



Stage de deuxième année de Master du 02/04/2024 au 14/10/2024

---

# Etude de l'occurrence et de l'intensité des précipitations extrêmes en France métropolitaine entre 1950 et 2022

12/11/2024

Anthony Dommange

*Encadrants :*

Dr. Jean-Luc Baray

Dr. Céline Planche

## Contexte

- Nombre de catastrophes naturelles répertoriées par l'EM-DAT (The Emergency Events Database, <https://www.emdat.be/>) à l'échelle mondiale



- 40 à 50% des catastrophes naturelles sont des inondations entre 2003 et 2023
- Entre 5 000 et 10 000 décès par an sont causés par les inondations
- Elles causent en moyenne 40 milliards de dollars de dégâts matériels par an

# Inondations du 10 décembre 2021

- Des précipitations dépassant les 150 mm en 48h ont été enregistrées par Météo-France dans le Sud-Ouest de la France (Landes, Pyrénées-Atlantiques et Hautes-Pyrénées)

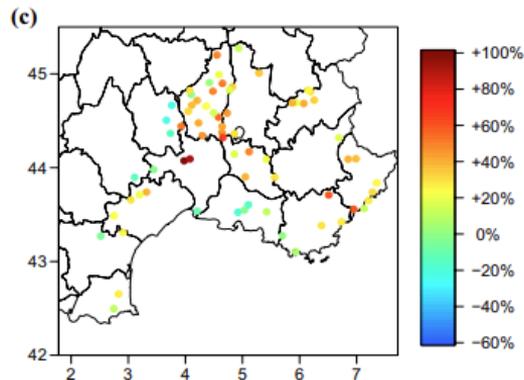
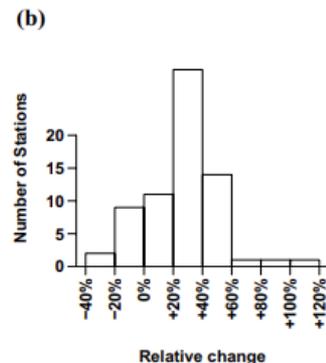
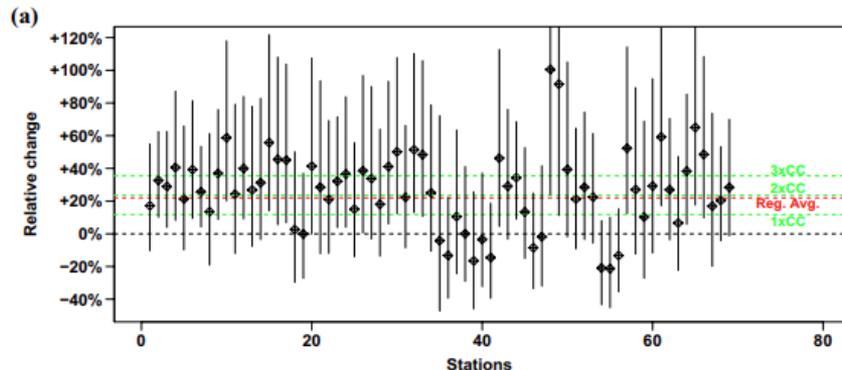


*Crue de la Nive à Bayonne (64) le vendredi 10 décembre 2021 - via Aurélie de la Riva*



*Inondations liées à la crue de la Bidouze à Saint-Palais (64) le vendredi 10 décembre 2021 - photo Curutchet Immo*

## Tendances long terme en méditerranée française



- Etude des précipitations extrêmes
  - Data : Réseau de pluviomètres Météo-France sur 15 départements
  - Période d'étude : 1961-2015

- Augmentation du maximum journalier de pluie par an de + 22 % en moyenne entre 1961 et 2015

## Problématique et questions scientifiques

«Les précipitations extrêmes sont très probablement plus fréquentes et plus intenses avec chaque degré supplémentaire de réchauffement global »

*(GIEC, 2021, Summary for Policymakers, section A.3.3).*

- A quelle fréquence observe-t-on des précipitations extrêmes en France métropolitaine entre 1950 et 2022 ?
- Comment l'intensité de ces événements extrêmes évolue au cours du temps sur cette même période ?

## I. Matériel et méthodes

1. Les données de réanalyse ECMWF ERA5
2. Les mesures de pluviomètres Météo-France
3. Critères utilisés pour définir les événements extrêmes

## II. Résultats

1. Localisation des événements de précipitations extrêmes
2. Occurrence des précipitations extrêmes 1950-2022
3. Intensité des précipitations extrêmes 1950-2022

