

Anàlisi dels episodis d'onada de calor en una zona d'orografia complexa: el cas d'Andorra

A. Albalat¹, L. Trapero¹, A. Quintana¹, M. Lemus^{1,2}

¹ Andorra Recerca + Innovació, (AR+I), Sant Julià de Lòria, Andorra

² CRETUS, Non-linear Physics Group, Universitat de Santiago de Compostela, Galícia, Espanya.

INTRODUCCIÓ

Els episodis meteorològics extrems com les onades de calor, les onades de fred, les precipitacions intenses o els temporals de vent estan incrementant la seva freqüència i intensitat degut al canvi climàtic (IPCC, 2022).

→ Les onades de calor són un risc meteorològic que es caracteritza per tenir temperatures elevades, fins a valors extremadament alts, on les màximes superen valors poc habituals degut a les invasions persistents d'aire molt càlid.

→ Les zones d'alta muntanya no estan exemptes d'aquests episodis cada cop més freqüents (OPCC-CTP 2018). Estudis recents fan èmfasi a la importància de fer seguiment de l'escalfament que es pateix a les zones d'alta muntanya, on semblaria que l'increment de la temperatura provocat per l'escalfament global podria ser major que el patit a altituds baixes o mitjanes (Pepin et al., 2022).

L'any 2022 ha estat el més càlid des del 1950 a l'estació de Central de FEDA (1135 m) amb una temperatura mitjana (MT) anual de 12,5°C, el segueixen el 2020 i 2019 amb una MT de 11,6°C i el 2011 amb 11,3°C.

Des del 1950 fins al 2022 l'increment de la MT ha estat de 0,25°C/decenni a l'estació Central de FEDA.

