

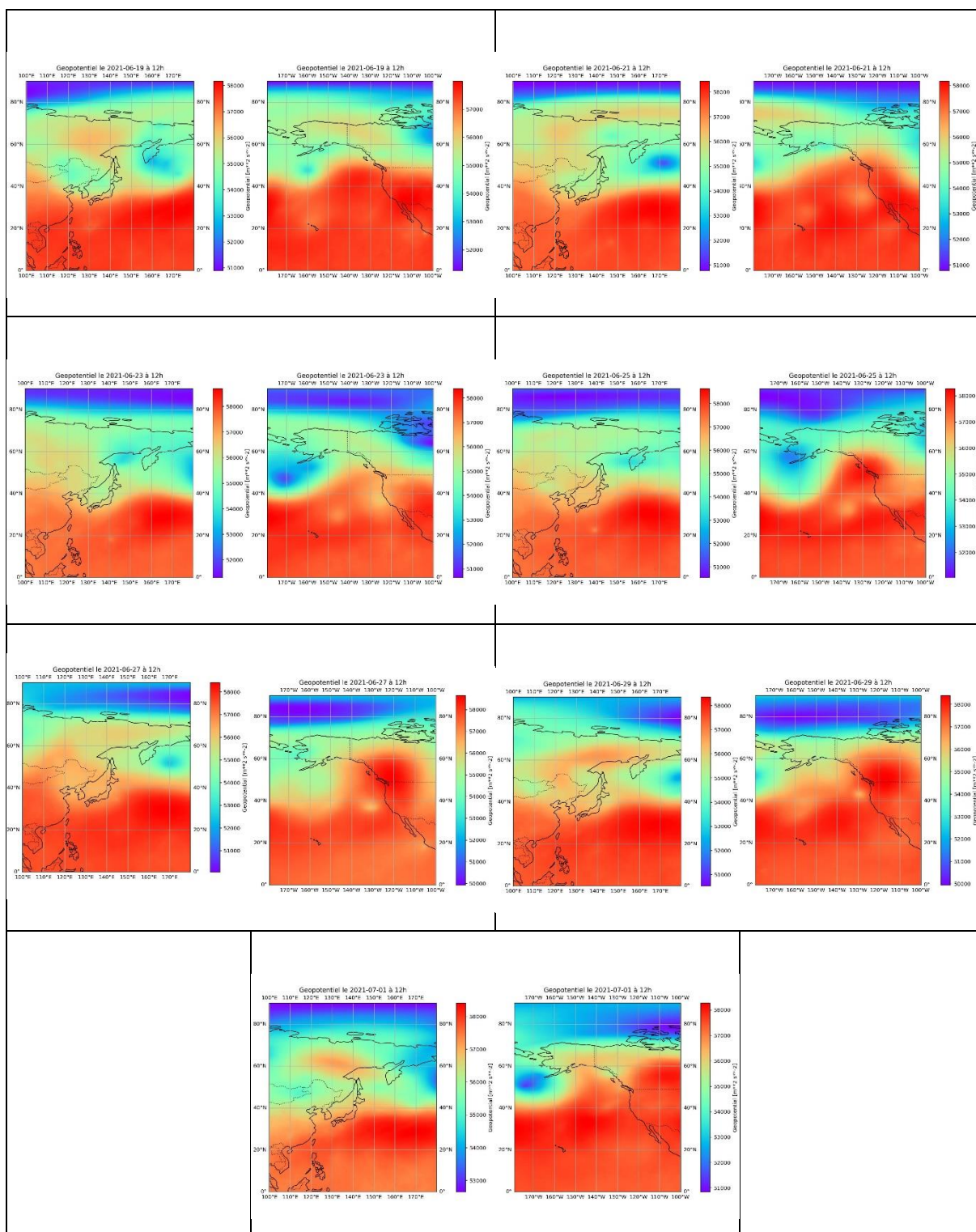
Le dôme de chaleur de juin 2021 en Amérique du Nord-Ouest

