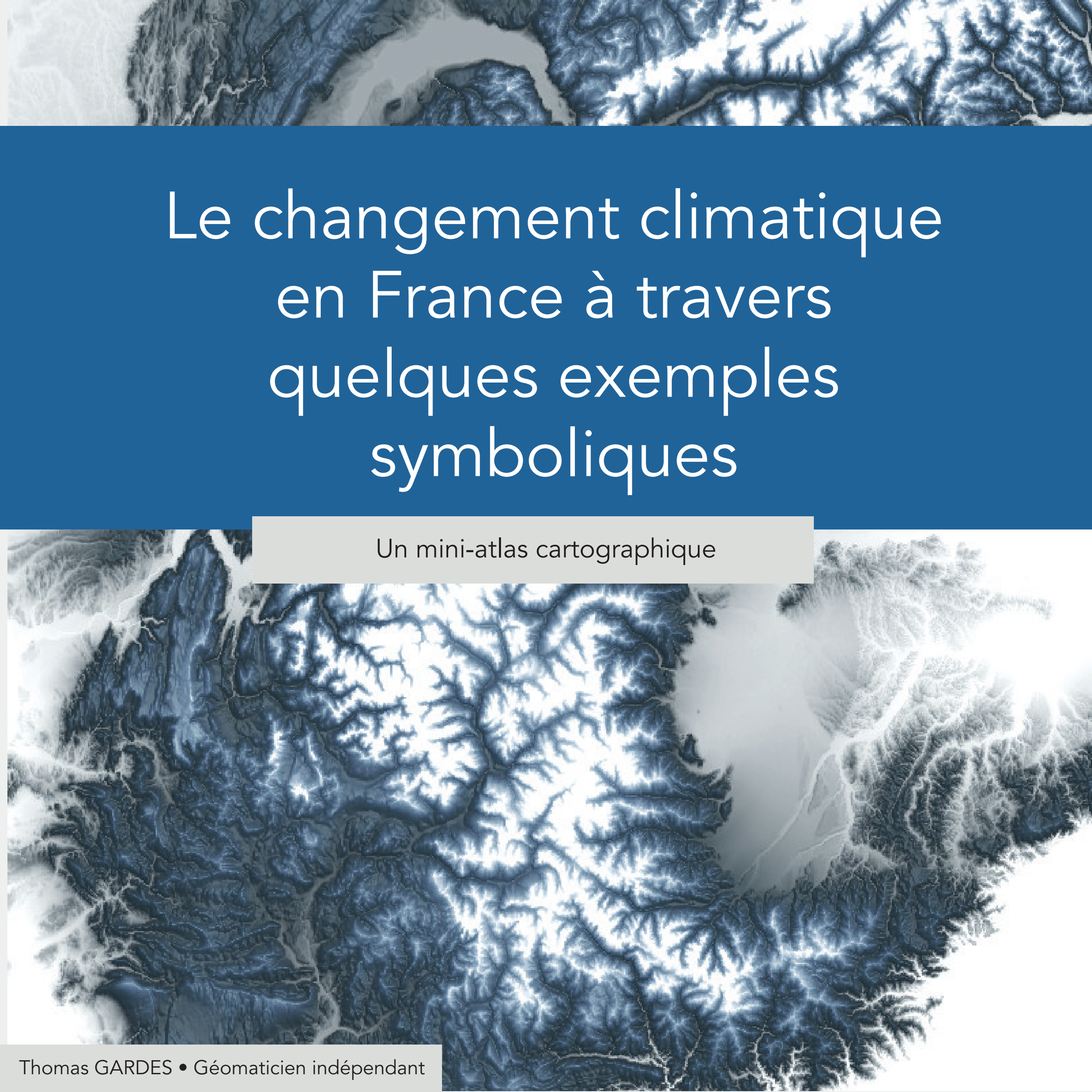


A detailed topographic map of France, showing the country's complex terrain with numerous mountain ranges, valleys, and rivers. The map is rendered in shades of blue and white, with the highest elevations in white and the lowest in dark blue. The map is centered on the French mainland, with the surrounding seas visible in a lighter blue.

Le changement climatique en France à travers quelques exemples symboliques

Un mini-atlas cartographique

Note d'intention

La cartographie se situe au carrefour de la science et des arts graphiques. Elle exige aussi bien rigueur scientifique dans le traitement des données que réflexion créative dans la manière de les présenter. Ce document propose quelques exemples de techniques de représentations cartographiques, liées par une trame thématique hautement actuelle : les impacts du changement climatique en France. Ce mini-atlas de 6 cartes à été conçu par un géomaticien indépendant sur son temps personnel et pensé avant tout comme une vitrine professionnelle. A ce titre, il présente d'inévitables limitations techniques dans l'accès aux données et la puissance de calcul et met l'accent sur la variété des sujets plutôt que sur l'exhaustivité scientifique.

Ceci étant dit, toutes les cartes présentées ici ont été réalisées avec rigueur et méthode. J'espère que vous prendrez autant de plaisir à les parcourir que j'en ai pris à les concevoir.