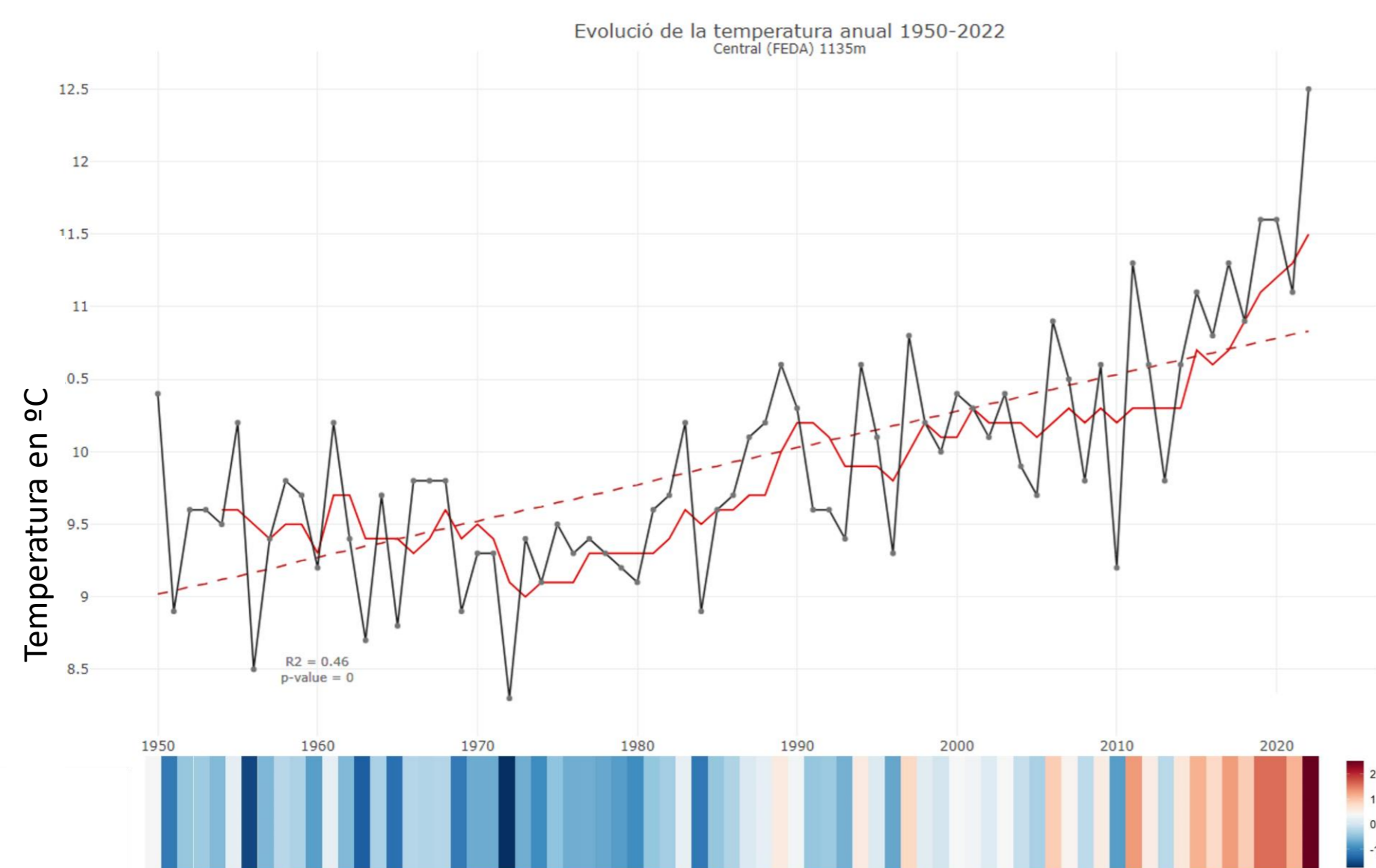


Figura 1: Ritme de creixement de la temperatura mitjana (MT) anual 1950-2023 a l'estació de Central de FEDA (1135m) i en la barra inferior es mostra l'anomalia de la temperatura pel període de referència 1981-2010.

DADES I METODOLOGIA

Per caracteritzar les onades de calor s'ha utilitzat la metodologia definida en el marc del projecte Extremoscope (Soubeyroux et al., 2016) a partir dels següents paràmetres:

→ La duració de l'episodi a partir del nombre de dies que es manté la MT per sobre del percentil 97,5, tenint en compte la interrupció de l'onada, és a dir, tot i tenir un dia en que la temperatura mitjana baixa del percentil 90 es manté l'onada de calor, en canvi, si la MT és inferior al percentil 90 durant més de dos dies es dona per acabat l'episodi.

→ La severitat, que es calcula a partir de la diferència positiva de la temperatura mitjana diària d'un dia a l'altre durant l'episodi d'onada de calor.

→ La intensitat, que es defineix com la temperatura mitjana màxima de l'episodi.

Dades utilitzades:

→ Per a l'anàlisi històric i càlcul de percentils pel període de referència climàtic 1981-2010 s'han utilitzat les dades de la temperatura mitjana diària de l'estació de Central de FEDA (1935-2023).

→ Per les projeccions climàtiques s'han utilitzat els resultats del projecte CLIMPY (Amblar et al., 2020), on dins del territori andorrà disposem de 14 punts, 6 dels quals es troben per sota de 2000m.

