



**HAL**  
open science

## Estimation de la différence de température entre la forêt et les sites ouverts dans le Jura

Daniel Joly

► **To cite this version:**

Daniel Joly. Estimation de la différence de température entre la forêt et les sites ouverts dans le Jura. XXXe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Jul 2017, Sfax, Tunisie. pp.305-310. hal-03551038

**HAL Id: hal-03551038**

**<https://hal.science/hal-03551038v1>**

Submitted on 1 Feb 2022

**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.

## ESTIMATION DE LA DIFFÉRENCE DE TEMPÉRATURE ENTRE LA FORÊT ET LES SITES OUVERTS DANS LE JURA

JOLY D.

Laboratoire ThéMA, CNRS et UB-FC, 32 rue Mégevand, 25030 Besançon. Courriel : daniel.joly@univ-fcomte.fr

**Résumé :** Cet article porte sur la modélisation statistique des différences qui apparaissent entre la température observée en forêt et en site ouvert. Pour ce faire, nous utilisons un corpus de 29 couples de stations situées à faible distance l'une de l'autre dans les deux milieux et localisés dans le Jura (France). Les températures minimales ( $t_n$ ) et maximales ( $t_x$ ) ont été acquises de décembre 2014 à octobre 2015. La modélisation est fondée sur un modèle de régression où les variables explicatives sont deux variables temporelles relatives aux conditions atmosphériques (amplitude journalière et écart à la normale 1981-2010 des températures). En moyenne, les  $t_n$  sont plus élevés de  $1^\circ\text{C}$  et les  $t_x$  plus frais de  $2^\circ\text{C}$  dans la forêt que hors forêt. Les deux variables expliquent plus de 90% de la variance. Les estimations reproduisent bien les différences observées : les erreurs faibles ( $-0,4^\circ\text{C}$  à  $+0,4^\circ\text{C}$ ) concernent 45% des estimations. Mais des erreurs d'estimation supérieures à  $1,5^\circ\text{C}$  se produisent dans 10% des cas. Les RMSE et le  $R^2$  s'établissent à  $0,98^\circ\text{C}$  et  $0,4$  pour les  $t_n$  et à  $0,86^\circ\text{C}$  et  $0,44$  pour les  $t_x$ .

**Mots-clés :** température, forêt, sites ouverts, estimation, Jura.

**Abstract :** Estimation of the temperature difference between forest and adjacent open sites. This article focuses on the statistical modeling of daily averages differences that appear between the temperature observed under forest cover and the temperature observed within adjacent open sites. To achieve this goal, a corpus of 29 pairs of stations located at a short distance from each other in both environments over the Massif du Jura (France) is used. Minimum ( $t_n$ ) and maximum ( $t_x$ ) temperatures were acquired during 330 days, from December 2014 to October 2015. Modeling is based on a regression model where the explanatory variables are two temporal variables related to atmospheric conditions (daily amplitude and 1981-2010 temperature deviation). On average, minimum temperatures are higher by  $1^\circ\text{C}$  and cooler by  $2^\circ\text{C}$  in the forest than in open sites. The estimates accurately reproduce the observed differences, but estimation errors above  $1.5^\circ\text{C}$  occur in 10% of cases. Low errors ( $-0.4^\circ\text{C}$  and  $0.4^\circ\text{C}$ ) occur in 45% of days. RMSE and  $R^2$  are  $0.98^\circ\text{C}$  and  $0.4$  for  $T_n$  and  $0.86^\circ\text{C}$  and  $0.44$  for  $T_x$ .

