



**HAL**  
open science

## Des données spatialisées au service de la description du milieu

Thomas Brusten, Christian Piedallu

► **To cite this version:**

Thomas Brusten, Christian Piedallu. Des données spatialisées au service de la description du milieu. Forêt  
Entreprise, 2016, 228, pp.34-38. <hal-01335052>

**HAL Id: hal-01335052**

**<https://hal.science/hal-01335052v1>**

Submitted on 21 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.



HAL Authorization

# Des données spatialisées au service de la description du milieu

Par Thomas Brusten, CNPF-IDF et Christian Piedallu Inra-Lerfob

*Avec l'évolution informatique récente, les forestiers disposent de diverses bases de données phytoécologiques, associées à des données topographiques, pédologiques ou climatiques. Quels sont les différentes données disponibles et leur usage en lien avec la description des milieux forestiers ?*

**L**es données spatialisées sont de plus en plus utilisées pour la description des milieux forestiers. Elles concernent à la fois des relevés de terrain géoréférencés réalisés sur des placettes et des couches numériques représentant les variations spatiales des principaux facteurs écologiques, disponibles sous systèmes d'informations géographiques (SIG). La plupart d'entre elles couvrent de vastes territoires, le plus souvent l'ensemble de la France. Elles sont disponibles à des résolutions spatiales variables, allant de la placette jusqu'à des cellules dont la taille varie entre quelques mètres et plusieurs kilomètres de côté. Les principales données mobilisables sont décrites, avec quelques exemples d'applications en lien avec la typologie des stations forestières.

## Les bases de données phytoécologiques et phytosociologiques

Un relevé phytoécologique fournit à l'échelle de la placette (quelques dizaines à quelques centaines de m<sup>2</sup>) la liste des espèces végétales présentes ainsi que les caractéristiques physiques du lieu (forme d'humus, description du sol, topographie...). Deux grandes bases de données phytoécologiques existent en France :

- la base écologique de l'inventaire forestier de l'IGN. Sur chaque point d'inventaire, les équipes de l'IGN réalisent un relevé floristique et écologique en complément des données dendrométriques et de l'inventaire des arbres morts<sup>1)</sup>. Plus d'une trentaine de variables décrivent ainsi la placette et la fosse pédologique qui y est réalisée. Grâce à l'échantillonnage systématique mis en place en 2005, cette base constitue un observatoire écologique des écosystèmes forestiers, enrichie chaque année d'environ 6 000 relevés. Ces données brutes sont accessibles sur le site de l'IGN<sup>2)</sup>.

- EcoPlant, créée par AgroParisTech-Nancy, contient plus de 8 000 relevés réalisés dans le cadre de typologies de stations, de rapports, de thèses ou issus de réseaux de placettes<sup>3)</sup>. Environ 200 variables permettent de décrire la flore, et pour une majorité des relevés, une fosse pédologique et des analyses de sol réalisées en laboratoire. Ces données sont accessibles sur demande en fonction des restrictions d'usage liées à chaque étude. Certaines informations sont également mises à disposition *via* le portail SILVAE<sup>4)</sup>.

1) Drapier & Cluzeau, 2001.

2) <http://inventaireforestier.ign.fr/spip/spip.php?rubrique159>

3) Gégout *et al.*, 2005.

4) <http://silvae.agroparistech.fr/home/>

Piedallu *et al.*, 2014.

## Le saviez-vous ?

En reliant la présence des espèces aux données pédologiques, la base EcoPlant a permis d'établir le caractère indicateur de nombreuses plantes de la flore forestière vis-à-vis de certaines propriétés du sol : le pH, le taux de saturation en bases, le rapport C/N, l'engorgement temporaire ou permanent<sup>1</sup>). La valeur indicatrice d'une espèce pour une propriété donnée est définie comme la valeur de la propriété pour laquelle la probabilité de présence de l'espèce est maximale. À partir d'un simple relevé floristique, même incomplet, il est ainsi possible de prédire les propriétés physico-chimiques du sol, avec une marge d'incertitude associée, par combinaison des valeurs indicatrices des espèces présentes sur un même relevé. On parle de bio-indication. Cette technique permet également d'affiner les groupes d'espèces indicatrices utilisées dans les typologies de stations<sup>2</sup>).

1) Gegout *et al.*, 2003.