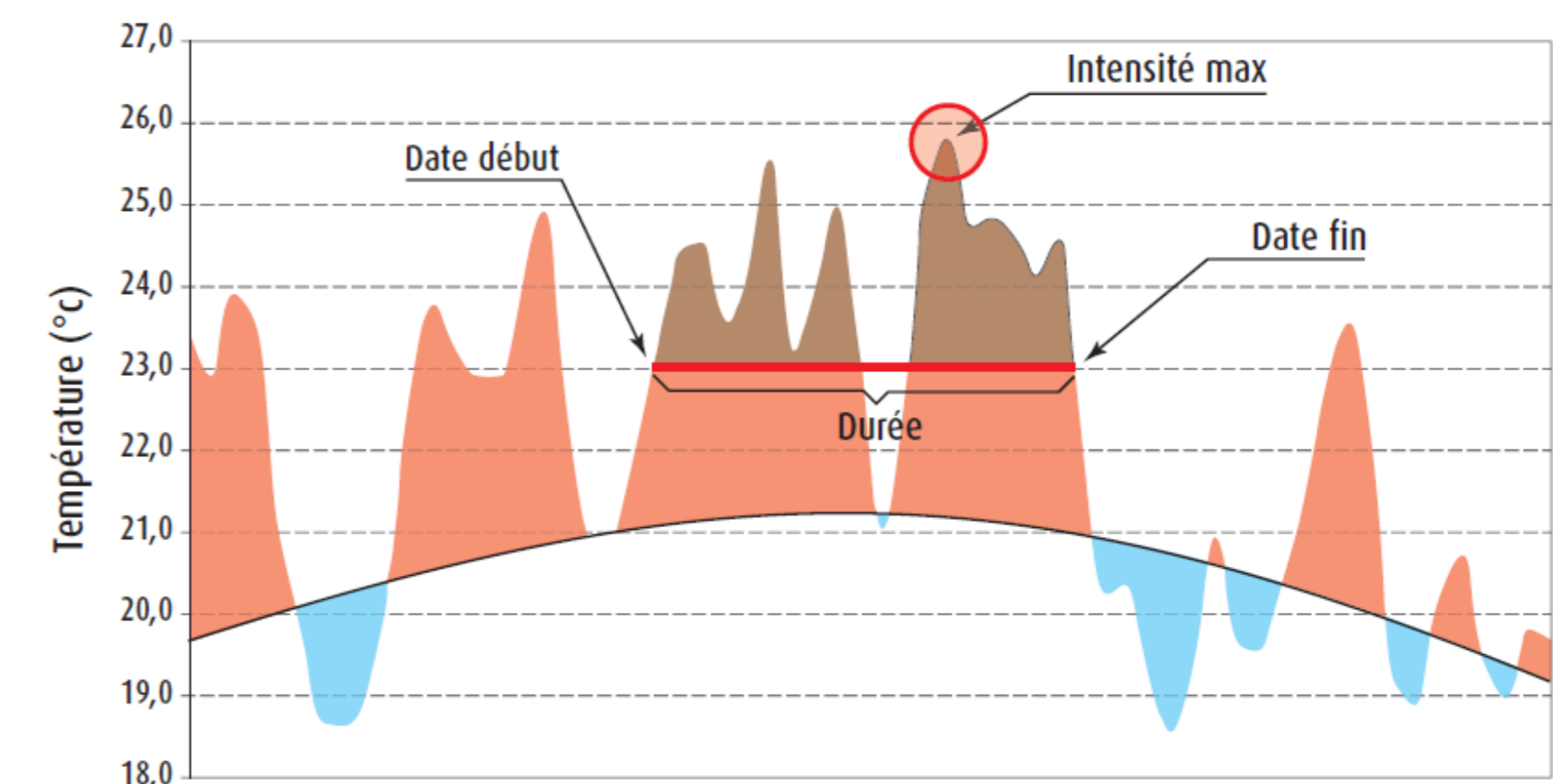


Figura 2: Caracterització d'una onada de calor a partir de l'indicador de calor diari en durada (dates d'inici i de fi), intensitat màxima (cercle vermell), i severitat (àrea marcada de color marró). Font: Soubeyroux et al., 2016.

CLIMA ACTUAL

→ L'adopció d'aquesta metodologia ha permès elaborar un inventari de les 130 onades de calor esdevingudes a Andorra des del 1935 fins a l'actualitat, establir-ne un climatologia i analitzar-ne les tendències.

→ Es confirma un increment en la freqüència de les onades de calor, així com de la seva severitat i durada, especialment rellevant durant la última dècada.