**Keywords:** temperature, forest, open sites, estimation, Jura.

### Introduction

La variation de la température sous couvert forestier (SCF), question fort ancienne, est cependant encore peu étudiée de nos jours. Les conditions climatiques spécifiques qui règnent sous forêt résultent des arbres qui, avec leurs feuilles, leurs branches, leur tronc (Chen *et al.*, 1999), modifient pratiquement tous les éléments du climat et touchent tant le rayonnement solaire direct (Carlson et Groot, 1997 ; Porté *et al.*, 2004), la vitesse du vent (Grimmondet *et al.*, 2000) ou les précipitations (Lee, 1978). La variation journalière de la température est également modifiée par rapport aux sites ouverts adjacents en raison des composantes du bilan radiatif qui y sont très différentes. Les températures journalières sont tamponnées par le couvert arboré qui minore les maximums de quelques degrés selon la densité des arbres et relève d'autant les minimums quotidiens (Aussenac, 1975 ; Grimmondet *et al.*, 2000 ; Porté *et al.*, 2004 ; Joly, 2014A ; Joly 2014B ; Joly, 2015 ; Joly et Gillet, 2017).

Le moyen le plus efficace pour connaître avec précision les conditions climatiques SCF passe par l'implantation d'un réseau de capteurs spécifique dont les mesures permettent d'étudier les principaux éléments du climat dans leur continuité spatiale. Toutefois, la quasi-totalité des études portant sur le climat des forêts est fondée sur des données enregistrées en un petit nombre de stations et durant un temps court, généralement inférieur à un an (Friedland *et al.*, 2003 ; Porté *et al.*, 2004). De très rares études portent sur un réseau plus large de stations (Renaud et Rebetez, 2009). Le réseau que nous avons constitué en 2014 sur le massif du Jura vise à dépasser ces limites. Constitué de 50 capteurs (dont 29 en vis-à-vis de stations gérées par Météo-France) localisés selon des règles de l'échantillonnage spatial, ce

réseau permet d'interpoler les températures SCF avec une erreur d'estimation acceptable (Joly et Gillet, 2017). Les écarts moyens entre forêt et sites ouverts s'établissent à environs  $+1^{\circ}\text{C}$  le matin lors du minimum thermique et de  $-2$  à  $-3^{\circ}\text{C}$  l'après-midi lors du maximum et varient selon les formations arborées lors des maximums (Joly, 2014B). L'ennui est que ce réseau n'est pas destiné à rester actif très longtemps. Pour dépasser cette limite, les données qui y sont collectées doivent être modélisées en vue de rechercher une méthode qui permette de reconstituer les températures SCF sur de longues périodes à partir des seules températures fournies par Météo-France (MF).

L'objectif assigné à notre étude est de décrire la première étape de cette méthode, à savoir, modéliser les différences de température minimale et maximale journalière qui apparaissent entre les espaces ouverts et les espaces SCF adjacents. Nous nous appuyons pour ce faire sur 29 couples de stations appartenant à deux réseaux : celui de Météo-France et celui que nous avons constitué en forêt. L'aire d'étude concernée, située sur le massif du Jura, est limitée par la vallée du Doubs au nord et par la Haute Chaîne du Jura au sud. Les enregistrements concernent une période d'environ un an entre décembre 2014 et octobre 2015.

## 1. Données et méthode

La modélisation envisagée est fondée sur des régressions. Les différences de température entre température MF et température SCF constituent la variable expliquée tandis que les variables explicatives sont deux variables relatives aux conditions atmosphériques observées une station MF de référence. Besançon, la principale station de la région a été choisie car elle est destinée à être pérenne et dispose d'une très longue série d'observation (début des enregistrements : 1885). Les données mobilisées ayant été précisément décrites dans Joly et Gillet (2017), nous ne reproduisons ici que les éléments de base.