2) Gaudin, 2012.

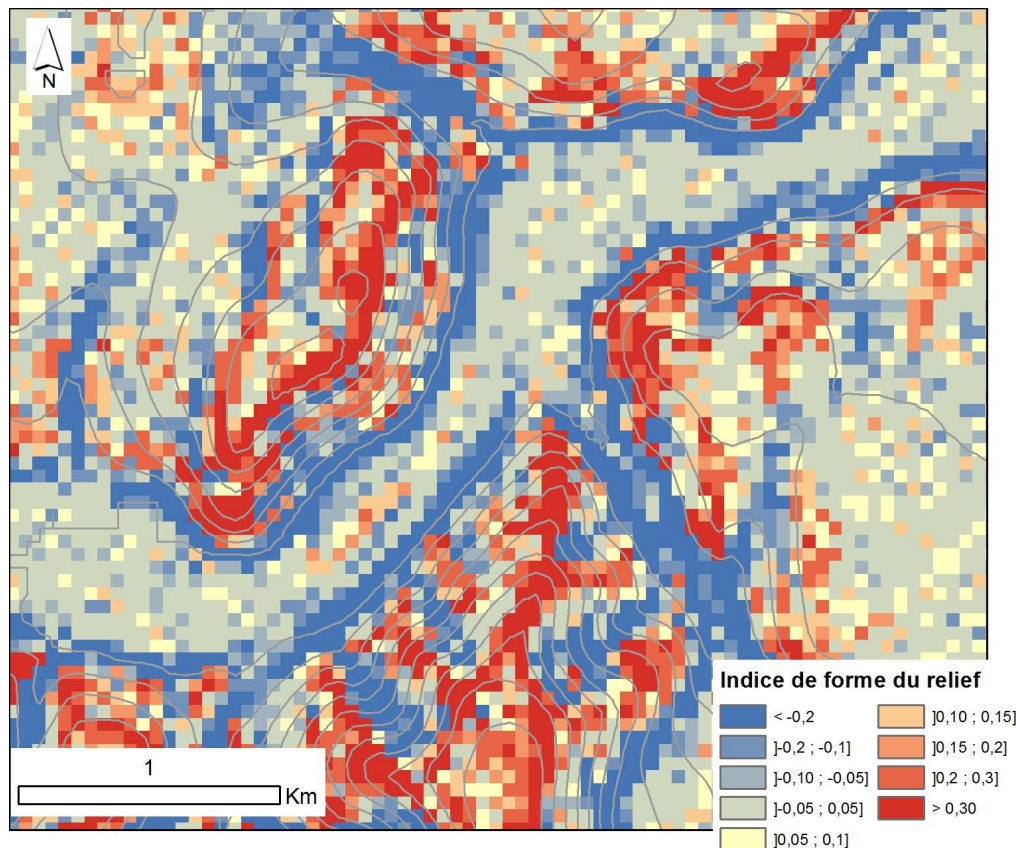


Figure 1 - Indice de forme de relief (positif en rouge = convexe, négatif en bleu = concave) dans la vallée de la Bruche (massif des Vosges). Les zones concaves sont souvent plus riches chimiquement et mieux alimentées en eau que les zones convexes.

**MNT** : Modèle numérique (de Terrain) représentant l'altitude. Différents MNT, de résolution et de qualité variables, existent :

- BD ALTI® de l'IGN (taille de cellule variant entre 1 m et 1000 m, [www.ign.fr](http://www.ign.fr)),

- SRTM (90m, <http://srtm.usgs.gov/>)

- ou ASTER (30 m, <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>).

Les bases de données phytocéologiques sont largement utilisées pour étudier le lien entre les espèces et leur environnement, pour réaliser des cartes de facteurs écologiques ou pour prédire la distribution ou la croissance des essences en intégrant les propriétés des sols<sup>5</sup>). D'autres bases de données se focalisant uniquement sur la description de la végétation, qualifiées de phytosociologiques, peuvent également être mobilisées. Citons par exemple la base Sophy, qui contient plus de 200 000 inventaires floristiques<sup>6</sup>), ou encore les données des conservatoires botaniques nationaux<sup>7</sup>). Elles peuvent être utilisées en complément des bases phytocéologiques pour la bio-indication, ou pour caractériser ou cartographier les habitats forestiers.