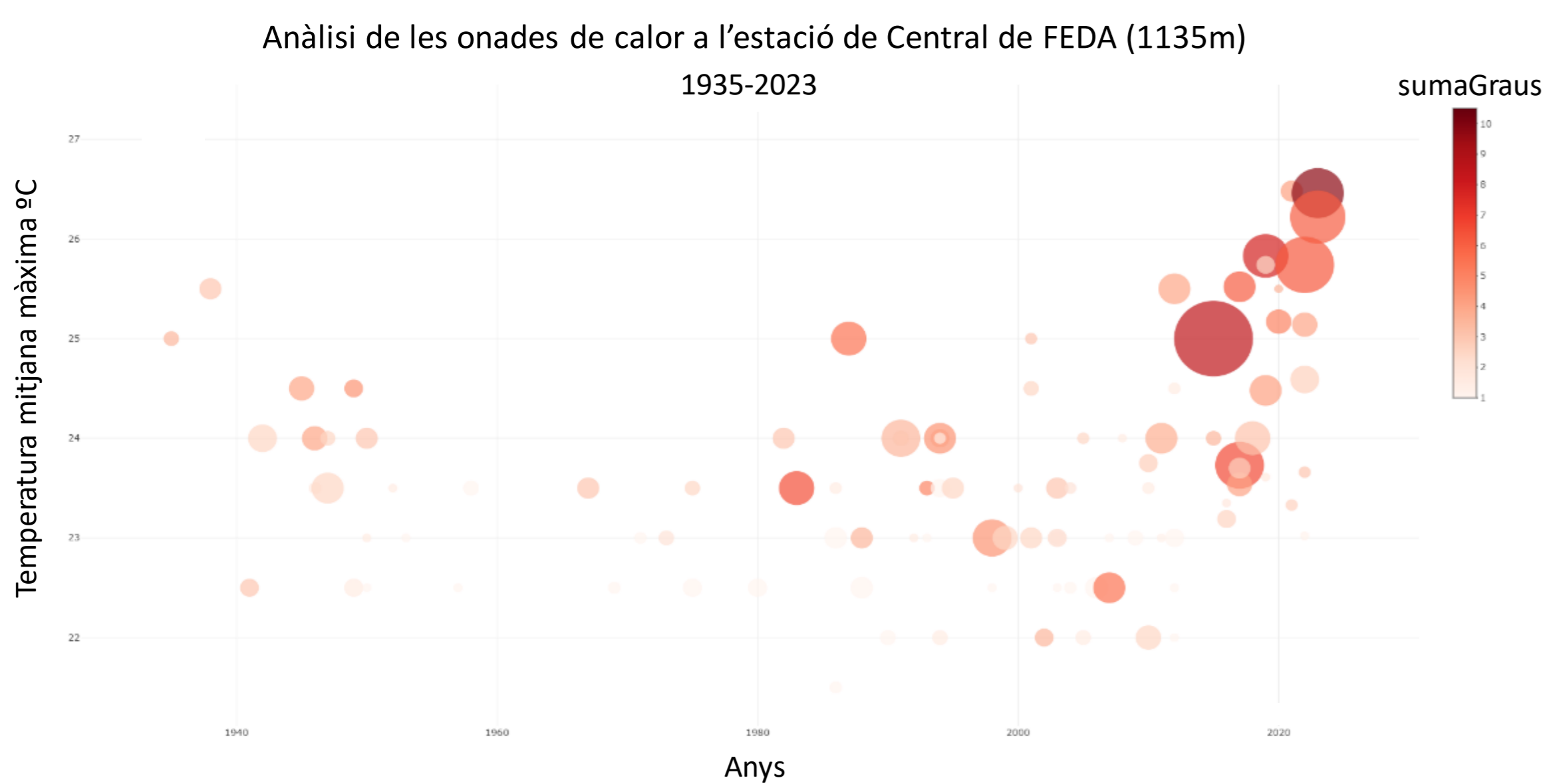


Figura 3: Inventari dels episodis d'onada de calor (130 únics) a l'estació de Central de FEDA. En l'eix horitzontal es mostren els anys des del 1935 fins al 2023 i en l'eix vertical la intensitat (MT màxima). Cada punt representa un episodi, el color de la bombolla representa els graus acumulats (severitat), la grandària de la bombolla el nombre de dies (duració) i la posició en l'eix vertical, la intensitat.