Thomas Gardes

SOMMAIRE

Carte 1 : Hausse des températures minimales estivales moyennes entre les périodes 1974-1999 et 2000-2025 par départements (France Métropolitaine)3

Carte 2 : Augmentation du nombre de nuits tropicales entre les périodes 1974-1999 et 2000-2025 comparée à la part de population âgée de 75 ans et plus par département (France Métropolitaine)4

Carte 3 : Les zones de production viticoles AOC d'Occitanie confrontées à la hausse du déficit hydrique entre les périodes 1974-1999 et 2000-20255

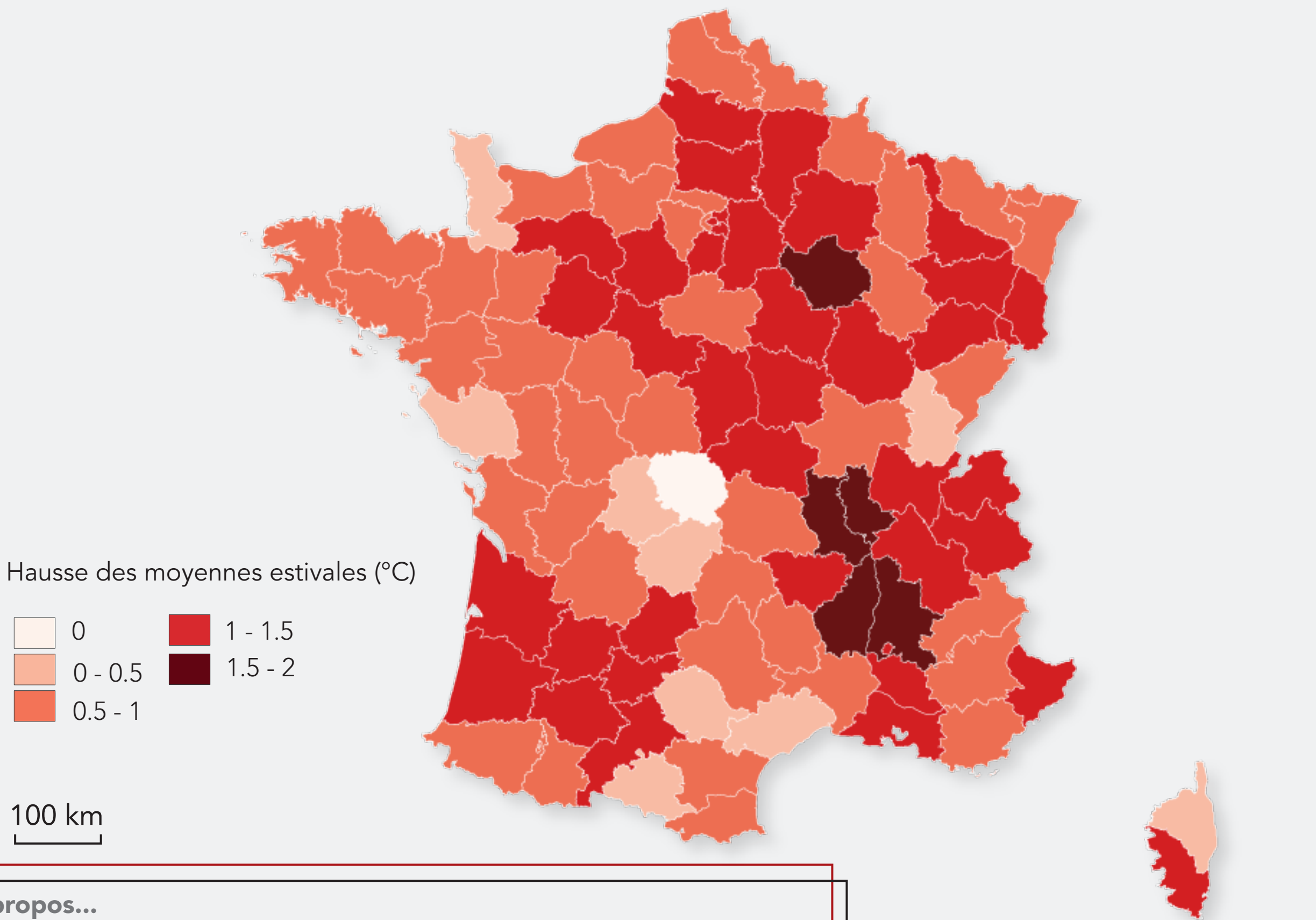
Carte 4 : Évolution du nombre de jours de neige au sol entre les périodes 1974-1999 et 2000-2025 en saison hivernale dans les principaux domaines skiables des Alpes6

Carte 5 : Le PNR de Camargue face à la montée des eaux : évolution du trait de côte et exposition potentielle à la submersion marine7

Carte 6 : Les EHPAD de Paris exposés au phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) : un enjeu de santé publique8

Détails techniques et méthodologiques9

Hausse des températures minimales estivales moyennes entre les périodes 1974-1999 et 2000-2025 par départements



A propos...

