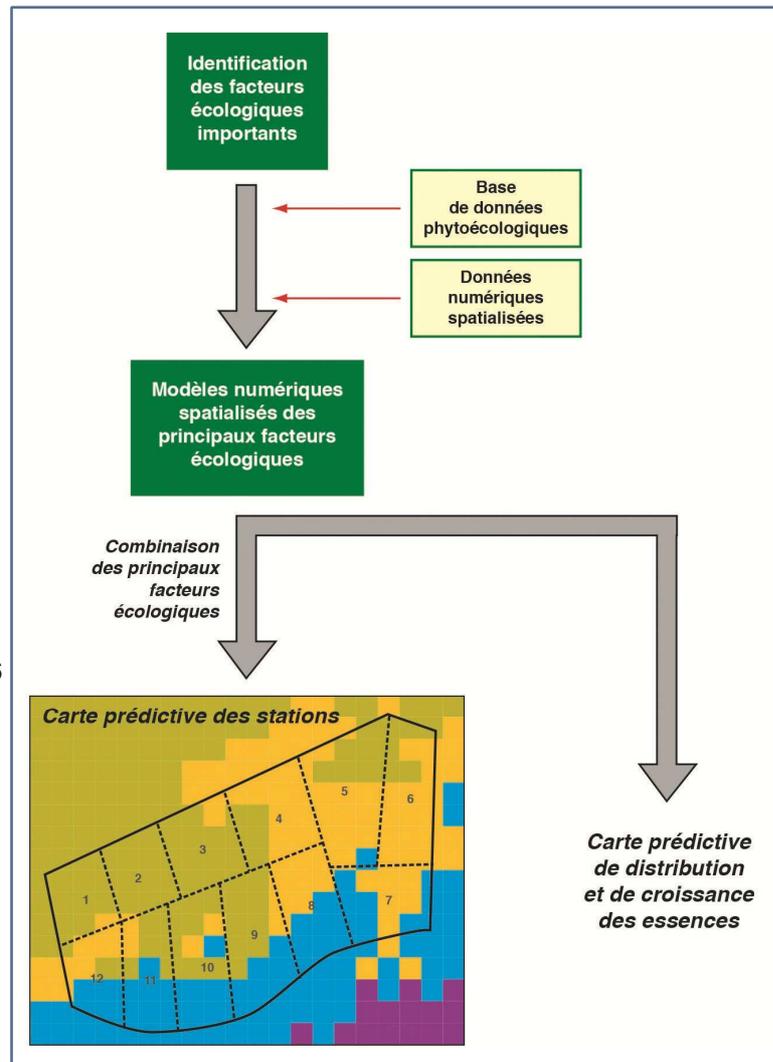
4) Gaudin *et al.*, 2006.
Piedallu et Gégout, 2002.

5) Séquence de sol ou de communautés végétales, en lien avec la topographie.

6) Voir l'article *Des données spatialisées au service de la description du milieu* p. 34-38 du dossier.

8) Gégout *et al.*, 2008.

9) Voir l'article sur le projet EcoGéoDyn p. 44-48.



- N° 228 - mai 2016

L'opérateur peut ainsi naviguer vers les points qu'il a précédemment définis pour y réaliser ses relevés⁴⁾, ou noter avec précision l'emplacement des relevés effectués⁵⁾, ce qui facilite la localisation par rapport aux outils traditionnels (mesureur à fil perdu et boussole) et fait gagner du temps.

Le tracé des contours des stations à partir des relevés est plus ou moins facile, selon les cas. Parfois, le parcours sur le terrain permet de les repérer avec précision et de positionner les changements stationnels sur la carte. C'est par exemple le cas, lorsqu'il y a un changement net de la végétation indicatrice (apparition de la molinie ou de grandes laïches, présence de plantes traduisant une forte acidité du sol) ou de topographie (passage d'une station de versant à une station de plateau, délimitation d'une station très humide par une légère topographie en cuvette). Le tracé des limites s'appuie également sur tous les éléments intervenant dans la distribution des stations (géologie, répartition des sols, topographie, cours d'eau... ou toposéquences⁶⁾ usuelles présentées dans les catalogues de stations). L'apport des SIG est à ce niveau très intéressant, les informations géo-référencées disponibles étant de plus en plus nombreuses et facilement manipulables (croisement de couches, aide à la création de tracés...).