ATRIBUCIÓ DE L'ONADA DE CALOR 2022 AL CC

1. Reconstrucció de les onades de calor pel passat (1950-1985) i el present (1986-2021), per Tx/HS/π:

- Selecció dels 30 anàlegs més propers a la situació i circulació a Z500, per cada dia de les onades de calor del 2022.
- Reconstrucció de l'onada de calor, seleccionant aleatòriament un anàleg per cada dia de l'onada de calor.

2. Estimació diària de l'acoblament entre temperatura (T) i humitat del sòl (HS):

$$\pi = (H' - H'p)T' \quad (\text{Miralles et al., 2012})$$

Mètrica resultant de la interacció E i Rs (H') i de Ep i Rs (H'p). Si:

- $\pi = 0$ la humitat del sòl és suficient per satisfer la demanda atmosfèrica de l'aigua; $E = Ep$. Els canvis positius de T' no es deuen a l'acoblament.
- $\pi > 0$ els increments de T' positius durant l'onada de calor es deuen a la dessecació del sòl i a l'augment dels fluxos de calor sensible des de la superfície.

A la Fig. 4 s'observa com les condicions de HS prèvies són determinants pel que fa a la intensitat de l'onada de calor esperada, especialment al sud dels Pirineus on la intensificació pot ser de fins a +3°C, si les condicions precedents són seques. A la zona més altes i al nord la intensificació arriba als 1.5°C.