### 1.1. L'aire d'étude

L'aire d'étude (figure 1) est située en France du centre-est, entre la vallée du Doubs au Nord et le sud de la Haute Chaîne du Jura. Les altitudes sont comprises entre 200 m (plaines à l'ouest) et 1720 m (Crêt de la Neige, sommet de la haute chaîne jurassienne). La localisation de la forêt, qui recouvre 47% du territoire, est tout autant guidée par la topographie que par l'altitude, les vales défrichés s'opposant aux monts boisés. Dans sa composition, la forêt offre les formations typiques de la France de l'Est, réparties en quatre étages principaux (Gillet, 2001) : l'étage collinéen jusqu'à 600 m, l'étage montagnard inférieur entre 600 et 900 m, l'étage montagnard supérieur à partir de 900 m et l'étage subalpin inférieur au-dessus de 1300 m. Notons en outre que le sapin blanc a été planté jusqu'en plaine.

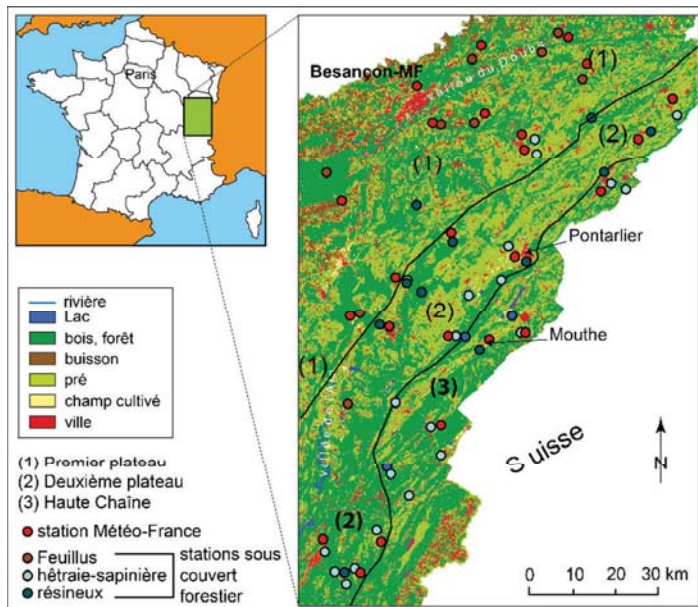


Figure 1. Aire d'étude et mode d'occupation du sol à 50 m de résolution; tiré de Joly et Gillet, 2017.

## 1.2. Acquisition des températures

Les températures observées en site ouvert ont été fournies gratuitement par Météo-France dans le cadre d'une convention de recherche. Notre propre réseau d'observation de la température SCF est constitué de 29 stations. Plusieurs critères ont guidé leur localisation : proximité de routes carrossables et des stations climatiques gérées par Météo-France. La température est mesurée toutes les 6 minutes grâce à des capteurs de type « HOBO PRO V2 » installés à 1,5 m au-dessus du sol sur le côté nord des arbres (Kollaset *al.*, 2013). Les enregistrements, qui s'échelonnent entre le 1 décembre 2014 et le 26 octobre 2015, comptent 3,5 % de lacunes. La tn et la tx quotidiennes (330 jours au total) sont extraites de la base de données.

Dans la suite du propos, nous utiliserons le terme « différence(s) » en lieu et place de la locution « différence(s) de température qui s'établi(ssen)t entre une station SCF et la station MF qui lui est appariée ». Le terme « différence-tn » ou « différence-tx » remplaceront « différence qui survient lors du minimum ou du maximum thermique journalier ». La différence est calculée pour les tn et tx des 330 jours que comporte la base de données.

## 1.3. Les variables explicatives temporelles

Les variables explicatives temporelles introduites pour expliquer la variation des différences concerne les conditions atmosphériques dont plusieurs travaux ont montré l'intérêt en microclimatologie (Joly, 1994 ; Joly, 2004). Il s'agit des deux indicateurs thermiques suivants calculés à partir des données de la station MF de Besançon :

- L'amplitude moyenne journalière qui oppose les jours à forte advection accompagnée le plus souvent d'une nébulosité importante et de vent (amplitude faible) aux jours où les processus radiatifs dominant (amplitude élevée).
- L'écart à la normale (1981-2010) des températures tn et tx de Besançon.