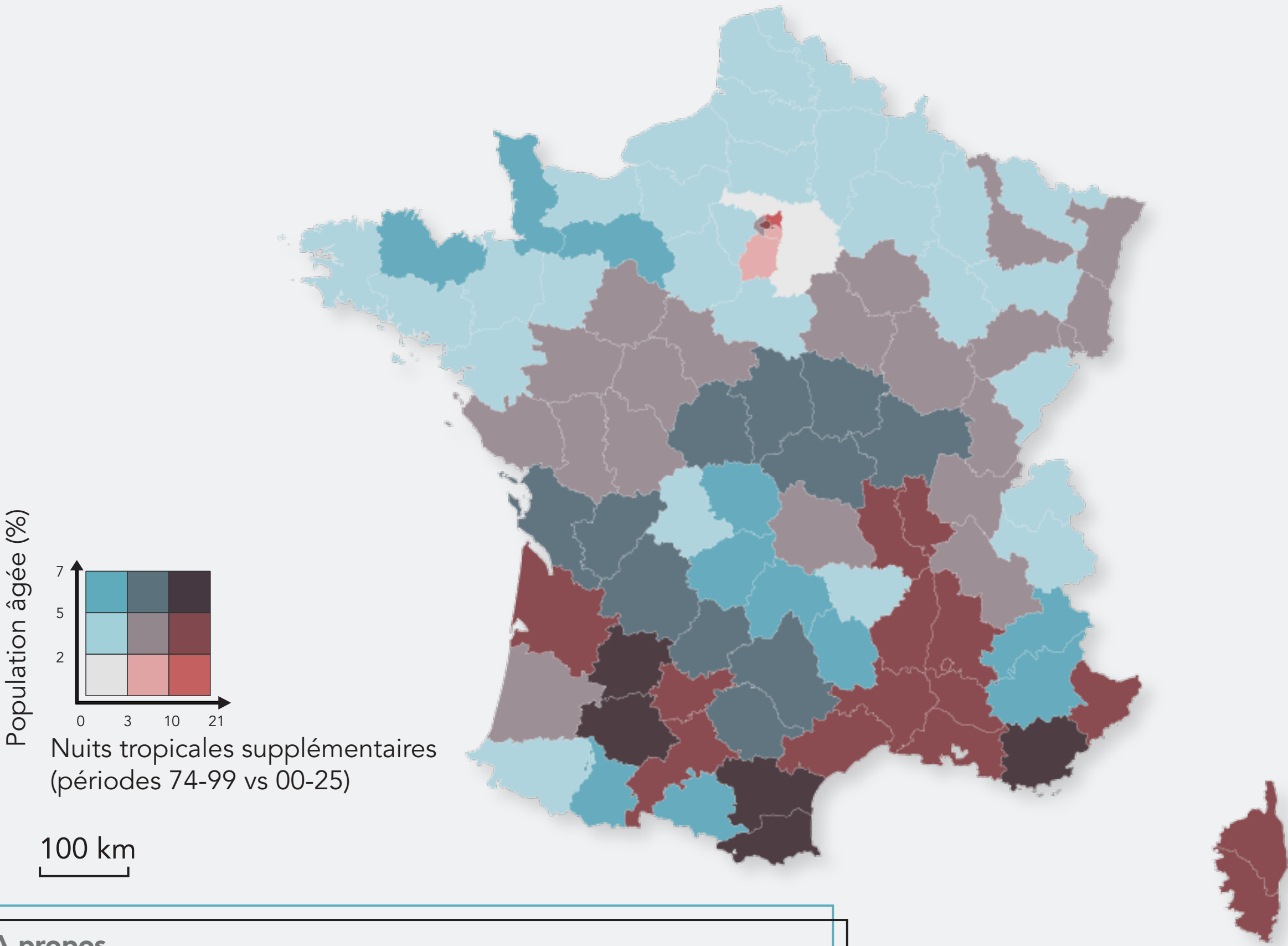
Cette carte présente la variation des températures moyennes de mai à septembre entre deux périodes de temps. Les données sources sont issues de la grille SAFRAN disponible en Open Source avec une résolution spatiale de 8km.

Les données TINF_H_Q (température minimales des 24 températures horaires) sont récupérées au format NetCDF. Le fichier est ensuite analysé en Python via xarray pour extraire, agréger et moyenner les données par périodes de temps (1974 à 1999 et 2000 à 2025) et sur les mois de juin à septembre . Le résultat est ensuite exporté dans QGIS où l'on réalise l'agrégation spatiale par départements et la discrétisation pour la représentation cartographique finale

Source des données :
Météo France - Grille SAFRAN

Réalisation : Thomas Gardes

Augmentation du nombre de nuits tropicales entre les périodes 1974-1999 et 2000-2025 comparée à la part de population âgée de 75 ans et plus par département



A propos...