## Les cartes numériques disponibles sous SIG

Un nombre croissant de couches d'informations disponibles sous SIG sont mises à disposition des utilisateurs par différents organismes. Nous allons essayer de décrire brièvement les principales d'entre elles.

### Les données topographiques

De nombreux facteurs écologiques varient selon la topographie, comme le rayonnement solaire, la température, la disponibilité en eau, le vent, les caractères du sol... Outre l'extraction de valeurs d'altitude, les modèles numériques de terrain (MNT) permettent de calculer de nombreuses variables dérivées : pente, exposition, forme de relief, position topographique... (figure 1). Ces données sont utiles pour réaliser des découpages stationnels à l'échelle locale, car elles sont corrélées aux variations des climats et des sols.

### Les données liées au sol

Le sol est une composante essentielle de la station forestière, car il conditionne la capacité des essences à s'enraciner et s'alimenter selon leurs besoins. Le groupement d'intérêt scientifique Sol<sup>8)</sup>, coordonné par l'Inra d'Orléans, a pour objectif de constituer et de gérer des bases de données : fosses pédologiques et sondages à la tarière parfois accompagnés d'analyses physico-chimiques, cartes des sols. Les sondages ponctuels sont regroupés dans la base DONESOL<sup>9)</sup>.

5) Gégout *et al.*, 2008

6) <http://sophy.tela-botanica.org/sophy.htm>

7) [www.fcbn.fr](http://www.fcbn.fr)

8) GIS sol, [www.gissol.fr](http://www.gissol.fr)

9) Jamagne *et al.*, 1995

Référentiels cartographiques	Couverture métropolitaine	Echelle d'utilisation	Niveau d'utilisation
Base de données géographiques des sols de France (BDGSF)	Couverture nationale	1:1 000 000	National, non opérationnel à une échelle locale
Référentiel Régional Pédologique (RRP)	Couverture nationale informatisée, en voie de réalisation.	1:250 000	Régional ou départemental
Cartes à moyennes échelles	50-60% du territoire national couvert, mais pas toujours informatisé	1:25 000 à 1:100 000	Niveau local (utilisable à l'échelle du massif forestier)

**Tableau 1 - Les cartes des sols disponibles en France**

Les cartes (couches SIG) sont disponibles à des échelles allant du 1 : 1 000 000 au 1 : 25 000 (tableau 1). La priorité actuelle est l'achèvement de la couverture nationale au 1 : 250 000 à travers le programme de Référentiel régional pédologique (RRP). La cartographie des sols à moyenne échelle (1 : 100 000 à 1 : 25 000), opérationnelle au niveau local, couvre actuellement 50 à 60 % du territoire national<sup>10)</sup>, dont une partie seulement est informatisée. De nouvelles cartes sont publiées chaque année, mais les régions de montagne (Alpes, Pyrénées, Massif central) sont toujours très peu décrites. À défaut de carte des sols, les cartes géologiques peuvent être utilisées. Elles ont été informatisées et harmonisées pour chaque département par le Bureau de recherches géologiques et minières<sup>11)</sup>. Les caractéristiques d'un sol étant conditionnées par la géologie (type de roche, calcaire ou siliceuse, formations superficielles...), elles apportent une information pertinente sur la variabilité des stations. Remarquons toutefois que ces cartes, établies à des échelles allant jusqu'au 1:50 000, ne sont pas toujours précises localement. Par exemple, elles ne prennent pas toujours en compte les formations superficielles (les limons éoliens par exemple) qui peuvent fortement influencer les gradients trophiques et hydriques.

10) Richer de Forges *et al.*, 2014.