## 1.4. Méthode : construction du modèle spatial

La méthode est basée sur la construction d'un modèle temporel. La première étape consiste à calculer 330 (i) différences moyennes journalières, (ii) valeurs d'amplitude thermique journalière et (iii) valeurs d'écart des températures à la normale 1981-2010. Ensuite, on constitue deux tableaux de 330 lignes (jours) et deux colonnes pour appairer l'une puis l'autre variable explicative temporelle aux différences moyennes journalières. Un tri sur les variables explicatives est ensuite exécuté pour ranger les lignes des tableaux par ordre croissant. Chaque unité entière d'amplitude ou d'écart à la moyenne (constituée de plusieurs valeurs exprimées en dixièmes de degré) est considérée comme une classe ; enfin, la moyenne des différences est effectuée dans le cadre de chacune de ces classes.

Des régressions linéaires polynomiales de degré 1 à 4 appliquées aux différences (variable expliquée) et aux valeurs de classe (variable explicative) sont appliquées à chacun des deux tableaux. L'estimation d'une différence par le modèle temporel repose sur le produit de plusieurs termes : le(s) coefficient (s) directeur(s) moyen(s) et la valeur journalière de chacune des deux variables. Des estimations des différences sont ensuite effectuées. Le R<sup>2</sup> et le RMSE des résidus permettront d'évaluer leur performance.

## 2. Résultats

### 2.1. Statistiques descriptives

La différence moyenne globale est respectivement de +0,9 et -1,8°C pour les tn et les tx. Ces valeurs moyennes cachent en réalité une grande instabilité des différences moyennes quotidiennes qui peuvent varier de plus de 6°C d'un jour à l'autre lors des minimums et de plus de 5°C lors des maximums. A l'intérieur de chaque série journalière qui comporte 29 valeurs stationnelles, des différences singulières apparaissent également d'une station à l'autre. La statistique porte ici sur 9231 différences (330 jours x 29 sites = 9570 - 339 lacunes). La différence minimale et maximale rencontrée sur l'ensemble du corpus est de -7,5°C et 13,1°C pour les tn et de -9,6°C et 7,8°C pour les tx.

### 2.2. Coefficients directeurs des variables temporelles

L'instabilité des différences d'un jour à l'autre est réduite par les différences moyennes (-tn et -tx) calculées dans le cadre des classes regroupant les valeurs des variables explicatives par unités entières. La première variable temporelle qui explique les différences est l'amplitude thermique journalière. Avec les minimums, les différences sont voisines de 0°C pour les amplitudes de 1 à 7°C ; elles augmentent ensuite jusqu'à 2°C puis stagnent lorsque les amplitudes dépassent 15°C (figure 2A). Avec les maximums, on assiste à un comportement identique mais de signe opposé (figure 2B). Les différences sont également faibles, un peu inférieures à 0°C lorsque les amplitudes sont réduites (1 ou 2°C), puis augmentent rapidement et stagnent vers -2,3°C lorsque les amplitudes dépassent 10°C. On assiste donc à un modèle de croissance avec plafonnement, bien ajusté par un polynôme d'ordre 3 (tn) ou 2 (tx).