Définition

Le phénomène de dôme de chaleur se produit lorsqu'un anticyclone, c-à-d une zone de haute pression atmosphérique, reste stable et fixe au-dessus d'une région, entraînant une hausse des températures sur plusieurs jours. Ce phénomène résulte de plusieurs facteurs : le réchauffement diabatique de l'air en amont, la subsidence (l'air chaud qui descend et se comprime, provoquant un réchauffement adiabatique), le réchauffement par rayonnement solaire combiné à l'absence de nuages (réchauffement diabatique), ainsi que l'humidité exceptionnellement faible du sol, ce qui accentue le réchauffement sensible de surface.

Le terme « dôme de chaleur » est très récent et est surtout utilisé dans les médias, mais est peu courant dans les publications scientifiques. Dans l'étude de Rachel White, il est expliqué que les mots « blocking high », « heatwave » ou « heat emergency » sont préférés car ils expriment mieux les mécanismes sous-jacents. En effet, ces termes mettent en évidence que les anomalies de température sont principalement dues à l'air piégé et au réchauffement sensible de la surface, ainsi qu'au réchauffement diabatique en amont. En revanche, le réchauffement adiabatique par subsidence joue un rôle secondaire. (White, et al., 2023)

Chronologie des évènements



19 – 24 juin

Du 19 au 21 juin, un système de basse pression s'est intensifié au sud-est de la péninsule de Kamchatka, en Russie. Cela a transporté de l'air froid vers le sud au-dessus de l'océan Pacifique.

En même temps, un flux d'air du sud-ouest a transporté de l'air chaud et humide depuis une dépression à l'est du Japon vers le nord.

Les deux masses d'air se sont rencontrées sur la zone frontale, créant un fort gradient de température et un jet stream (un vent) d'ouest en est très intense (plus de 90 km/h). Ce jet s'est ensuite déplacé vers l'est dans le pacifique central.

Entre le 22 et le 24 juin, de faibles dépressions se sont formées le long de la zone frontale à l'est du Japon.

Le 24 juin, une crête de haute pression s'est formée en aval de ces dépressions, accompagnée d'un réchauffement diabatique. Cela a provoqué un blocage atmosphérique dans la région. Cette crête se déplace vers l'est du pacifique et deviendra le cœur du futur dôme de chaleur.

23 – 24 juin : formation d'un cyclone extratropical au-dessus du Golf d'Alaska

Un cyclone extratropical (c'est-à-dire une dépression) s'est formé au-dessus du Golf d'Alaska accompagné d'un phénomène de « cassure d'onde » : les ondes atmosphériques de grande échelle se déforment tellement qu'elles cassent. (Neal, Huang, & Nakamura, 2022)

La tempête associée à cette dépression a formé des nuages et a relâché de la chaleur lors de la condensation de l'eau. (Neal, Huang, & Nakamura, 2022). La chaleur latente a été produite de manière diabatique : dans les zones frontales (rencontre de deux masses d'air) et dans les zones montagneuses (l'air s'élève par advection, et refroidit car la pression est moins forte). (White, et al., 2023)

Le réchauffement latent dans le cyclone (concentré dans deux bandes de transport d'air chaud au-dessus de l'océan Pacifique (Schumacher, Hauser, & Seneviratne, 2022)) a renforcé le dôme par un flux d'activité ondulatoire. (Neal, Huang, & Nakamura, 2022) Même si ce réchauffement latent s'est arrêté environ une semaine avant le pic de température, il a quand même favorisé l'intensité de la vague de chaleur. (Schumacher, Hauser, & Seneviratne, 2022)

24- 27 juin : formation du bloc oméga et de l'anticyclone

À cause de l'oscillation persistante du jet-stream (qui se déplace vers le pôle en été), un bloc oméga se crée, composé de deux dépressions et d'un anticyclone. Ce dernier provoque un blocage de l'anticyclone dans la région du nord-ouest de l'Amérique. (Neal, Huang, & Nakamura, 2022)

Cette haute atmosphère (au-dessus de la couche limite du bloc) bloquée a récupéré de l'air chaud des latitudes plus basses. (Neal, Huang, & Nakamura, 2022).