Les cartes prédictives des stations

Les données numériques spatialisées sont de plus en plus nombreuses et facilement disponibles. Elles concernent par exemple la topographie (modèles numériques de terrain représentant l'altitude, la pente, l'exposition...), le climat, la géologie, ou le sol⁷⁾. En couplant ces différentes couches à des bases de données phytoécologiques, il est possible de réaliser une cartographie prédictive des stations^{8) 9)}.

La *figure 2* résume les étapes permettant d'obtenir une telle carte. Il faut dans un premier temps identifier les facteurs écologiques ayant un sens physiologique, qui structurent les stations forestières de la région étudiée. Cela peut être la température (étages de végétation en montagne, effets de versant), le niveau trophique du sol (présence d'éléments chimiques favorables à la croissance des arbres), l'eau disponible pour les plantes ou encore l'engorgement du sol. Grâce à des bases de données phytoécologiques (comme celle de l'Inventaire forestier national ou la base EcoPlant¹⁰⁾, à des techniques de bioindication¹¹⁾ et aux données numériques spatialisées disponibles (cartes climatiques, cartes géologiques, modèle numérique de terrain...), il est possible de modéliser les principaux facteurs écologiques et de les spatialiser¹²⁾. Ainsi, dans les Vosges, le niveau trophique en un point donné peut être prédit à l'aide de la géologie, de la topographie, du drainage des sols et des grandes régions naturelles¹³⁾. Ces cartes de facteurs écologiques peuvent être utilisées directement pour prédire la distribution ou la croissance des essences en place. Elles peuvent également être transformées en classes puis combinées entre elles afin de dresser une cartographie prédictive des stations à l'échelle de la zone d'étude.

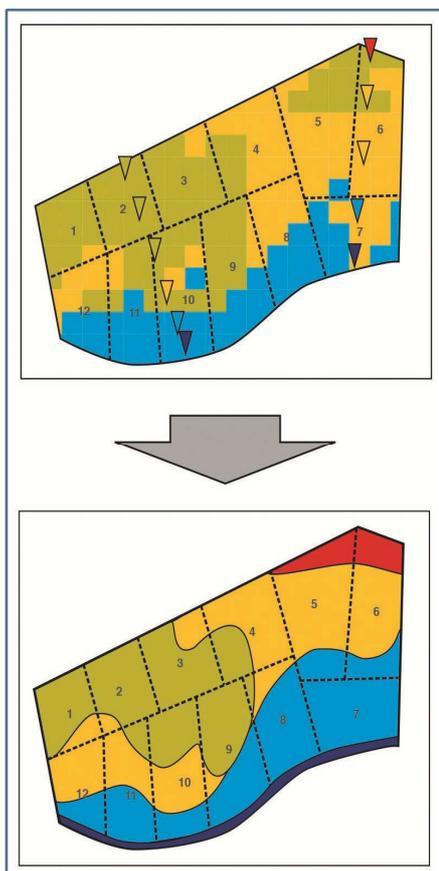
Si ces cartes prédictives ne nécessitent pas de campagnes de relevés de terrain comme pour la méthode de cartographie par échantillonnage, des informations collectées sur des placettes sont néanmoins nécessaires, pour leur calibration (le fait de travailler sur de vastes emprises permet l'utilisation de relevés phytoécologiques déjà existants) et leur évaluation. Les cartes produites doivent être validées, en comparant par exemple les prédictions avec des relevés de terrain géo-référencés qui n'ont pas servi à leur construction.

Comparaison des méthodes

Des comparaisons peuvent être réalisées entre les cartes de stations produites selon ces deux méthodes. Évaluer la concordance est cependant très difficile du fait d'importantes différences méthodologiques, conduisant à la nécessité de regrouper certaines stations. Par exemple, le taux de classements concordants varie dans les Vosges entre 37 et 100 % selon la station, avec une meilleure prédiction pour le gradient bioclimatique et le gradient trophique que pour le gradient hydrique¹⁴⁾. Des résultats analogues sont obtenus en Normandie dans le cadre du projet *EcoGeoDyn*⁹⁾.