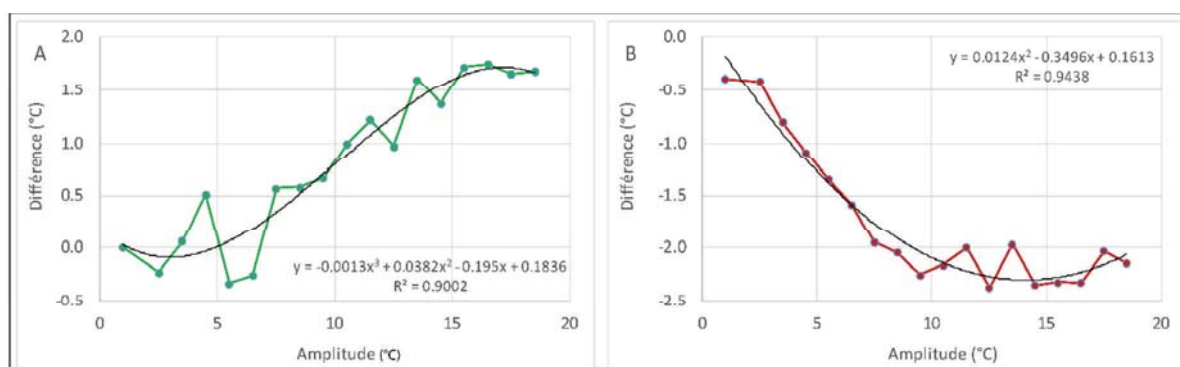


Figure 2. Variation croisée entre l'amplitude journalière (station MF de Besançon) et la différence journalière moyenne de température entre forêt et sites ouverts pour les minimums (A) et les maximums (B) ; ajustement polynomiale et paramètres associés

Les écarts à la normale, seconde variable explicative, rendent compte de variations inversées par rapport aux amplitudes. Avec les tn, les différences sont très élevées (plus de 2,5°C) quand les écarts à la normale sont fortement négatifs (-14°C) puis diminuent régulièrement pour atteindre des valeurs proches de 0°C lorsque les écarts à la normale sont positifs (figure 3A). Les tx présentent un comportement inverse avec des différences faibles quand les écarts à la normale sont fortement négatifs (figure 3B) ; les différences augmentent au prorata des écarts à la normale pour atteindre la valeur de -3°C quand les écarts à la normale sont supérieurs à 8°C. Des polynômes d'ordre 2 (tn) ou 1 (tx) ajustent ces distributions avec des  $r^2$  de 0,90 et 0,94 pour les tn et les tx.

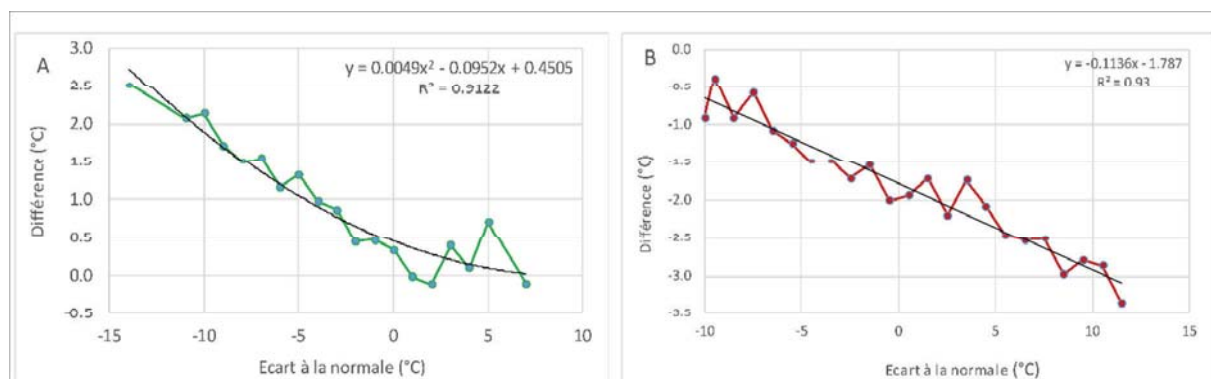


Figure 3. variation croisée entre l'écart à la normale des températures journalières de Besançon et la différence journalière moyenne de température entre forêt et sites ouverts pour les minimums (A) et les maximums (B) ; ajustement polynomial et paramètres associés