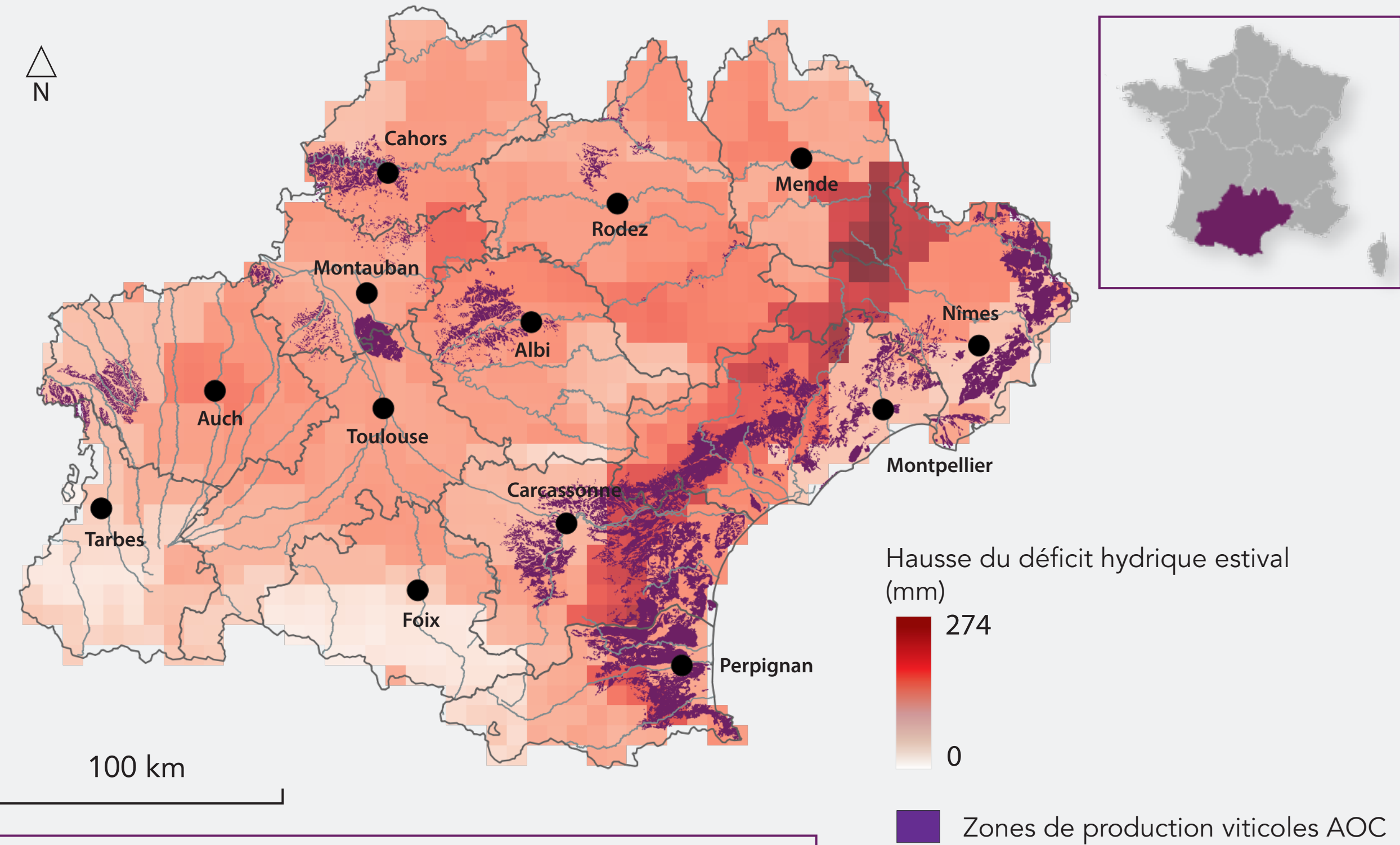
La carte choroplète bivariee est un mode de représentation permettant d’afficher deux variables simultanément en combinant plusieurs jeux de couleurs. Ce choix permet ici de conserver la représentation choroplète qui est la mieux adaptée aux variables choisies tout en autorisant leur comparaison immédiate.

Les nuits tropicales correspondent aux nuits où la température ne descend pas en dessous de 20°C. Elles sont des marqueurs classiques des vagues de chaleur et des canicules. L’augmentation de ces épisodes est ici mise en parallèle avec la part de population âgée de plus de 75 ans, qui constitue l’une des populations les plus vulnérables aux fortes chaleurs.

Source des données :
Météo France - Grille SAFRAN : Nuits tropicales
INSEE (2021) : Part de population âgée

Réalisation : Thomas Gardes

Les zones de production viticoles AOC d'Occitanie confrontées à la hausse du déficit hydrique entre les périodes 1974-1999 et 2000-2025



A propos...

Bien que moins réputée internationalement que la région Bordelaise, l'Occitanie est la plus importante région viticole de France en terme de volume. Elle est aussi l'une des plus affectées par le changement climatique, qui impacte les cultures à plusieurs titres : hausse des températures, augmentation des aléas climatiques (gel notamment) et stress hydrique.