27-30 : augmentation des températures

Une colonne d'air chaud stagnante s'est établie (la chaleur s'accumule dans la troposphère). Les températures augmentent drastiquement en surface, l'anomalie de température moyenne a grimpé jusque 13.5°C (Schumacher, Hauser, & Seneviratne, 2022) ou jusque 16°-20°C selon une autre étude (White, et al., 2023). Plusieurs endroits ont dépassé les records de températures enregistré jusque-là de plus de 5°C (White, et al., 2023). Le fait que la formation du blocage a précédé le pic de températures de quelques jours montre une influence thermodynamique du haut vers le bas. (Neal, Huang, & Nakamura, 2022)

Mécanismes physiques du dôme de chaleur

Les hautes pressions ne permettent pas la formation de nuages pour limiter le réchauffement diurne produit par les rayonnements du soleil qui s'accumule. C'est un réchauffement diabatique. (shortwave radiative forcing). De plus, l'air plus chaud et sec des couches supérieures de l'atmosphère se mélange avec l'air plus frais et humide près de la surface, ce qui peut augmenter la température de l'air à la surface. (White, et al., 2023)

Un sol sec ou anormalement peu humide n'absorbe plus la chaleur (faible capacité thermique). Au contraire, il maintient la chaleur sensible de surface ce qui réchauffe par conduction l'air situé juste au-dessus. Cela contribue à l'établissement d'une couche limite d'atmosphère profonde. La faible humidité des sols aurait participé à augmenter d'au moins 5°C les pics de température dans certaines des zones les plus chaudes. (Schumacher, Hauser, & Seneviratne, 2022)

À cause de la haute pression, il y a subsidence de l'air ce qui le comprime. Cela renforce encore son énergie thermique. C'est un réchauffement adiabatique. (White, et al., 2023)

Par conséquent, les températures extrêmes mesurées dans la basse troposphère et à la surface étaient le résultat du chauffage par le bas et par le blocage atmosphérique, ce qui a conduit à une stratification anormalement stable de l'air en altitude qui empêché la convection de l'air.

L'advection verticale de l'air est donc un facteur beaucoup plus important que l'advection horizontale, car cette dernière était faible au centre du bloc. (Neal, Huang, & Nakamura, 2022)

Facteurs aggravants

La présence de montagnes a favorisé l'advection verticale de la chaleur et il a donc fait encore plus chaud dans ces régions. (Schumacher, Hauser, & Seneviratne, 2022)

Le dôme de chaleur a été encore plus important dans les villes à cause du phénomène d'îlot urbain.

Le phénomène El Niño a renforcé le dôme de chaleur.

Le réchauffement climatique dû aux activités anthropiques contribue à l'intensité des dômes de chaleur. En effet, un climat plus chaud favorise la présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Cependant, c'est difficile d'étudier le rôle du changement climatique étant donné que les dômes de chaleur sont extrêmement rares.

La vague de chaleur s'est produite près du solstice d'été, quand l'insolation de l'hémisphère nord est maximum. (White, et al., 2023)