11) <http://infoterre.brgm.fr/>

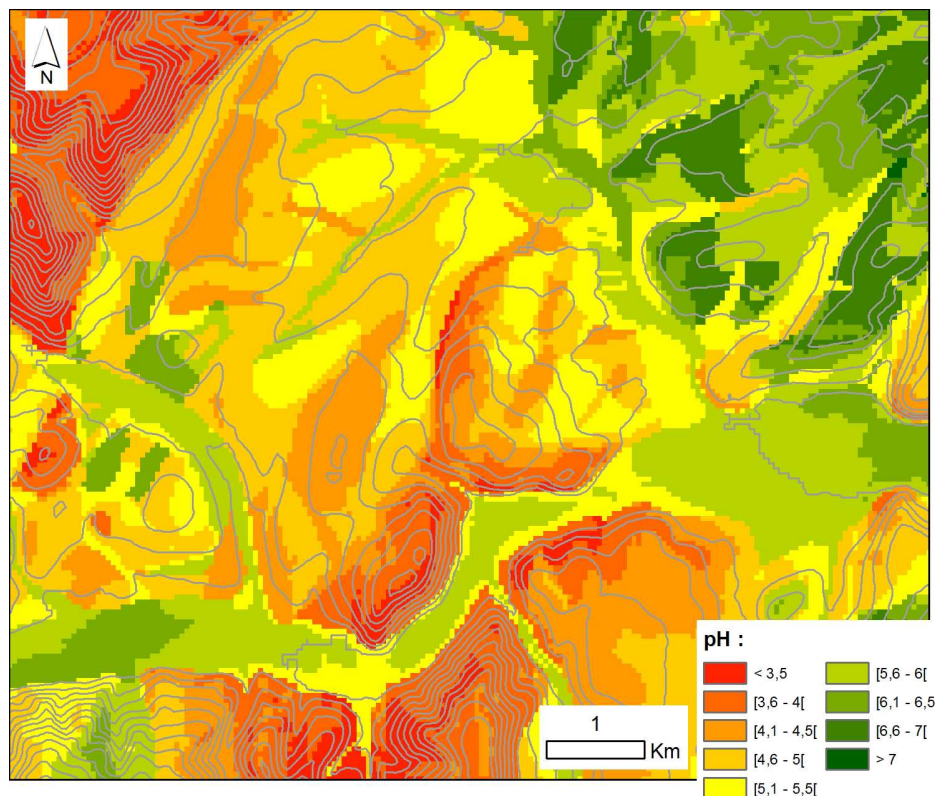


Figure 2 - Extrait, dans la vallée de la Bruche (Vosges) de la carte prédictive du pH des sols réalisée par bioindication à partir de relevés floristiques de l'IGN, dans le Nord-est de la France (Piedallu et al., 2010).

Bases de données	Origine	Principales données climatiques disponibles	Echelle temporelle	Résolution spatiale	Reference
AURELHY	Météo France	P, T, Nombre de jours de pluie, de gelée et de canicule	Moyennes annuelles et mensuelles trentenaires : 1961-1990, 1971-2000 et 1981-2010	1 km	(Benichou & Le Breton, 1987; Canellas <i>et al.</i> , 2014)
ETPQ	Météo France	ETP (formule de Penman-Monteith tenant compte de T, du rayonnement solaire, du vent, de l'humidité atmosphérique)		12 km	
SAFRAN	Météo France	P, T, humidité, vent, rayonnement solaire, ETP (Penman-Monteith)	Données horaires de 1958 à aujourd'hui	8 km	(Vidal <i>et al.</i> , 2010)
Digitalis	LERFoB	Rayonnement solaire, ETP (formule de Turc basée sur les températures et le rayonnement solaire), bilan hydrique climatique et édaphique	Moyennes mensuelles, différentes périodes depuis 1961	50 m à 1 km	(Piedallu, 2014)
GIEC	GIEC	Simulation des évolutions possibles du climat au cours du XXI <sup>ème</sup> siècle selon différents modèles et scénarios	2000-2100	Plusieurs dizaines de km	(IPCC, 2014)

**Tableau 2 - Principales cartes climatiques numériques actuellement disponibles en France.**

Voir aussi un comparatif détaillé des avantages et inconvénients des différentes données climatiques, dans Forêt-entreprise consacré à l'outil BioClimSol n° 218 p.16-17 et n° 220 p. 46-52.

Enfin, il existe des cartes des propriétés des sols réalisées par bio-indication ou à l'aide de données écologiques relevées sur le terrain. Citons par exemple les cartes de pH, C/N, S/T ou d'engorgement, élaborées à l'aide de la flore indicatrice ou les cartes de profondeur de sol, de texture, de charge en cailloux, de réserve utile maximale (RUM) des sols, issues des relevés IGN<sup>12)</sup> (*figure 2*). Ces données ont l'avantage par rapport aux précédentes d'avoir une action clairement identifiable au regard de la végétation. Certaines sont disponibles sous le portail SILVAE<sup>13)</sup>, d'autres sur le site du GIS sol. Elles ne permettent pas toutes une utilisation locale. Cependant, le développement de cartes à haute résolution spatiale sur un certain nombre de régions permet de les utiliser avec succès à l'échelle du massif, voire de la forêt<sup>14)</sup>.