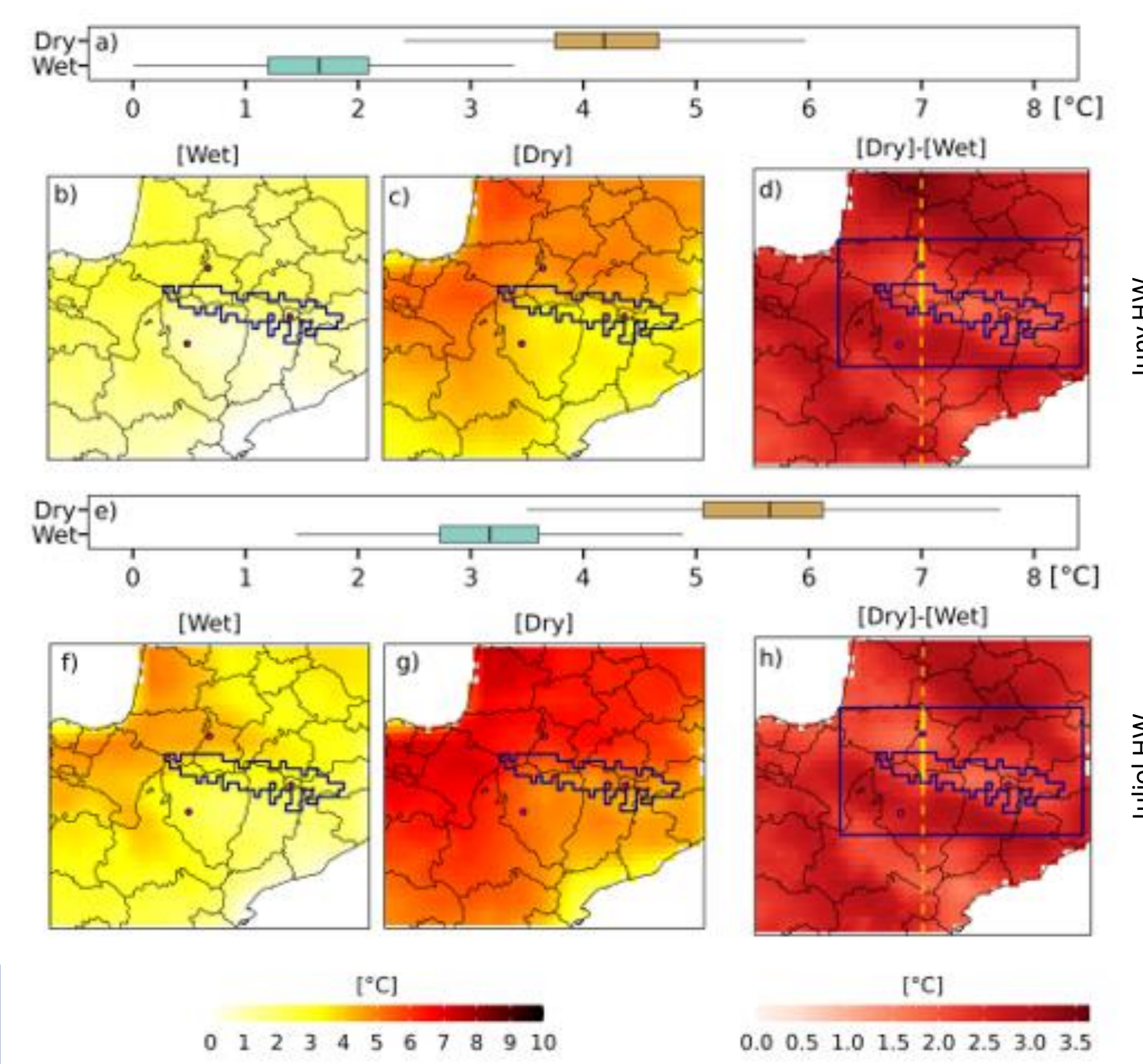


Figura 4: Reconstrucció de les 2 onades de calor de l'estiu 2022 (13-21 Juny i 10-27 Juliol) discriminant entre condicions anàlogues prèvies humides (HS > p66) i seques (HS < p33). Font: Lemus et al., 2023 (submitted).