### 2.3. Estimation des différences entre températures SCF et MF

Les valeurs d'estimation des différences reproduisent dans les grandes lignes les différences observées. L'estimation prend bien en compte la tendance des  $t_n$  à présenter des différences positives et l'inverse pour les  $t_x$  (fig. 4). De même, certaines séquences de quelques jours successifs sont très bien reproduites. Mais, dans le détail, les différences observées les plus faibles (inférieures à  $-1^\circ\text{C}$  pour les  $t_n$  par exemple) ou les plus fortes (supérieures à  $0,5^\circ\text{C}$  pour les  $t_x$  par exemple) sont mal représentées. La distribution des résidus confirme ce diagnostic : si plus de 45% des résidus sont compris entre  $-0,4$  et  $+0,4^\circ\text{C}$ , 10% sont inférieurs à  $-1,5$  ou supérieurs à  $+1,5^\circ\text{C}$ . Le RMSE et le  $R^2$  sont de  $0,98^\circ\text{C}$  et  $0,4$  pour les  $t_n$  et de  $0,86^\circ\text{C}$  et  $0,44$  pour les  $t_x$ .

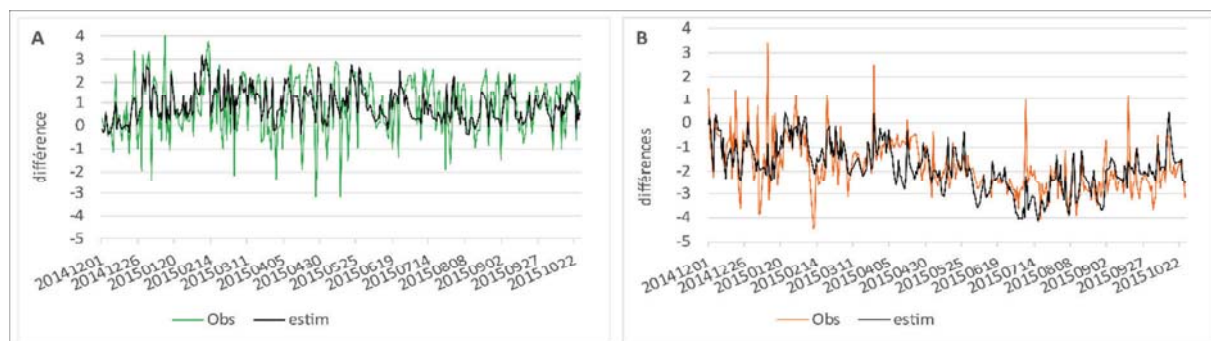


Figure 4. Différences moyennes journalières ( $^\circ\text{C}$ ) observées et estimées pour les minimums (A) et les maximums (B) ; courbe de régression polynomiale d'ordre 3 des différences observées

## Conclusion

La méthode mise au point pour estimer les différences de température est fondée sur la construction de modèles temporels qui intègrent deux variables : l'amplitude journalière et l'écart à la moyenne calculée sur les 30 ans de la normale 1981-2010 à la station de Besançon. Ces deux variables sont classées par ordre croissant ce qui permet de calculer une différence moyenne dans le cadre de chaque valeur entière d'amplitude et d'écart à la moyenne. Les ajustements par polynômes des distributions ainsi obtenues se sont révélés de bonne qualité, montrant par-là que, derrière le bruit statistique, il existe des tendances lourdes dans la variation des différences.

Les estimations reflètent bien les variations d'un jour à l'autre des différences. Des erreurs d'estimation supérieures à  $3^\circ\text{C}$  se produisent dans 10 % des situations analysées. Sans doute

d'autres variables explicatives pourraient-elles les réduire quelque peu. Compte-tenu des informations dont nous disposons, les résultats obtenus peuvent être qualifiés de satisfaisants. Dans le domaine de la modélisation, l'idéal est que les estimations soient ajustées le mieux possible aux observations. La méthode que nous avons utilisée n'y parvient pas tout-à-fait puisque des résidus parfois élevés apparaissent de temps à autre. Des jours particuliers en nombre réduit, très bruités, engendrent de fortes erreurs d'estimation et rendent le modèle moins pertinent. Toutefois, le modèle spatial présente l'immense avantage d'être applicable à toutes les situations pour lesquelles des observations de la température à Besançon sont disponibles. Ainsi, est-il loisible de reconstituer les différences depuis 1888, date d'ouverture de la station. Ce sera la prochaine étape.