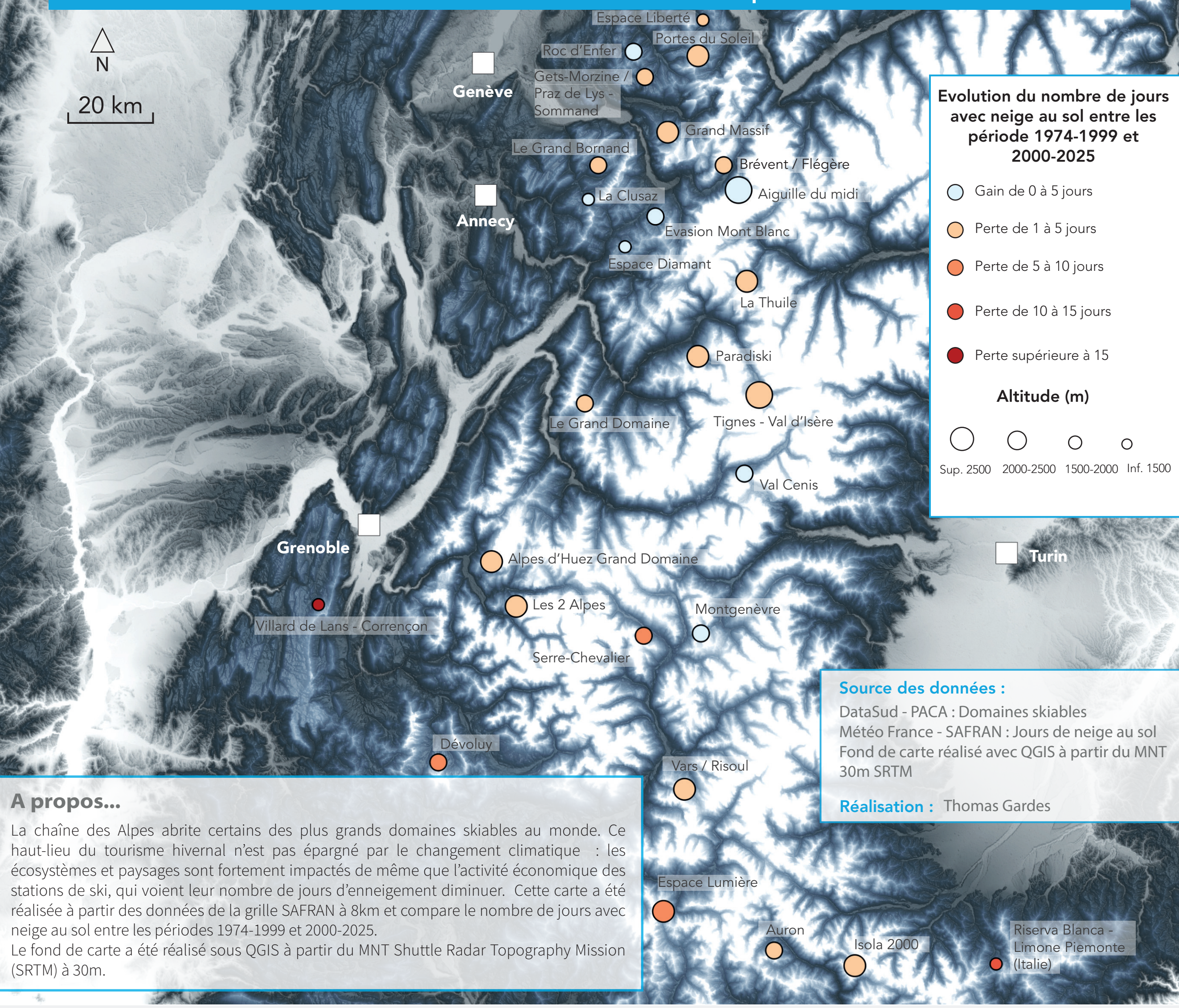
La carte ci-dessus présente l'évolution du déficit hydrique estival moyen, basé sur les données de la grille SAFRAN. Le déficit hydrique est estimé en soustrayant l'évaotranspiration potentielle aux précipitations. On moyenne ensuite les résultats par période de temps pour calculer une différence de déficit en mm entre les périodes 1974-1999 et 2000-2025.

Les calcus sont réalisés en Python à partir de fichiers NetCDF puis exporté au format raster dans QGIS, la grille de 8km se prêtant bien à ce type de sémiologie à l'échelle régionale.