Visualisation des données Era5

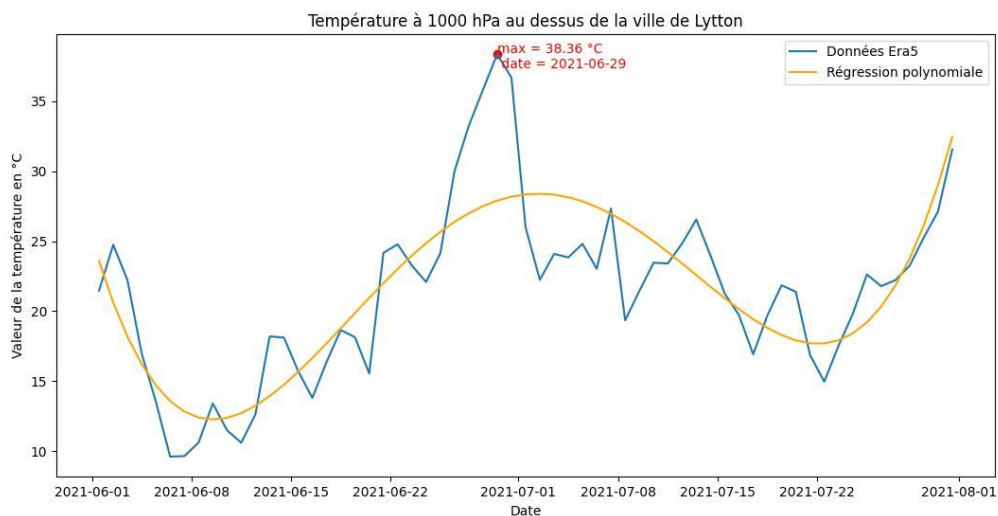
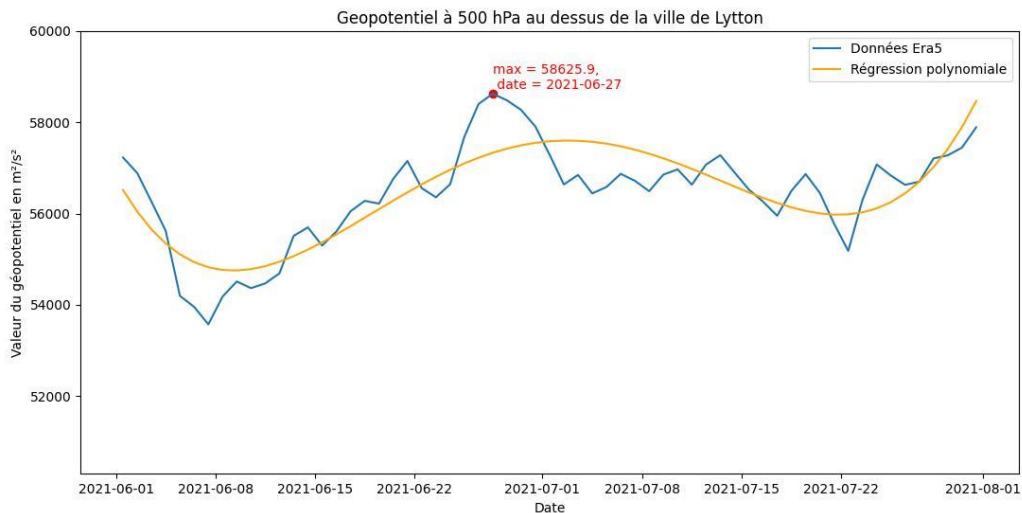
Lytton est une petite ville dans les montagnes arides (donc une très faible portion de la chaleur apportée par les radiations du soleil est absorbée par chaleur latente, et il y a une portion bcp plus grande de chaleur sensible. Elle a enregistré les plus hautes températures de la vague de chaleur. (White, et al., 2023)

Le refroidissement nocturne a été limité à cause de l'inertie thermique du terrain rocheux et des pentes très raides du canyon qui ont limité la perte de chaleur par radiation à grande longueur d'onde.

(Il a aussi fait plus chaud le long des côtes à cause du gradient de pression côtier qui apporte des vents chauds venant du centre du dôme.)

Idées : Calculer les anomalies avec la « climatologie » de 1981 à 2020.

Sur ces deux graphiques, on voit qu'il y a eu un décalage entre le maximum de géopotentiel et le maximum de températures.



