

VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DES JOURS PROPICES AUX ÉVÉNEMENTS DE PLUIE VERGLAÇANTE/NEIGE COLLANTE EN EUROPE

Florian RAYMOND^{1,2}, **Philippe DROBINSKI**², **Nicolas ROCHE**³

¹ Université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, UFR LADYSS, 2 rue de la liberté 93200 Saint-Denis, florian.raymond02@univ-paris8.fr

² Institut Pierre Simon Laplace/Laboratoire de Météorologie Dynamique, Ecole Polytechnique, route de Saclay 91120 Palaiseau, philippe.drobinski@lmd.polytechnique.fr

³ ENEDIS, 34 square des Corolles 92400 Courbevoie, nicolas.roche@enedis.fr

Résumé : Les événements de pluie verglaçante et neige collante sont des phénomènes climatiques favorisant l'apparition de glace pouvant avoir des impacts considérables notamment sur le réseau de distribution d'électricité. Pour appréhender la variabilité spatio-temporelle historique et future de ces événements, les données quotidiennes des températures et précipitations provenant de la base de données E-OBS ainsi que des simulations régionales Euro-CORDEX sont utilisées. Sur la période historique, 47% (48%) du domaine montre une augmentation (diminution) des jours aux conditions météorologiques de surface propices à l'occurrence de ce type d'événements. Au cours du 21^{ème} siècle, la tendance est à la baisse quasi générale du nombre de jours propice à l'échelle de l'Europe, sauf sur une partie de la Scandinavie.

Mots-Clés : Pluie verglaçante, Neige collante, variabilité, Europe

Abstract : Freezing rain and wet snow events are climatic phenomena that promote the occurrence of ice and can have considerable impacts on the electricity distribution network. To understand the historical and future spatio-temporal variability of these events, daily temperature and precipitation data from the E-OBS database and from the regional Euro-CORDEX simulations are used. During the historical period, 47% (48%) of the domain shows an increase (decrease) in days with surface conditions favourable to the occurrence of these types of events. During the 21st century, the trend is towards an almost general decrease in the number of favourable days to these events across Europe, except over a part of Scandinavia.

Keywords : Freezing rain, Wet snow, variability, Europe

Introduction

L'un des enjeux du changement climatique actuel porte sur la variabilité spatio-temporelle future des événements climatiques extrêmes. Nombre d'entre eux sont notamment amenés à interférer, par exemple, avec le réseau de distribution d'électricité, pouvant causer de nombreux dégâts, priver temporairement d'énergie de nombreux usagers et nécessiter des moyens humains et matériels importants pour rétablir le réseau. C'est dans ce contexte que Enedis, en charge de la distribution de l'électricité en France, souhaite pouvoir appréhender les enjeux du changement climatique sur la résilience du réseau de distribution d'électricité face à la variabilité et aux caractéristiques futures de ces aléas climatiques. Un tel projet s'inscrit notamment dans une réflexion autour d'une possible évolution des infrastructures pour faire face au climat de demain et à ses extrêmes.

En Europe, les épisodes de pluie verglaçante et de neige collante sont des événements climatiques hivernaux qui provoquent la formation de glace/givre pouvant notamment entraîner de nombreux dégâts sur les arbres, les routes, perturber les transports, amener à la fermeture temporaire d'écoles, causer de nombreuses pertes économiques pour l'agriculture et certaines entreprises, mais également engendrer des ruptures de lignes/pylônes électriques (Call, 2010 ; Bonneli et al., 2011 ; Lambert and Hansen, 2011). A titre d'exemples, l'épisode de 2005 en Allemagne a détérioré plus de 70 pylônes électriques et privé d'électricité près de 200 000 personnes (Broström, 2007). L'épisode qui s'est produit en 2014 en Slovénie à, entre

autres, endommagé fortement plus de 174 km de lignes électriques, privant près de 25% de la population slovène d'électricité (Forbes et al., 2014 ; Kämäräinen et al., 2017). Enfin, l'événement de 2017 en Italie a privé plus de 300 000 personnes d'électricité pendant plusieurs jours.