PROJECCIONS CLIMÀTIQUES

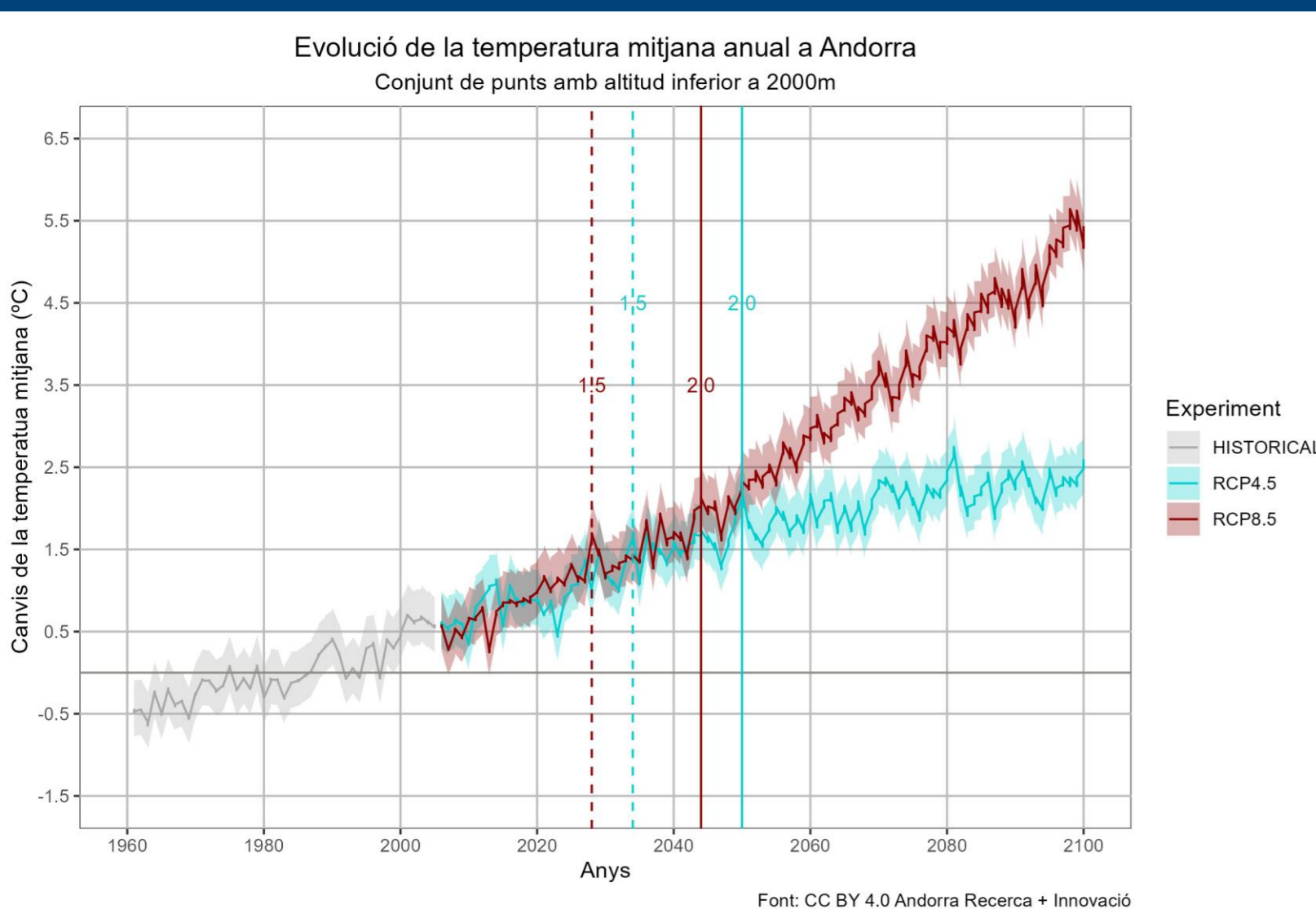


Figura 5: Evolució de l'anomalia de la MT diària (°C) a Andorra (< 2000m) per a cada RCP. La línia representa la mitjana dels models i l'ombra els percentils 17 i 83. S'indica el 1r any on la temperatura supera el 1,5°C i el 2,0°C, per a cada escenari.

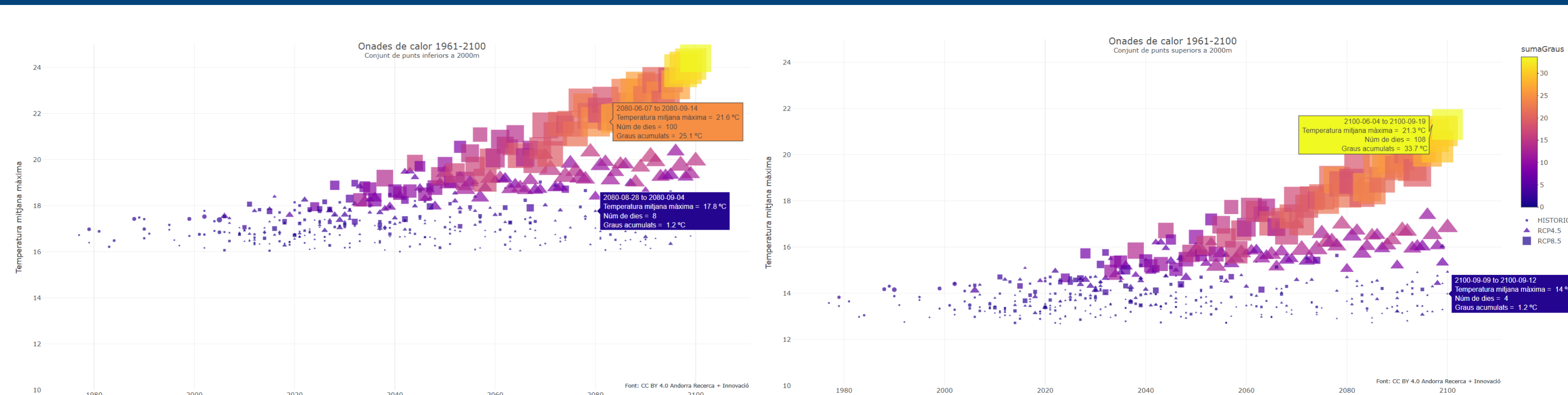


Figura 6 i 7: Anàlisi de les onades de calor per als escenaris RCP4.5 i RCP8.5 per Andorra en altituds per sota de 2000m (esquerra) i pel conjunt de punts per sobre 2000. (dreta). En l'eix horitzontal es representa els anys període 1960-2100 i en l'eix vertical la temperatura mitjana màxima (intensitat). Cada símbol representa un escenari, el color la severitat i en grandària la durada dels episodis.