### Les données climatiques

La prise en compte du climat est primordiale pour étudier les stations et leurs potentialités, en particulier dans un contexte de changement climatique. De nombreux paramètres sont mesurés par les stations météorologiques de Météo-France, à des pas de temps variables<sup>15)</sup> (de l'heure jusqu'au mois) : températures (T), précipitations (P), évapotranspiration potentielle (ETP), rayonnement, vent, humidité atmosphérique... Certaines séries de températures et de pluviométrie ont été corrigées de différents biais liés à des changements de conditions de mesure, et sont commercialisées sous le nom de « séries homogénéisées »<sup>16)</sup>. Ces informations peuvent être utilisées et combinées pour estimer localement le bilan hydrique des sols forestiers<sup>17)</sup>. Outre les données ponctuelles issues de relevés, plusieurs modèles mettent à disposition des cartes climatiques à différentes échelles spatiales et temporelles (*tableau 2*). Si la plupart d'entre elles caractérisent le climat passé à partir de mesures, certaines permettent de simuler l'évolution possible du climat dans le futur (modèles centralisés par le GIEC). Du fait de la forte hétérogénéité des prévisions pour un même scénario (c'est-à-dire pour une même hypothèse d'augmentation du taux de CO<sub>2</sub>), il est fortement recommandé d'utiliser les valeurs de plusieurs modèles afin de simuler une gamme d'évolutions réalistes. Plusieurs portails web ont pour vocation de mettre à disposition, des données climatiques. Il s'agit entre autres des portails DRIAS<sup>18)</sup>, Climat-HD<sup>19)</sup> et SCAMPEI<sup>20)</sup> développés par Météo France, ainsi que du portail SILVAE<sup>21)</sup> du Lerfob.

12) Gégout *et al.*, 2008.

13) <http://silvae.agroparistech.fr/home/>

14) Piedallu *et al.*, 2006

15) <http://publitheque.meteo.fr/okapi/accueil/okapiWebPubli/index.jsp>

16) Gibelin *et al.*, 2014

17) Granier *et al.*, 1995; <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/>; Richard *et al.*, 2013.

18) [www.drias-climat.fr](http://www.drias-climat.fr), voir aussi le portail Drias en p. 53.

19) <http://www.meteofrance.fr/climatpasse-et-futur/climathd>

20) <http://www.cnr.meteo.fr/scampe/>

21) <http://silvae.agroparistech.fr/home/>

### Quelques utilisations

Nous avons cherché à identifier les principales applications récentes de ces données numériques spatialisées en lien avec la typologie des stations et la définition des potentialités forestières. Différentes catégories d'études apparaissent, concernant la caractérisation des conditions de milieu, la cartographie de la distribution, de la croissance, ou de l'état de santé des arbres, ainsi que la sensibilité des sols (*tableau 3*). Dans ces études, les données numériques spatialisées sont principalement utilisées pour réaliser des échantillonnages, pour caractériser les conditions de milieu en un lieu défini (mise en relation entre la flore ou les essences et les caractéristiques du milieu), ou pour réaliser des cartes prédictives.

<b>Typologie et cartographie des stations forestières</b>	Pré-étude et mise au point d'un échantillonnage ciblé pour élaborer une typologie des stations forestières ou une carte des stations forestières (Bazin et Gaudin, 2004)
	Cartographie de facteurs écologiques (pH, RUM, bilan hydrique) et de leur évolution dans le temps (Piedallu <i>et al.</i> , 2011)
	Cartographie prédictive des stations forestières (Gégout <i>et al.</i> , 2008 ; voir projet EcoGéoDyn présenté en p. 44)
<b>Autécologie et choix des essences</b>	Prise en compte de la contrainte hydrique dans le choix des essences (Richard <i>et al.</i> , 2013)
	Modélisation de la niche écologique actuelle et future des essences (Badeau <i>et al.</i> , 2005 ; Piedallu <i>et al.</i> , 2009).
	Études sur le dépérissement des essences en lien avec les conditions climatiques et développement de cartes de vigilance climatique (Outil BioClimSol présenté dans le Forêt-entreprise n°218)
	Modélisation de la croissance actuelle et future des essences (Seynave <i>et al.</i> , 2004 ; Seynave <i>et al.</i> , 2006; Charru, 2012)
	Cartographie des potentialités sylvicoles (Boissier & Molines, 2014)
<b>Sensibilités des sols forestiers</b>	Cartographie de la sensibilité des sols forestiers au tassement et à l'orniérage (Staub, 2009)
	Cartographie de la sensibilité des sols forestiers à l'appauvrissement chimique (Piedallu <i>et al.</i> , 2010)