La plupart des études qui se concentrent sur la variabilité spatio-temporelle des événements de pluie verglaçante et de neige collante sont localisées en Amérique du Nord, région qui est très régulièrement soumise à ce type d'épisodes. Il n'existe au final que très peu d'études portant sur l'Europe. Groisman et al. (2016) ont montré que l'occurrence de tels événements climatiques avait légèrement augmenté en Norvège, tout comme sur l'est de la Russie et l'ouest de la Sibérie. Kämäräinen et al. (2018) montrent que la plupart des épisodes de pluie verglaçante semblent être localisés dans l'est de l'Europe, et qu'ils devraient être de moins en moins nombreux à l'avenir (excepté en Scandinavie). Ainsi, l'objectif de cette étude est de tenter d'appréhender la variabilité spatio-temporelle historique et future des événements de pluie verglaçante et de neige collante en Europe, pour notamment participer à l'aide à la décision des institutions face au changement climatique à venir.

1. Données et méthode

Cette étude se concentre sur deux périodes principales, couvrant tout d'abord de 1951 à 2018 pour explorer la variabilité historique de ces événements climatiques extrêmes. Dans un second temps, trois sous périodes sont utilisées pour appréhender leur variabilité future : (i) de 1972-2005 (période historique de référence), (ii) 2026-2059 (proche horizon) et 2065-2098 (horizon lointain). Le domaine d'étude couvre de 12°O à 42°E en longitudes et de 34°N à 72°N en latitudes.

1.1. Données d'observation

Les données quotidiennes des températures minimales/maximales et des cumuls de précipitation issues des séries E-OBS v.22. de l'European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) sont utilisées pour étudier la variabilité historique des épisodes de pluie verglaçante et de la neige collante sur la période 1951-2018. Ces données en points de grille à haute résolution spatiale (0.25° de longitude et latitude) sont issues de l'interpolation de séries d'observations provenant de 7 336/7 263/14 472 stations météorologiques (températures max/températures min/précipitations) réparties sur l'Europe, le Proche-Orient et l'Afrique du Nord (Haylock et al., 2008 ; Cornes et al., 2018). Comme mentionné par Hofstra et al. (2009), un tel jeu de données contient inévitablement des erreurs et des incertitudes qui proviennent notamment des changements d'emplacement des stations, des erreurs de mesure, des incertitudes liées à l'interpolation et à la densité du réseau de stations. Par conséquent, les données E-OBS ont été largement évaluées dans la littérature (Hofstra et al., 2009, 2010 ; Kysely et Plavcova, 2010 ; Flaounas et al., 2012 ; Prein et Gobeit, 2017). Ces études montrent que les données E-OBS restituent bien la distribution spatio-temporelle des séries des précipitations et des températures, même si les valeurs extrêmes ont tendance à être sous-estimées, notamment pour les précipitations dans les secteurs à faible densité de stations.

1.2. Simulations climatiques

Pour étudier comment le changement climatique pourrait modifier la variabilité future des événements de pluie verglaçante et de neige collante, nous utilisons les données quotidiennes des températures minimales/maximales et des cumuls de précipitation issues des simulations climatiques réalisées dans le cadre de l'initiative Euro-CORDEX (Jacob et al. 2014). Deux scénarios portant sur les trajectoires des concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère (appelés scénarios RCP) sont utilisés (Moss et al. 2010) : le scénario RCP4.5 (forçage radiatif mondial de + 4,5 W.m⁻² d'ici 2100, par rapport à l'ère préindustrielle) ; et le scénario RCP8.5 (forçage mondial de + 8,5 W.m⁻² d'ici 2100, par rapport à l'ère

préindustrielle). Le tableau 1 présente les modèles régionaux du climat dont sont issues les simulations climatiques utilisées dans cette étude (ainsi que les modèles globaux qui ont forcés les modèles régionaux).

Tableau 1. Les différents modèles climatiques régionaux (RCM) issus de l'initiative EURO-Cordex dont les simulations quotidiennes des températures minimales/maximales et des cumuls de précipitation sont utilisées dans cette étude. La liste comprend le nom de l'institut d'origine du modèle, le nom du modèle régional ainsi que le nom du modèle climatique global (GCM) qui a servi à forcer le modèle régional.