Les deux approches présentent chacune des avantages et des inconvénients (*tableau 1, p. 42*). La cartographie par échantillonnage a l'avantage de s'appuyer sur des relevés effectués localement, mais a l'inconvénient de nécessiter un travail de terrain conséquent, dès que les surfaces à cartographier sont importantes. Chaque carte obtenue par échantillonnage est indépendante (les documents de référence pour la description des stations, la méthode de parcours des forêts ou l'opérateur peuvent varier d'une forêt à l'autre). À l'opposé, les approches prédictives permettent la réalisation à faible coût de cartes sur de vastes territoires, selon une méthode homogène. Elles intègrent les facteurs climatiques, et donc peuvent être utilisées pour l'évaluation des conséquences potentielles du changement de climat en cours. Cependant, il faut bien être conscient que la qualité des cartes prédictives des stations est dépendante de la qualité des informations initiales et du travail de synthèse réalisé lors de leur construction. Elles peuvent produire des résultats incohérents localement et nécessitent des vérifications de terrain. Par exemple, l'oubli d'une formation superficielle (un placage limoneux, par exemple) sur une carte géologique intervenant dans la modélisation d'un ou plusieurs facteurs écologiques peut entraîner des prédictions localement fausses. Cette approche à de larges échelles peut ainsi masquer des particularités locales, qui pourront être mieux intégrées avec une approche par échantillonnage.

Figure 3 – Les deux transects réalisés sur le terrain (lignes de triangles) permettent de mettre en évidence quelques incohérences, de cartographier deux stations rares (en rouge et en bleu foncé) et de contribuer au tracé des limites.



10) Gégout *et al.*, 2005.

11) Obtention de paramètres environnementaux en utilisant les organismes présents. Par exemple, calcul du pH du sol en fonction des plantes présentes sur la station.

12) Piedallu *et al.*, 2014.

13) Gégout *et al.*, 2008.

14) Piedallu *et al.*, 2006.

Tableau 1 – Comparaison des méthodes de cartographie des stations

Cartographie des stations		
	Carte par échantillonnage	Carte prédictive
Temps de réalisation	Lié à la surface à cartographier et à la précision souhaitée (définition lors du plan d'échantillonnage), important pour de grandes surfaces.	Le temps passé à la conception de la carte (modélisation, validation des résultats...) est relativement indépendant de la surface cartographiée. Permet de couvrir de vastes surfaces à faible coût.
Surface généralement concernée	Parcelle ou forêt : quelques hectares à quelques milliers d'hectares.	Grande région naturelle, région administrative.
Grain de la donnée	Selon la méthode d'échantillonnage et la densité des relevés.	En général pixels de 25 ou de 50 m de côté.
Découpage écologique des stations	Très fin (catalogue des stations) ou assez fin (guide des stations).	Variable selon les gradients pris en compte et le nombre de classes réalisées, peut-être plus fin que l'approche des catalogues pour certains facteurs (climat, niveau trophique), moins pour d'autres (eau du sol), avec de fortes hétérogénéités sur la zone étudiée.
Nature des informations utilisées	Le plus souvent qualitatives (type de sols, type de stations, présence de groupes écologiques...), plus rarement quantitatives (réserve utile maximale).	Variables quantitatives, discrétisées en classes lors de la réalisation de la carte prédictive des stations.
Prise en compte des grands gradients climatiques	Difficile, approche uniquement qualitative (tranche d'altitude, station d'adret, d'ubac...).	Oui, à des échelles variables (gradients régionaux, topoclimat), selon la précision des données climatiques.