**Tableau 3 - Quelques usages appliqués des cartes numériques en lien avec la typologie des stations forestières et leurs potentialités. Les références citées sont illustratives et non exhaustives des travaux en lien avec ces thématiques.**

## Conclusion

Dans un contexte où l'adaptation des forêts au changement climatique nécessite de mieux comprendre les relations entre les espèces et les facteurs écologiques (sol, relief, climat), le développement et la mise à disposition de bases de données spatialisées offrent d'importantes opportunités pour le forestier. L'utilisateur doit cependant être vigilant quant à la qualité et aux limites d'usage de ces données. Il est recommandé de privilégier celles qui sont fournies par des institutions reconnues ou dont la méthode d'élaboration, la validation et les limites d'usage sont publiées. De plus, leur pertinence, leur qualité, la gamme d'échelles spatiales, leur domaine de validité et leur adéquation par rapport aux besoins doivent être soigneusement étudiés avant tout usage. Par exemple, pour des études locales, les données liées au sol, fortement variables dans l'espace, doivent être vérifiées et corrigées si besoin à l'aide de données de terrain. Une bonne utilisation des informations existantes contribue au développement de nouveaux outils de gestion (cartes prédictives des stations, cartes de distribution ou de croissance des essences...), intégrant à la fois la variabilité des sols et du climat, et pouvant prendre en compte les effets du changement climatique en cours.

Nos remerciements pour leur relecture à I. Seynave, V. Perez, B. Jabiol, M. Chartier.

## A retenir

Des données spatialisées sont utilisables pour caractériser la variabilité des milieux forestiers et leurs potentialités sylvicoles. Il s'agit de bases de données phytoécologiques géoréférencées et de cartes numériques (climat, topographie, sol et sous-sol) disponibles sous Système d'information géographique (SIG). Les applications de ces données sont nombreuses : typologie des stations forestières, études sur l'autécologie des essences, cartographie prédictive des stations forestières et de la sensibilité des sols forestiers, etc.