Institut	Modèle régional	Modèle global
IPSL	WRF381P	IPSL-CM5A-MR
KNMI	RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
SMHI	RCA4	MOHC-HadGEM2-ES
CLMcom	CCLM4	MPI-ESM-LR
DMI	HIRAM5	NCC-NorESM1-M

1.3. Détection des jours propices aux événements de pluie verglaçante et/ou neige collante

Comme nous ne disposons pas d'informations précises sur les jours réellement affectés par un ou plusieurs événements de pluie verglaçante et/ou de neige collante sur l'Europe, nous nous sommes concentrés sur les jours qui présentent des conditions météorologiques de surface propices à l'occurrence d'événements de ce type (appelés "jours propices" ci-après). Sur d'autres secteurs disposant de données précises, Cortinas (2000) montre que la plupart des événements de pluie verglaçante dans la région des grands lacs d'Amérique du Nord se sont produits pour des températures de surface comprises entre -5°C et 0°C, tout comme Cortinas et al. (2004) aux États-Unis et au Canada et Carriere et al. (2000) sur l'Europe pour quelques saisons ciblées. Makkonen et Wichura (2010) indiquent qu'en Allemagne, les événements de neige collante se sont produits avec des températures de surface comprises entre 0°C et +2°C, comme Bonelli et al. (2011) en Italie. Les épisodes de pluie verglaçante ou de neige collante ne sont marquants que s'ils sont associés à des dommages pour l'environnement et/ou les sociétés. Le service météorologique national des États-Unis parle de tempête de verglas lorsqu'au moins 5 mm de pluie verglaçante sont tombés (US NWS, 2013). Comme le mentionnent Rauver et al. (1994), environ 5 mm de pluie verglaçante sont tombés les 14 et 15 février 1990 en Illinois, causant plus de 12 millions de dommages. Ainsi, les jours ayant une température comprise entre -5°C et +2°C et un cumul de précipitations supérieur ou égal à 5 mm sont ici retenus comme étant des jours avec des conditions météorologiques de surface propices aux événements de pluie verglaçante et/ou de neige collante, entraînant une potentielle accumulation de glace dommageable.

2. Variabilité des jours propices

2.1. Variabilité historique

Sur la période historique (1951-2018), certains secteurs ont été plus régulièrement exposés à des jours propices (figure 1a). C'est notamment le cas pour les régions de montagne (les massifs norvégiens, les Alpes, les Pyrénées et les massifs écossais), étant notamment plus régulièrement exposées à des températures comprises dans l'intervalle étudié, avec de 500 à jusqu'à 2040 jours propices en 68 ans. Il semble que le facteur « altitude » soit le principal facteur explicatif de la variabilité spatiale de l'occurrence des jours propices en Europe. On observe également un léger gradient longitudinal et latitudinal, avec davantage de jours propices détectés sur l'est (proche de 400 jours) que sur l'ouest de l'Europe (pas plus de 50 jours), et au nord (jusqu'à 500 jours) par rapport au sud de l'Europe (pas plus de 50 jours en moyenne).

Cela s'explique notamment par l'influence du climat océanique sur la façade ouest, avec des températures plus douces que le climat continental rencontré sur le centre et l'est de l'Europe, tout comme le climat du nord de l'Europe qui est bien plus froid que le climat méditerranéen rencontré au sud de l'Europe.

Entre les périodes 1951-1984 et 1985-2018, 47% du territoire étudié a subi une augmentation du nombre de jours propices, principalement sur l'est et le nord de l'Europe (figure 1b). Sur ces secteurs, seuls 40% des augmentations sont statistiquement significatives (test du χ^2 , comparaison de plusieurs proportions observées ; seuil de signification de 0,05). L'augmentation du nombre de jours propices sur ces secteurs de l'Europe s'explique par une augmentation du nombre de jours ayant des températures comprises entre -5°C et $+2^{\circ}\text{C}$ sur la période 1985-2018 par rapport à la période 1951-1984 (du fait de l'augmentation des températures pour un climat régulièrement plus froid que l'intervalle étudié ; non montré ici), et une augmentation du nombre de jours avec au moins 5 mm de cumuls de précipitations (augmentation des précipitations sur toute la moitié nord de l'Europe depuis le milieu du 20^{ème} siècle ; non montré ici). A l'inverse, 48% du territoire étudié a subi une diminution du nombre de jours propices, cette fois-ci sur la partie centrale de l'Europe, mais également sur l'ouest et le sud. Seules 30% des diminutions observées sont statistiquement significatives. Les facteurs explicatifs quant à la diminution du nombre de jours propices sur ces secteurs sont une augmentation des températures pour un climat déjà régulièrement au-dessus de l'intervalle étudié, associé à un assèchement de la moitié sud de l'Europe (non montré ici). Enfin, 5% du territoire étudié n'a observé aucune évolution du nombre de jours propices entre ces deux périodes contemporaines. Au final, seules 32% des évolutions observées en Europe sur le nombre de jours propices sont statistiquement significatives sur la période historique.