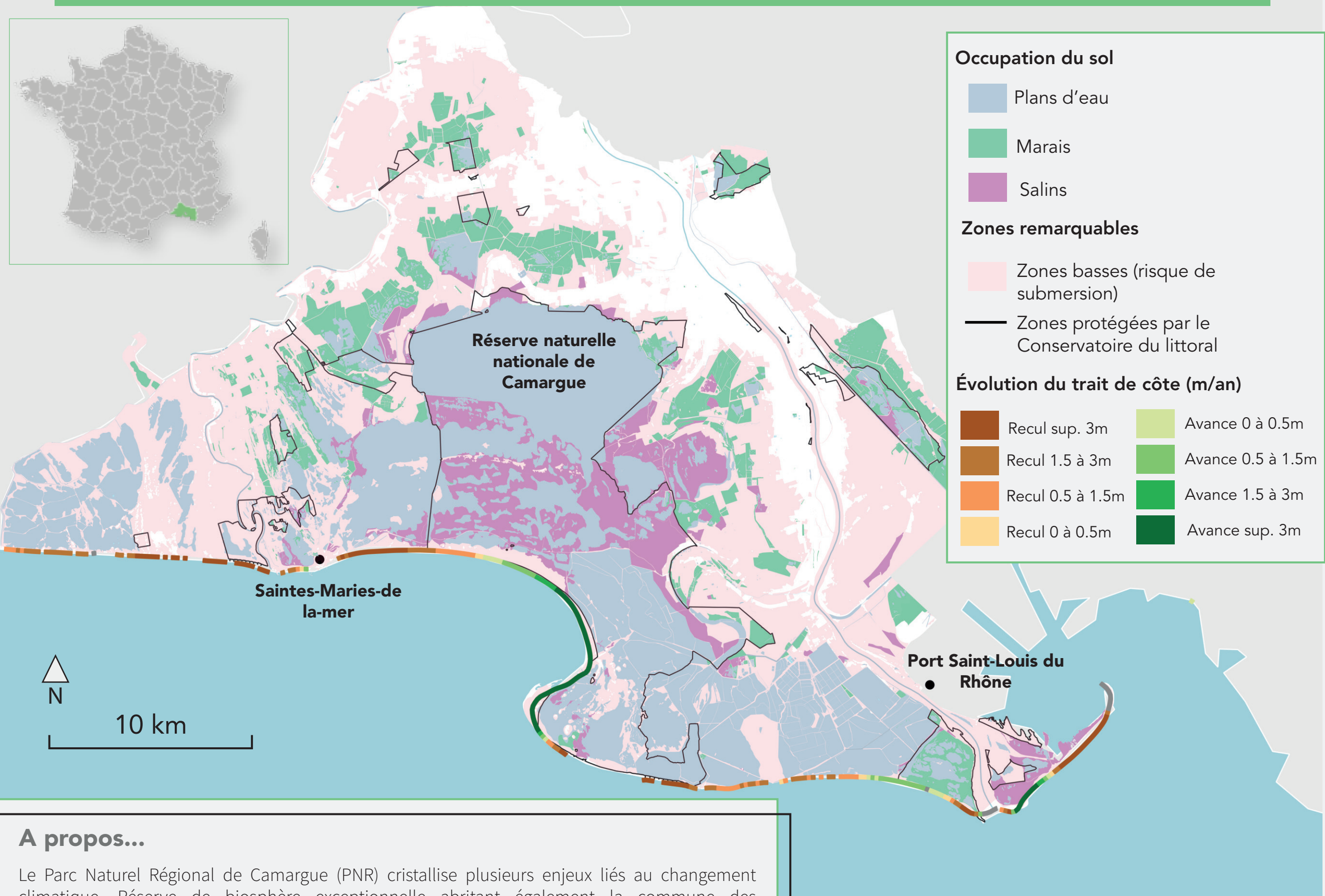
Source des données :
Météo France - Grille SAFRAN : Déficit Hydrique
INAO : Zones AOC

Réalisation : Thomas Gardes

Évolution du nombre de jours de neige au sol entre les périodes 1974-1999 et 2000-2025 en saison hivernale dans les principaux domaines skiables des Alpes



Le PNR de Camargue face à la montée des eaux : évolution du trait de côte et exposition potentielle à la submersion marine



A propos...

Le Parc Naturel Régional de Camargue (PNR) cristallise plusieurs enjeux liés au changement climatique. Réserve de biosphère exceptionnelle abritant également la commune des Saintes-Maries-de-la-mer et son patrimoine architectural et culturel, cet espace situé en grande majorité au niveau de la mer est menacé par la montée des eaux et l'érosion accentuées par le réchauffement en cours. Les salins qui font une autre des particularités du lieu, la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer et les espaces protégés notamment par le Conservatoire du Littoral sont ainsi en Zones Basses, susceptibles d'être immergées dans un scénario de montée des eaux.