**Remerciements:** à Météo-France pour la gratuité des données ; à la Zone Atelier de l'Arc Jurassien (<http://zaaj.univ-fcomte.fr>) ; aux maires des communes et aux propriétaires privés qui nous ont permis d'installer les capteurs dans leur parcelle de forêt.

## Bibliographie

- Aussenac G., 1975 : *Couverts forestiers et facteurs du climat : leurs interactions, conséquences écophysologiques chez quelques résineux*. Thèse d'Etat, Nancy, 234 p.
- Carlson D.W., Groot A., 1997 : Microclimate of clear-cut, forest interior, and small openings in trembling aspen forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, **87**, 313-329.
- Chen J., Saunders S.C., Crow T.R., Naiman R.J., Broszofski K.D., Mroz G.D., Brookshire B.L., Franklin J.F., 1999 : Microclimate in forest Ecosystem and landscape Ecology. *BioScience*, **49** (4), 288-297.
- Friedland A.J., Boyce R.L., Vostral C.B., Herrick G.T., 2003 : Winter and early spring microclimate within a mid-elevation conifer forest canopy. *Agriculture and Forest Meteorology*, **115**, 195-200.
- Gillet F. 2001 : L'étagement de la végétation. In: Ferrez Y. & Prost J.F. (ed.), Atlas des plantes rares ou protégées de Franche-Comté. Naturalia Publications, Turriers, p. 44-46.
- Grimmond C.S.B., Robeson S.M., Schoof J.T., 2000 : Spatial variability of micro-climatic conditions within a mid-latitude deciduous forest. *Climate Research*, **15**(2), 137-149.
- Joly D., 1994 : *Ambiances climatiques instantanées au Spitsberg ; pour une approche méthodique par niveau d'échelle*. Annales Littéraires de l'Université de Franche-Comté, n°529, Diffusion Les Belles Lettres, Paris, 404 p.
- Joly D., 2004 : Ambiances climatiques instantanées ; application à la microclimatologie du Spitsberg. *Norois*, **191**, 43-58.
- Joly D., 2014A : Comparaison des températures observées sous couvert forestier et en espace ouverts dans le Jura. Actes du 27<sup>ième</sup> colloque de l'AIC, 2-5 juillet 2014, Dijon, 48-53.
- Joly D., 2014B. Etude comparative de la température en forêt et en espace ouvert dans le parc naturel régional du Haut-Jura. *Climatologie*, **11**, 19-33.
- Joly D., 2015. Etude comparative de la température en forêt et en espace ouvert dans le parc Naturel Régional du Haut-Jura. *Climatologie*, 11. <http://odel.irevues.inist.fr/climatologie/index.php?id=562>
- Joly D., Gillet F., 2017 : Interpolation of temperatures under forest cover on a regional scale in the French Jura Mountains. *International Journal of Climatology*, DOI:10.1002/joc.5029.
- Kollas C, Randin CF, Vitasse Y, Körner C., 2013. How accurately can minimum temperatures at the cold limits of tree species be extrapolated from weather station data? *Agricultural and Forest Meteorology*, **184**, 257-266.
- Lee R., 1978 : *Forest microclimatology*. Columbia University Press, New York, 276 p.
- Porté A., Huard F., Dreyfus P., 2004 : Microclimate beneath pine plantation, semi-nature pine plantation and mixed broadleaved-pine forest. *Agricultural and Forest meteorology*, **126**, 175-182.
- Renaud V., Rebetez M., 2009 : Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland during the exceptionally hot summer of 2003. *Agricultural and Forest Meteorology*, **149**(5), 873-880.