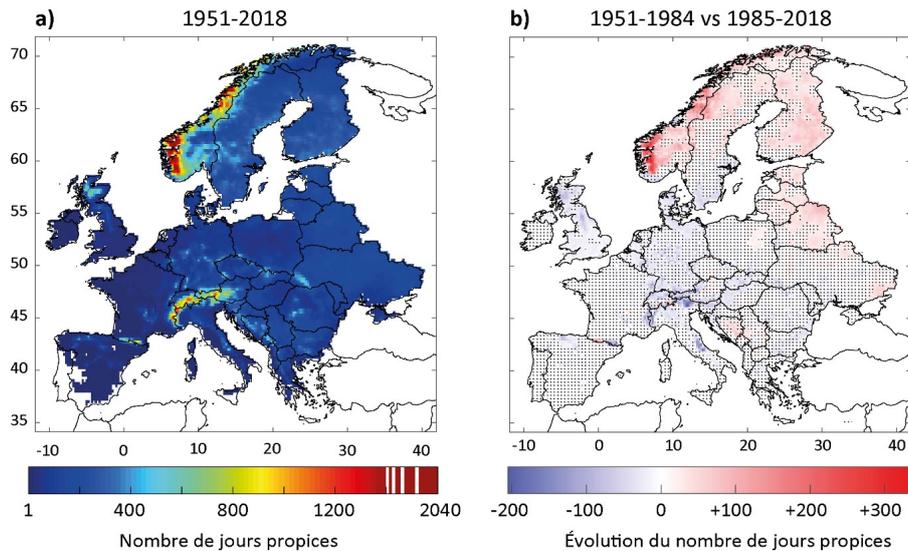


figure 1. a) Nombre de jours propices (température $\geq -5^{\circ}$ et $\leq +2^{\circ}\text{C}$ et cumuls de précipitation $\geq 5\text{mm}$) en Europe sur la période 1951-2018. b) Évolution du nombre de jours propices en Europe entre les périodes 1951-1984 et 1985-2018. Les évolutions non statistiquement significatives sont indiquées en pointillés noirs (comparaison de plusieurs proportions observées avec le test de χ^2 ; seuil de signification de 0,05).

2.2. Variabilité future

Que ce soit pour un horizon proche ou lointain, et peu importe la trajectoire d'émission de gaz à effet de serre envisagée (RCP4.5 ou RCP8.5), la grande majorité de l'Europe tendrait vers une diminution du nombre de jours propices au cours des prochaines décennies (figure 2). En effet, entre 82% et 89% du territoire étudié montre une probable diminution des jours propices à l'avenir. En revanche, la grande majorité des évolutions identifiées au cours du 21^{ème} siècle ne sont pas robustes, c'est à dire que moins de 4 modèles sur les 5 utilisés s'accordent pour montrer des tendances statistiquement significatives du même signe (entre 83% et 93% d'évolutions non robustes, sauf pour l'horizon lointain de la trajectoire RCP8.5 qui montre tout de même 47% d'évolutions robustes à l'échelle de l'Europe). Seule une petite partie de la Scandinavie semble montrer une légère augmentation (majoritairement non robuste) sur le nombre de jours propices d'ici à la fin du 21^{ème} siècle.