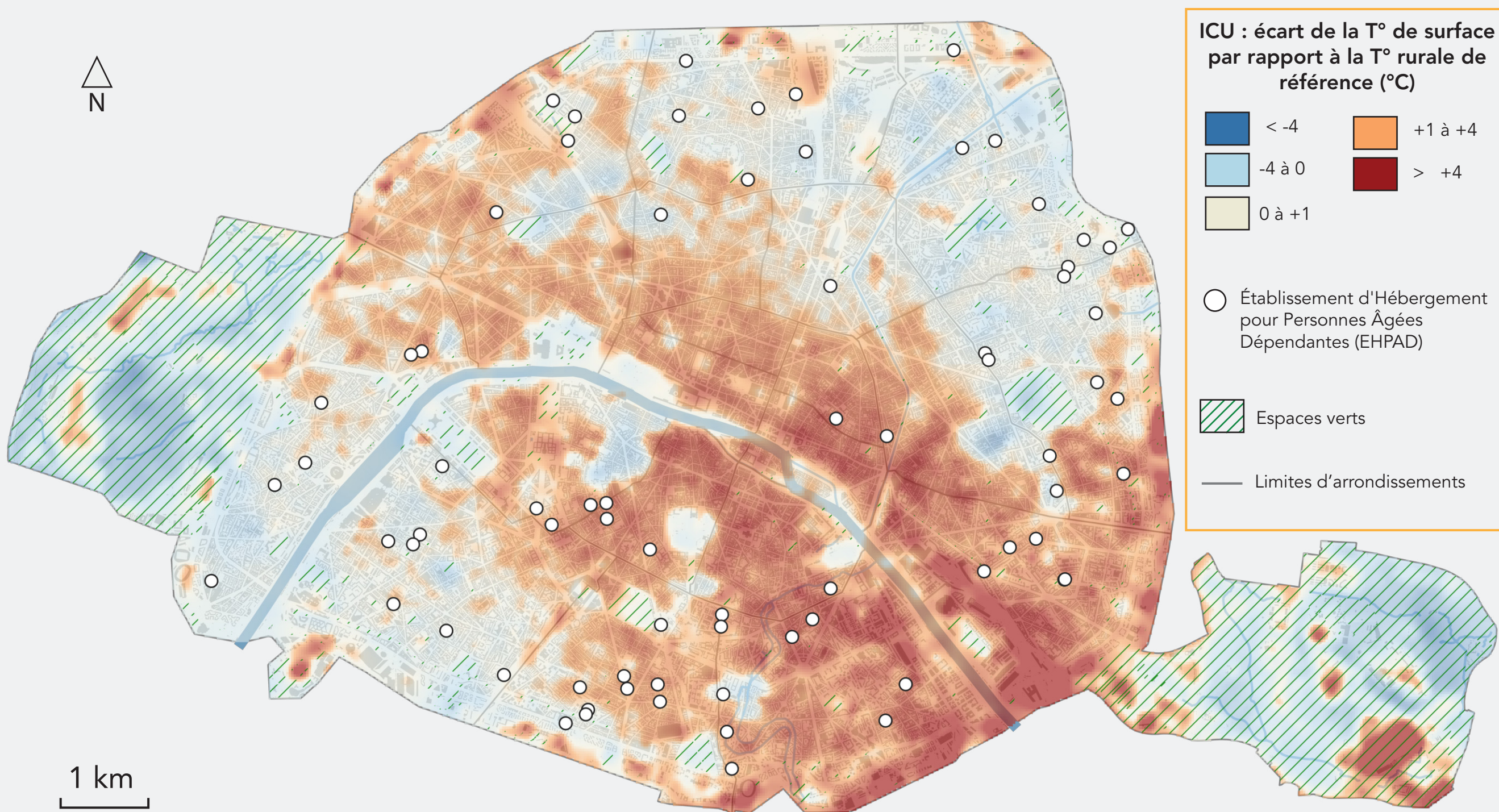
La carte ci-dessus à été réalisée en croisant des données produites par le CEREMA, le PNR et Open Street Map. Le traitement, mise en forme et discrétisation des données à été réalisé dans QGIS puis finalisé avec Adobe Illustrator.

Source des données :

OpenStreetMap - Contributeurs : Hydrographie, Occupation du sol
PNR de PACA : Limites du PNR
CEREMA : Trait de côte, Zones Basses, Zones protégées Conservatoire du littoral

Réalisation : Thomas Gardes

Les EHPAD de Paris exposés au phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) : un enjeu de santé publique



A propos...

L'îlot de chaleur urbain est un phénomène particulièrement étudié en climatologie urbaine. Il se caractérise par des températures de l'air et de surfaces sensiblement plus élevées en zones urbaines qu'en zones rurales, en raison notamment de l'absorption et de la restitution du rayonnement solaire par les matériaux artificiels.

La carte ci-dessus présente une estimation de l'îlot de chaleur de Paris intra-muros basée sur les données de Landsat 8. Les données du satellite sont récupérées pour une journée exemple (ici 23 juillet 2026) puis traitées dans QGIS pour extraire les températures de surface et une estimation de l'ICU basée sur une température rurale de référence (comprise dans l'emprise du raster).

A noter que les températures de surface sont en règle générale plus marquées et moins représentatives du ressenti humain que les températures de l'air, mais ont l'avantage de pouvoir être estimées à partir d'images satellites tout en donnant une représentation globale fiable de l'ICU. On constate ainsi immédiatement l'impact des espaces verts et des cours d'eau sur la température.

Source des données :

Landsat 8 via USGS : Estimation de l'ICU
Ministère de la santé (BD FINESS) : EHPAD
Ville de Paris : Espaces verts et limites d'arrondissements
OSM contributeurs : Bâtiments et cours d'eau

Réalisation : Thomas Gardes

Détails techniques et méthodologiques

Sources de données

Le choix de la thématique et la sélection des données à utiliser représente une étape souvent invisible mais pourtant essentielle et délicate pour la réalisation cartographique. Le choix s’est ici porté sur l’utilisation exclusive de données et logiciels open-source. Cela permet de s’accorder avec mes contraintes personnelles tout en démontrant l’étendu des possibilités offertes par les plate-formes de données libres actuelles.

En matière de données climatologiques, le modèle SAFRAN s’est avéré particulièrement intéressant pour sa couverture totale du territoire national, sa large étendue temporelle et son grand nombre de variables disponibles. Pour le reste, l’essentiel des données utilisées provient des bases open-source des collectivités territoriales françaises (municipalités, régions, départements), des ministères (bases FINESS des établissements de santé par exemple) ou d’établissements publics tels que le CEREMA et l’INSEE. Enfin la dernière source mobilisée correspond aux missions satellitaires et spatiales américaines. Les images de Landsat 8, dont les données sont disponibles sur le portail de l’US Geological Survey (USGS) ont été exploitées pour estimer l’îlot de chaleur urbain parisien et les données recueillies par la navette Endeavour lors de la mission SRTM en 2000 ont servi de base à la réalisation du fond cartographique des Alpes françaises (carte 4).