CONCLUSIONS

→ Es demostra que la caracterització dels episodis extrems d'onades de calor i l'anàlisi de l'evolució de la seva severitat (sumaGraus), intensitat (MTx) i duració, és clau pels estudis d'impacte i adaptació.

→ Es detecta que a escala regional en zones de muntanya, els models climàtics subestimen les anomalies de temperatura (històric), i en conseqüència la caracterització de les onades de calor. El ritme de creixement de la temperatura (models climàtics) mostra que al 2034 s'assoliran els 1,5°C i el 2,0°C al 2050 per l'escenari RCP4.5 (Fig. 5). Les observacions indiquen que aquest límit ja és una realitat, el 2020 es va superar per primera vegada 1,5°C i el 2022 es van superar els 2,5°C (Fig. 1) a l'estació de Central de FEDA.

→ L'atribució de les onades de calor al CC a les zones de muntanya, segueix essent un gran repte. Al tractar els detalls (espacials) augmenta enormement la complexitat de l'anàlisi i encara més la seva interpretació.

→ Pel que fa a les projeccions hi haurà un increment del nombre de dies en situació d'onada de calor sobretot per l'escenari RCP8.5 i per tant, menys freqüència d'episodis (any 2059 amb + de 70 dies en onada de calor). En canvi, l'escenari RCP4.5 mostra més freqüència d'episodis amb menys duració. En les projeccions no s'ha detectat cap onada de calor fora dels mesos de juny a setembre.

→ Les onades de calor són un dels factors climàtics amb més impacte en termes de salut planetària. Les tendències són inequívokes, però les limitacions actuals de les projeccions climàtiques en territoris de muntanya, no permeten determinar l'abast dels possibles impacte. L'AR6 SYR de l'IPCC, ja afirma que aquests episodis són més freqüents i succeeixen amb nivells d'escalfament global més baix del que es pensava prèviament.

REFERÈNCIES:

- Amblar-Francés, M.P., Ramos, P., Sanchis, J., Hernanz, A., Peral, M.C., Navascués, B., Domínguez, M., Pastor, M.A. & Rodríguez, E. (2020). High resolution climate change projections for the Pyrenees region, *Advances in Science and Research*, 17, 191-208, doi:10.5194/asr-17-191-2020.
- IPCC (2022). High Mountain Areas. In *The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. NY, USA, pp. 131-202, doi:10.1017/9781009157964.004.
- Lemus et al. 2023. The unprecedented summer 2022 heatwaves in the Pyrenees: Exploring the Interplay of Climate Change, Atmospheric Circulation, and Soil-Atmosphere Feedbacks in mountain areas. *Communications Earth & Environment* (submitted).
- Miralles, D. G., van den Berg, M. J., Teuling, A. J., and de Jeu, R. A. M. (2012). Soil moisture-temperature coupling: A multiscale observational analysis, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L21707, doi:10.1029/2012GL053703.
- OPCC-CTP (2018). El cambio climático en los Pirineos: impactos, vulnerabilidades y adaptación Bases de conocimiento para la futura estrategia de adaptación al cambio climático en los Pirineos. ISBN: 978-84-09-06268-3.
- Pepin, N.C., Arnone, E., Gobiet, A., Haslinger, K., Kotlarski, S., Notarnicola, C., et al. (2022). Climate changes and their elevational patterns in the mountains of the world. *Reviews of Geophysics*, 60, doi:10.1029/2020RG000730.
- Soubeyroux, J.-M., Ouzeau, G., Schneider, M., Cabanes, O., & Kounkou-Arnaud, R. (2016). Les vagues de chaleur en France : analyse de l'été 2015 et évolutions attendues en climat futur. *La Météorologie*, 8(94), 45. https://doi.org/10.4267/2042/60704.