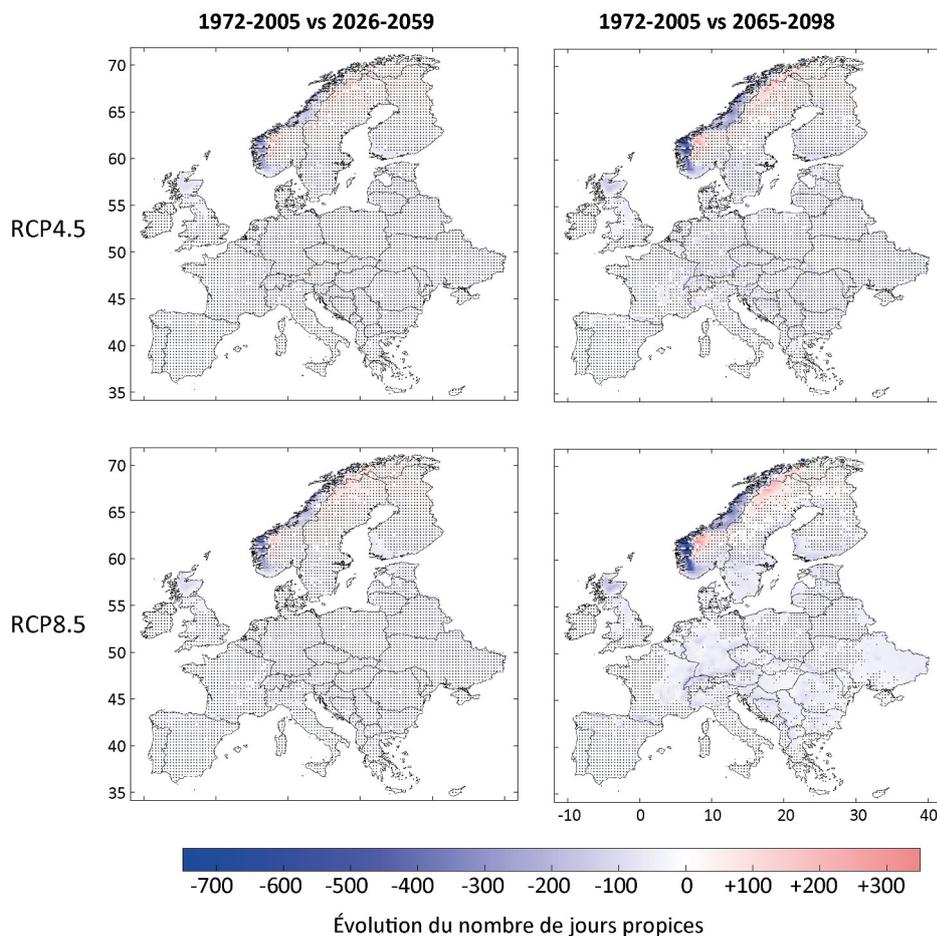


figure 2. Évolution future multi-modèles du nombre de jours propices pour les trajectoires d'émission de gaz à effet de serre RCP4.5 (panel du haut) et RCP8.5 (panel du bas), et pour les proches (panel de gauche ; 2026-2059) et lointains horizons (panel de droite ; 2065-2098), par rapport à la période historique de référence 1972-2005. Les simulations quotidiennes des températures minimales et maximales et des cumuls des précipitations issues de 5 modèles Euro-CORDEX sont utilisées : CCLM4 ; HIRAM5 ; RACMO22E ; RCA4 et WRF381P. Les évolutions non robustes sont indiquées en pointillés noirs, *i.e.* quand moins de 4 modèles sur les 5 s'accordent pour montrer une évolution statistiquement significative du même signe (test du χ^2 , seuil de 0,05).

Conclusion

Cette étude a pour objectif d'étudier la variabilité spatio-temporelle historique et future des jours propices à l'apparition d'événements de pluie verglaçante et/ou neige collante potentiellement dommageables en Europe. Ainsi, une grande majorité de l'Europe devrait être exposée à un recul du nombre de jours propices d'ici à la fin du 21^{ème} siècle, du fait d'une augmentation des températures déjà régulièrement au-dessus de l'intervalle étudié associé à un assèchement pour la moitié sud de l'Europe (déjà peu exposé aux jours propices sur la période historique). Seule une petite partie de la Scandinavie serait davantage exposée aux jours propices, du fait de l'augmentation des températures pour un climat régulièrement plus froid que l'intervalle étudié sur ces secteurs, associé à une augmentation probable des précipitations. Dans le contexte actuel et futur du changement climatique, ces résultats sur les jours propices sont plutôt rassurants pour les gestionnaires du réseau de distribution d'électricité tel que Enedis en France, pour qui ce type d'événements climatiques extrêmes peut engendrer des dégâts et des coûts importants.

Remerciement : nous tenons à remercier chaudement Enedis pour son engagement et son accompagnement permettant de mener à bien ce projet de recherche portant sur la résilience du réseau de distribution d'électricité face à la variabilité et aux caractéristiques futures des aléas climatiques extrêmes, dans lequel s'inscrit cette étude.