Cartes 1 à 4

Les données SAFRAN

SAFRAN («Système d’analyse fournissant des renseignements atmosphériques à la neige») est un ensemble de données météorologiques journalières historiques produites par Météo France et disponibles à partir du 1er janvier 1959, avec une résolution spatiale de 8km. Depuis 2025, elles sont accessibles librement sans autorisation à partir de la plate-forme GéoSAS (<https://geosass.fr/edr-viewer/>).

Pour les besoins de ce mini-atlas, ces données ont été récupérées au format NetCDF (car les emprises importantes impliquées auraient pesées trop lourd dans d’autres formats) et traitées directement en Python, via notamment la bibliothèque xarray.

```
import xarray as xr
import numpy as np
import pandas as pd
import geopandas as gpd

|
ds = xr.open_dataset(r'C:/Downloads/SAFRAN_74_25.nc')

#Nombre de nuits tropicales par periodes (mai à septembre)
tropical_7499 = (
    ds["TINF_H_Q"]
    .sel(time=slice("1974", "1999"))
    .where(ds.time.dt.month.isin([5, 6, 7, 8, 9]), drop=True)
)

nuits7499 = (
    (tropical_7499 >= 20)
    .groupby("time.year")
    .sum()
    .mean("year")
)

tropical_0025 = (
    ds["TINF_H_Q"]
    .sel(time=slice("2000", "2025"))
    .where(ds.time.dt.month.isin([5, 6, 7, 8, 9]), drop=True)
)

nuits0025 = (
    (tropical_0025 >= 20)
    .groupby("time.year")
    .sum()
    .mean("year")
)

#CALCUL DU DELTA ENTRE LES PERIODES
delta_nuits = nuits0025 - nuits7499
```

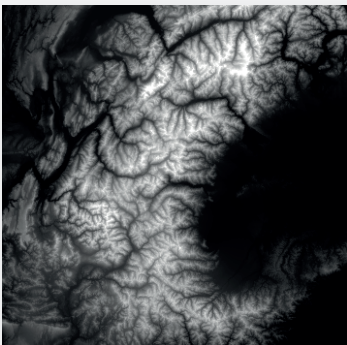
Les périodes 1974-1999 et 2000-2025 ont été sélectionnées car équivalentes (25 ans chacune) et couvrant un laps de temps qui semble suffisant pour observer une évolution à moyen terme. Python est donc utilisé pour filtrer les données, les regrouper, moyenner et effectuer les calculs de différences, puis pour convertir le résultat dans un format exportable dans QGIS (GeoTiff ou Geopackage par exemple).

Extrait de script Python utilisé pour traiter les netCDF SAFRAN

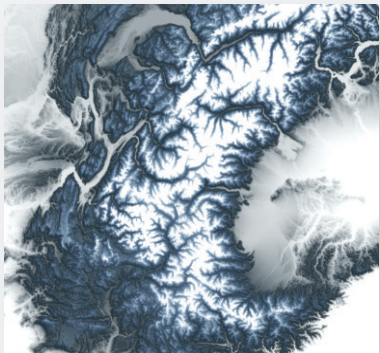
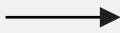
Carte 4

Réalisation d’un fond «Hillshade»

Le Hillshade est une technique cartographique qui simule un effet d’ombrage sur un relief. Il existe différentes possiblités pour produire ce résultat à partir de Modèles Numériques de Terrain (MNT) via des logiciels SIG. La carte 4 montre un exemple réalisé à partir du MNT SRTM à 30m. Celui-ci est ré-échantillonné à 90m pour adoucir le relief et plusieurs raster de pentes et d’ombrages sont produits via les algorithmes de traitement raster de QGIS. Le résultat final est obtenu en jouant sur les modes de transparence et de superposition de ces rasters, les angles d’éclairage et les contrastes, puis en appliquant une discrétisation d’altitudes et une palette de couleurs adaptées.



MNT SRTM à 30m



Rendu Hillshade traité

Carte 6

Estimation de l’îlot de chaleur urbain

L’ICU présenté sur la carte 6 est estimé à partir des données du satellite Landsat 8. On utilise les données Level 1 et notamment les bandes 4,5,6 et 10 pour déduire une radiance et calculer un indice NDVI. Ce dernier permet de déduire la température de surface. Puis une température rurale de référence est déduite dans l’emprise du raster (hors zone urbaine) et utilisée pour calculer les intensité d’ICU. Enfin, la zone de Paris intra-muros présentant quelques «trous» (données manquantes) liées à l’image d’origine, une méthode d’interpolation bilinéaire est appliquée pour les combler. Une partie de ce processus est automatisée via le plug-in «Landsat Thermal & UHI Processor» de QGIS. A noter que l’ICU estimé ici présente une journée d’été récente (23/07/26) choisie parmi les données Landsat disponible car semblant assez représentative du phénomène.