Prise en compte des changements climatiques	Difficile.	Les variables climatiques étant intégrées dans les modèles, il est possible de les faire varier pour simuler les évolutions.
Prise en compte des particularités locales des sols (nature des matériaux, niveau d'engorgement, niveau trophique...)	Par des observations de terrain reflétant la réalité observée au lieu du relevé. Possibilité de passer à côté de particularités locales entre deux relevés.	Plus difficile, variable selon le facteur considéré. Tendance à lisser les valeurs extrêmes.
Prise en compte de la variabilité spatiale locale	Selon la densité de relevés de terrain, assez bonne à forte densité.	Variable selon la qualité des modèles, principalement dépendante de la variabilité locale de la topographie et de la géologie.
Cartographie des stations marginales (éboulis, tourbières, bords de ruisseau...)	Possible, à condition d'avoir une méthode d'échantillonnage adaptée.	Pas de prise en compte dans les modèles des facteurs écologiques. Peut se faire avec des données complémentaires.
Limites des cartes produites et facteurs d'imprécision	<ul style="list-style-type: none"> - Pertinence du découpage en unités stationnelles - Pertinence et précision des éléments relevés sur le terrain - Effet opérateur : niveau de compétence, choix de la méthode de parcours de la zone à cartographier, position des limites entre les relevés de terrain... 	<ul style="list-style-type: none"> - Pertinence et qualité des variables géoréférencées initiales - Peu d'observations de terrain à l'échelle locale - Niveau d'incertitude lié aux modèles construits - Carte pouvant être localement fautive si une composante engendrant la variabilité locale n'entre pas dans le modèle - Réalisation de classes pour créer la carte prédictive des stations - Le découpage en classes des unités stationnelles peut être une limite pour la prise en compte du changement de climat.

Vers une convergence des méthodes ?

Le *tableau 1* montre que les deux approches cartographiques diffèrent sur un certain nombre de points, mais peuvent également se compléter. Ainsi, les opérateurs qui réalisent des cartes de stations selon la méthode par échantillonnage utilisent de plus en plus les données numériques spatialisées disponibles pour améliorer leur cartographie et en diminuer le coût. Lors de la préparation de la phase de terrain, l'analyse sous SIG des données géologiques ou topographiques aide à définir le parcours qui sera suivi et à concentrer les relevés là où ils seront les plus utiles. En effet, il ne sert à rien de multiplier les sondages sur les zones homogènes et il faut, au contraire, les positionner sur les zones de forte transition, de façon à ne pas sous-échantillonner les stations rares ou de faible étendue. Toujours dans le cadre de cette méthode, une phase importante est le tracé des limites stationnelles à partir de relevés de terrain. Toute donnée spatialisée supplémentaire, précise et de qualité, contribue à définir ou affiner les tracés. Au regard des expériences acquises, les cartes prédictives obtenues par modélisation semblent bien indiquer les grands gradients de variabilité sur le terrain, mais peuvent parfois masquer une part de la variabilité locale, particulièrement à l'échelle de forêts de petite taille. Par ailleurs, le degré de fiabilité des cartes prédictives varie fortement selon les régions naturelles prises en compte. En effet, sur certaines, les données spatialisées disponibles traduisent bien la variabilité des stations alors que cela fonctionne moins bien sur d'autres. La carte prédictive peut ainsi servir de précartographie, qui doit être vérifiée et corrigée si nécessaire par des relevés de terrain judicieusement choisis (*figure 3 p. 41*), ce qui permet :

- d'éliminer des variations de stations prédites, mais pas retrouvées sur le terrain ;
- d'ajouter des variations stationnelles non prédites par la carte prédictive ;
- de déplacer des limites entre stations pour affiner la carte ;
- de repérer et cartographier les stations rares ou de faible étendue qui ne seraient pas prises en compte par la méthode.

La réalisation de cartes prédictives des stations est récente en France et ne concerne encore qu'un nombre d'études limité (massif vosgien et travail en cours dans le Nord-ouest). Leur usage d'un point de vue pratique par les gestionnaires forestiers est en cours de développement, notamment en ce qui concerne la vérification et la correction des erreurs¹⁵⁾ (15) voir l'article du projet *EcoGéoDyn* en Normandie article p. 44-48.). Dans un contexte où de nombreuses zones ne sont pas couvertes par des cartes de stations, particulièrement en forêt privée, et où le changement de climat en cours nécessite plus que jamais une bonne connaissance du milieu naturel pour orienter au mieux la gestion des peuplements, la cartographie prédictive offre une opportunité à saisir. Elle ne doit cependant pas s'opposer aux méthodes par échantillonnage. Si les cartes prédictives indiquent les gradients de stations sur de grandes surfaces, les relevés de terrain judicieusement disposés assurent une bonne validité locale. Dans une logique de convergence des méthodes, il apparaît important d'utiliser des approches compatibles pour définir et nommer les types de stations. Les cartes prédictives des stations s'inscrivent dans un cadre plus général de création et de diffusion de données numériques spatialisées. Des cartes prédictives concernant la distribution potentielle des espèces, leur croissance ou leur vulnérabilité potentielle peuvent également être établies. Il est important de garder une cohérence entre ces cartes, notamment dans le cadre de l'étude des effets du changement climatique.