## Références

- Badeau, V., Dupouey, J.L., Cluzeau, C. & Drapier, J. (2005) Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100. *Forêt-Entreprise*, **162**, 25-29.
- Bazin N., Gaudin S. (2003) Test d'une méthode de cartographie rapide des stations forestières, synthèse générale - CRPF Champagne-Ardenne, Châlons-en-Champagne, 47 p.
- Benichou, P. & Le Breton, O. (1987) Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. *La Météorologie*, **7<sup>eme</sup> série, n°19**, 12.
- Boissier, J. & Molines, L. (2014) Une approche cartographique pour relancer la sylviculture du Châtaignier dans les Cévennes. *Revue Forestière Française*, **6**, 779-794.
- Canellas, C., Gibelin, A., Lassègues, P., Kerdoncuff, M., Dandin, P. & Simon, P. (2014) Les normales climatiques spatialisées Aurelhy 1981-2010 :températures et précipitations. *La météorologie*, **85**, 47-55.
- Charru, M. (2012) La productivité forestière dans un environnement changeant. Caractérisation multi-échelle de ses variations récentes à partir des données de l'inventaire forestier national et interprétation environnementale. *Thèse AgroParisTech (Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement)*, 417 pages.
- Drapier, J. & Cluzeau, C. (2001) La base de données écologiques de l'IFN. *Revue forestière française*, **53**, 365-371.
- Gaudin, S. (2012) Apports des bases de données de valeurs indicatrices pour la validation et l'amélioration de groupes d'espèces indicatrices forestières. *Bull. Soc. Sci. nat. Reims*, **26**, 3-16
- Gégout, J.C., Herve, J.C., Houllier, F. & Pierrat, J.C. (2003) Prediction of forest soil nutrient status using vegetation. *Journal of Vegetation Science*, **14**
- Gégout JC, Coudun C, Bailly G, Jabiol B. EcoPlant: A forest site database linking floristic data with soil and climate variables. *Journal of Vegetation Science* (2005) **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. *Revue Forestière Française* Vol. LX, n° 1, p. 37-60.
- Gibelin, A., Dubuisson, B., Corre, D., Deaux, N., Jourdain, S., Laval, L., Piquemal, J., Mestre, O., Denetière, D., Desmidt, S. & Tamburini, A. (2014) Évolution de la température en France depuis les années 1950. Constitution d'un nouveau jeu de séries homogénéisées de référence. *La météorologie*, **87**, 45-53.
- Granier, A., Badeau, V. & Breda, N. (1995) Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers. *Revue Forestière Française*, **XLVII**, 59-68.
- IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: eds. T. Core Writing, R.K. Pachauri and L.A. Meyer), pp. 1-151. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Jamagne, M., Hardy, R., King, D., Bornand, M. (1995). La base de données géographiques des sols de France. *Etude et Gestion des Sols*, 2-3, 153-172
- Piedallu, C., Gégout, J.C., Cornu, J.F. & Cluzeau, C. (2006) Cartographie prédictive des stations forestières du massif vosgien, élaboration, validation et applications, Rapport d'étude, conventions de recherche ENGREF-ECOFOR et ENGREF-SERFOB lorraine, Engref, p. 95.
- Piedallu, C., Perez, V., Gégout, J.C., Lebourgeois, F. & Bertrand, R. (2009) Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Epicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. *Revue Forestière Française*, **61**
- Piedallu, C., Kochert, T., Riofrio-Dillon, G., Staub, J., Messant, D., Asael, S., Serrate, D.,

- Perez, V., Pierrat, J., Jabiol, B., Lecocq, M. & Frémont, J. (2010) Projet 8 de la politique de qualité PEFC Lorraine 2007-2012 « Assurer une récolte raisonnée des rémanents en forêt ». Rapport d'étude, p. 46. Agroparistech, centre de Nancy - ONF, DT Lorraine, Nancy, France.
- Piedallu, C., Richard, J.B., Villiers, T., Gaudin, S., Lebourgeois, F., Legay, M., Perez, V., Davillier, S., Thirion, E., Riofrio-Dillon, G., Nicolas, M., Kochert, T., Cazet, M., Carnnot-Milard, L., Madesclaire, A. & Hodapp, R. (2011) Cartographie de l'évolution de la contrainte hydrique en contexte de réchauffement climatique, et exemple d'utilisation dans le cadre des catalogues et guides de stations forestières. Rapport d'étude AgroParisTech- Ecofor-Aforce, p. 60
- 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. *Revue Forestière Française*, **66**, 41-49.
- Richard, J., Piedallu, C., Gaudin, S. & Legay, M. (2013) Utilisation des cartes prédictives pour améliorer la prise en compte de la réserve hydrique dans le choix des essences. *Revue forestière Française*, **LXV**, janvier-février 2013, 37-56.
- Richer de Forges, A.C. et al. (2014) La cartographie des sols à moyennes échelles en France métropolitaine. *Etude et Gestion des Sols*, **21**, 25-36
- Seynave, I., Gégout, J.C., Hervé, J.C., Dhôte, J.F., Drapier, J., Bruno, E. & Dumé, G. (2004) Etude des potentialités forestières pour l'épicéa commun dans l'Est de la France à partir des données de l'IFN. *Revue forestière Française*, **LVI**, 537-550.
- Seynave, I., Gégout, J.C., Herve, J.C. & Dhôte, J.F. (2006) Facteurs écologiques et production du hêtre en France. *Forêt-Entreprise*, **167**, 41-45.
- Staub, J. (2009) Sensibilité des sols forestiers au tassement en Lorraine, p. 102 p. AgroParisTech, Nancy.
- Vidal, J.P., Martin, E., Franchisteguy, L., Baillon, M. & Soubeyroux, J.M. (2010) A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system. *International Journal of Climatology*, **30**, 1627-1644.