Bibliographie

- Bonelli P., Lacavall M., Marcacci A.P., Mariani G., Stella G., 2011: Wet snow hazard for power lines: a forecast and alert system applied in Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **11**, 2419-2431.
- Broström E., 2007: *Ice Storm Modelling in Transmission System Reliability Calculations*. Thesis of the School of Electrical Engineering Electric Power Systems, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Call D.A., 2010: Changes in Ice Storm Impacts over Time: 1886-2000. *Weather, Climate, and Society*, **2**, 23-35.
- Carriere J.M., Lainard C., Le Bot C., Robart F., 2000: A climatological study of surface freezing precipitation in Europe. *Meteorological Applications*, **7**, 229-238.
- Cornes R.C., van der Schrier G., van den Besselaar E.J.M., Jones P.D., 2018: An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **123**, 9391-9409.
- Cortinas J., 2000 : A Climatology of Freezing Rain in the Great Lakes Region of North America. Monthly. *Weather Review*, **128**, 3574-3588.
- Cortinas J., Bernstein B.C., Robbins C.C., Strapp J.W., 2004: An Analysis of Freezing Rain, Freezing Drizzle, and Ice Pellets across the United States and Canada: 1976-90. *Weather and Forecasting*, **19**, 377-390.
- Flaounas E., Drobinski P., Borga M., Calvet J.C., Delrieu G., Morin E., Tartari G., Toolon R., 2012: Assessment of gridded observations used for climate model validation in the Mediterranean region: the HyMeX and MEDCORDEX framework. *Environmental Research Letters*, **7**, 024017.
- Forbes R., Tsonevsky i., Hewsom T., Leutbecher M., 2014: Towards predicting high-impact freezing rain events. *ECMWF letter*, **141**, 15-21.
- Groissman P.Y., Bulygina O.N., Yin X., Vose R.S., Gulev S.K., Hanssen- Bauer I., Frland E., 2016: Recent changes in the frequency of freezing precipitation in North America and Northern Eurasia. *Environmental Research Letters*, **11**, 045007.
- Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D., New M., 2008: A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *Journal of Geophysical Research*, **113**, D20119.
- Hofstra N., New M., McSweeney C., 2010: The influence of interpolation and station network density on the distributions and trends of climate variables in gridded daily data. *Climate Dynamics*, **35**, 841-858.

Hofstra N., Haylock M., New M., Jones P., 2009: Testing E-OBS European high-resolution gridded data set of daily precipitation and surface temperature. *Journal of Geophysical Research*, **114**, D21101.

Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O., Bouwer L., Braun A., Colette A., Déqué M., Georgievski G., Georgopoulou E., Gobiet A., Menut L., Nikulin G., Haensler A., Hempelmann N., Jones C., Keuler K., Kovats S., Kröner N., Kotlarski S., Kriegsmann A., Martin E., van Meijgaard E., Moseley C., Pfeifer S., Preuschmann S., Radermacher C., Radtke K., Rechid D., Rounsevell M., Samuelsson P., Somot S., Soussana J.F., Teichmann C., Valentini R., Vautard R., Weber B., Yiou P., 2014: EUROCORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Chang*, **14**, 563–578.

Kämäräinen M., Hyvärinen O., Vajda A., Nikulin G., van Meijgaard E., Teichmann C., Jacob D., Gregow H., Jylhä k., 2017: Estimates of present-day and Futures Climatologies of freezing rain in Europe based on CORDEX regional climate models. *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, **123**, 291-304.

Kämäräinen M., Hyvärinen O., Jylhä k., Vajda A., Neiglick S., Nuottokari J., Gregow H., 2017: A method to estimate freezing rain climatology from ERA-Interim reanalysis over Europe. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **17**, 243-259.

Kysely J., Plavcova E., 2010. A critical remark on the applicability of E-OBS European gridded temperature data set for validating control climate simulations. *Journal of Geophysical Research*, **115**, D23118.

Lambert S.J., Hansen B.K., 2011 : Simulated Changes in the Freezing Rain Climatology of North America under Global Warming Using a Coupled Climate Model. *Atmosphere-Ocean*, **49**, 289-295.

Makkonen L., Wichura B., 2010: Simulating wet snow loads on power line cables by a simple model. *Cold Regions Science and Technology*, **61**, 73-81.

Moss R.H., Edmonds J.A., Hibbard K.A., Manning M.R., Rose S.K., van Vuuren D.P., Carter T.R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G.A., Mitchell J.F.B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S.J., Stouffer R.J., Thomson A.M., Weyant J.P., Wilbanks T., 2010: The next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment. *Nature*, **463**, 747-756.

Prein A.F., Gobeit A., 2017: Impacts of uncertainties in European gridded precipitation observations on regional climate analysis. *International Journal of Climatology*, **37**, 305-327.

Rauber R.M., Ramamurthy M.K., Tokay A., 1994: Synoptic and mesoscale structures of a severe freezing rain event: the St. Valentine's day ice storm. *Weather and Forecasting*, **9**, 183-208.

US NWS, 2020: WFO Winter Weather Products Specification. *NWSI* **10**, 513, 51 pp.