A retenir :

Avec la multiplication des bases de données et de la mise en oeuvre de nouveaux outils informatiques, il est possible de réaliser plus rapidement des cartes de stations et d'établir des cartes prédictives sur de vastes territoires. La prise en compte des différentes stations à l'échelle de sa forêt permet au sylviculteur d'améliorer sa gestion forestière. La cartographie des stations permet de connaître les essences à introduire ou à favoriser et plus généralement d'optimiser la gestion des forêts. De nouvelles méthodes ainsi que des aides techniques comme les SIG et les GPS permettent de réaliser désormais des cartes à moindre coût. Cartographier ses stations reste un investissement certes, mais un investissement rentable, voire fondamental pour anticiper au mieux les changements climatiques.

Bibliographie

- Bazin N. et Gaudin S., 2004. La cartographie des stations, méthodes et conseils. Châlons-en-Champagne, CRPF de Champagne-Ardenne, (11 fiches).
- Brusten T. et Piedallu C., 2016. Des données spatialisées au service de la description du milieu. *Forêt-entreprise*, 228, 34-38.
- Gaudin S., Pont S. et Gantillon M., 2006. Le GPS : Un outil efficace pour se diriger en forêt. *Rev. For. Fr.*, 58(2), 141-154.
- Gaudin S., Pichery C. et Bertin S., 2011. Les cartes des stations : des outils à mieux valoriser. *Forêt-entreprise*, 198, 51-54.
- Gégout J.-C., Coudun C., Bailly G. et Jabiol B., 2005. EcoPlant: a forest site database linking floristic data with soil and climate variables. *Journal of Vegetation Science*, 16, 257-260.
- Gégout J.-C., Piedallu C., Cornu J.-F., et Cluzeau C., 2008. La cartographie prédictive des stations forestières : un nouvel outil au service du gestionnaire. *Rev. For. Fr.* 60(1), 37-60.
- Madrolles F. et Reboul J.-B., 2016. Le projet EcoGéoDyn en Normandie : des cartes prédictives aux utilisations pratiques dans les forêts normandes. *Forêt-entreprise*, 228, 44-48.
- Piedallu C. & Gégout J.-C., 2002. Étude de la précision du système GPS en milieu forestier. *Rev. For. Fr.* 54(5), 429-442.
- Piedallu C., Gégout J.-C., Cornu J.-F. et Cluzeau C., 2006. Cartographie prédictive des stations forestières du massif Vosgien, élaboration, validation et applications. Nancy, ENGREF, Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois. Rapport final de la convention de recherche ECOFOR-SERFOB, 86 p.
- Piedallu C., Perez V., Seynave I., Gasparotto D. & Gégout J., 2014. Présentation du portail web SILVAE : Système d'Informations Localisées sur la Végétation, les Arbres, et leur Environnement. *Rev. For. Fr.*, 66, 41-49.

Forest sites: comparison of mapping methods (field surveys vs predictive mapping)

Summary

A map of forest sites is helpful to correctly manage woodlands. New tools, such as GIS softwares, spatialized databases, and GPS devices improve the efficiency of forest sites mapping. There are two different ways to map forest sites: (1) collect field data (vegetation, soil, topography) and then use it to draw a map, or (2) use spatialized databases (GIS layers, spatialized phytoecological plots) over a broad area to produce a predictive map.

Both methods are compared in this article. Field surveys are quite expensive, especially when implemented on a broad area, but the resulting forest sites maps are most of the time quite reliable. Predictive mapping is efficient on large areas, but uncommon forest sites are difficult to spot and map with this method. Climate change can be easily taken into account with the predictive mapping method.

The combination of both methods leads to very interesting results: spatialized databases are used to improve field surveys and predictive maps are enhanced with field surveys.

Keywords: forest sites, mapping, field survey, GIS, GPS.