Glossaire

Adiabatique :

Bandes de transport d'air chaud (Warm Conveyor Belt) :

Chaleur latente : énergie relâchée ou absorbée par une substance quand elle subit un changement de phase. (Goosse, Barriat, Lefebvre, Loutre, & Zunz, 2010)

Chaleur sensible : énergie disponible pour être transférée sous forme d'énergie thermique ou de chaleur. (Goosse, Barriat, Lefebvre, Loutre, & Zunz, 2010)

Convection thermique : Processus lors duquel une partie d'un fluide reçoit de la chaleur. Il chauffe, devient moins dense et s'élève. Il peut être alors remplacé par du fluide moins chaud qui subira le même processus et s'élèvera à son tour, formant alors une boucle de convection. (Goosse, Barriat, Lefebvre, Loutre, & Zunz, 2010)

Couche limite atmosphérique : Partie la plus basse de l'atmosphère en contact direct avec la surface de la terre. (Goosse, Barriat, Lefebvre, Loutre, & Zunz, 2010)

Courant Jet (jet stream) : Bande de vents forts dans la partie haute de l'atmosphère (environ 9100 m d'altitude). Il souffle d'Ouest en Est en raison de la rotation de la terre. Le courant jet polaire est situé entre 50° et 60° de latitude. (The Jet Stream, 2023)

Cyclone : Système de basse pression dans l'atmosphère. (Goosse, Barriat, Lefebvre, Loutre, & Zunz, 2010)

Adiabatique :

Géopotentiel : énergie potentielle gravitationnelle d'une unité de masse à un certain endroit, par rapport au niveau de la mer. (Copernicus Climate Change Service)

Subsidence : mouvement (d'air) vers le bas. (Goosse, Barriat, Lefebvre, Loutre, & Zunz, 2010)

Température potentielle : température que prendrait un échantillon d'eau de mer ou d'air lorsqu'il serait levé de manière adiabatique à un niveau de référence z_r depuis une profondeur initiale z . (Goosse, Barriat, Lefebvre, Loutre, & Zunz, 2010)

Troposphère : Partie la plus basse de l'atmosphère terrestre, elle mesure environ 10 km d'épaisseur. (Goosse, Barriat, Lefebvre, Loutre, & Zunz, 2010)

Bibliographie

Copernicus Climate Change Service. (s.d.). Climate Data Store, (2024): ERA5 post-processed daily-statistics on pressure levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). doi:10.24381/cds.50314f4c

Foussard, J.-N., Julien, E., Mathé, S., & Debellefontaine, H. (2021). *Les bases de la thermodynamique*. Dunod.

Goosse, H., Barriat, P. Y., Lefebvre, W., Loutre, M. F., & Zunz, V. (2010). *Introduction to climate dynamics and climate modeling*. Cambridge University Press.

Jain, P., Sharma, A. R., Acuna, D. C., Abatzoglou, J. T., & Flannigan, M. (2024). Record-breaking fire weather in North America in 2021 was initiated by the Pacific northwest heat dome. *Communications Earth & Environment*, 5. doi:10.1038/s43247-024-01346-2

Neal, E., Huang, C. C., & Nakamura, N. (2022). The 2021 Pacific Northwest heat wave and associated blocking: meteorology and the role of an upstream cyclone as a diabatic source of wave activity. *Geophysical Research Letters*, 49.

Schumacher, D., Hauser, M., & Seneviratne, S. I. (2022). Drivers and Mechanisms of the 2021 Pacific Northwest Heatwave. *Earth's Future*, 10.

The Jet Stream. (2023, Septembre). Consulté le Novembre 23, 2024, sur National Ocean and Atmospheric Administration: <https://www.noaa.gov/jetstream/global/jet-stream>

White, R. H., Anderson, S., Booth, J. F., Braich, G., Draeger, C., Fei, C., . . . West, G. (2023). The unprecedented Pacific Northwest heatwave of June 2021. *Nature Communications*, 14(727).