## III. Conclusion et perspectives

# Les données de réanalyse ECMWF ERA5

- Modèle climatique : réanalyse ERA5

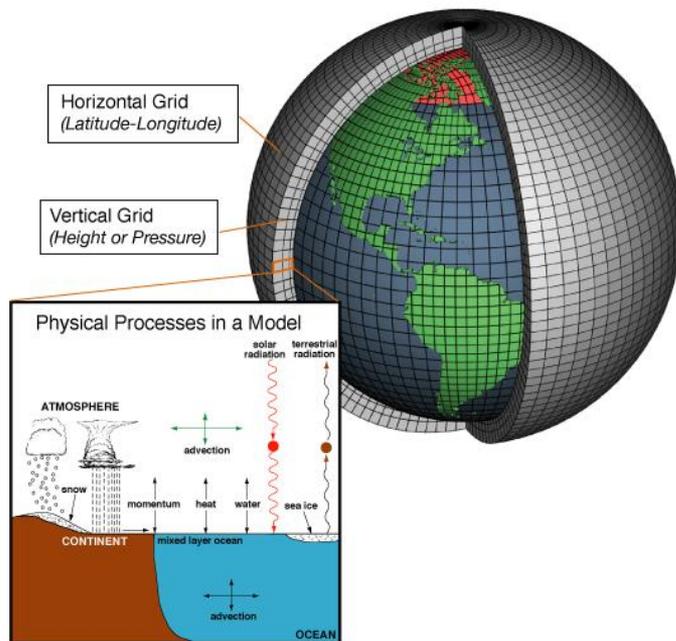
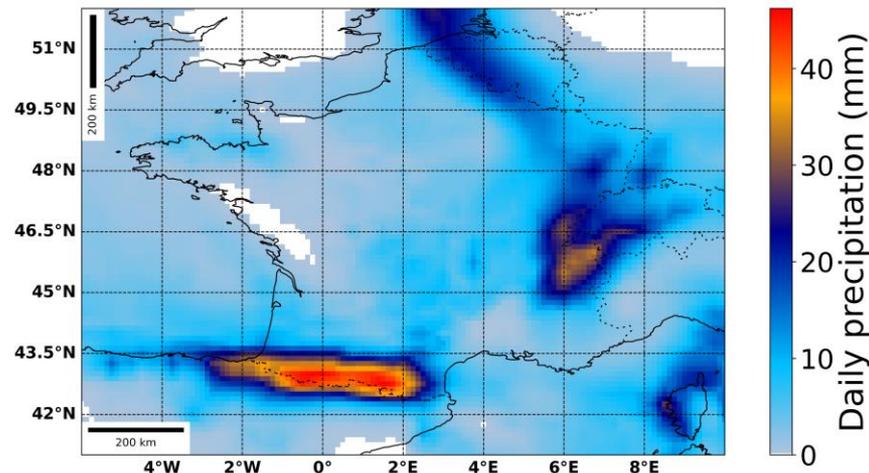


Figure : Schéma de la structure des données de réanalyse ECMWF ERA5

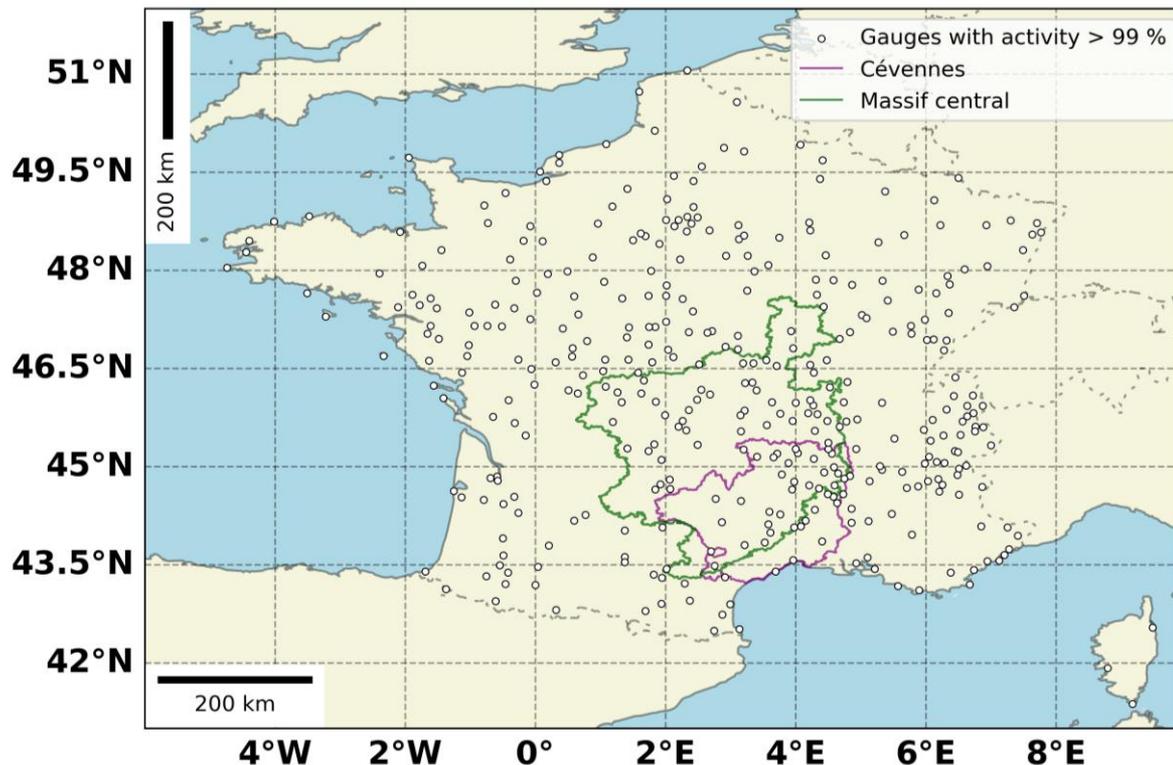
- Paramètre "total precipitation" (mm)
- Données surfaciques



Exemple de carte des précipitations journalières du 10 décembre 2021 (ERA5)

- Résolutions : 31 x 31 km<sup>2</sup>, horaire

## ➤ Réseau de pluviomètres Météo-France



## Intensité des précipitations extrêmes

### Indice climatique RX1 :

- Maximum journalier de précipitation sur l'année (en mm)

Indices climatiques OMM

<https://doi.org/10.1002/wcc.147>

## Occurrence des précipitations extrêmes

### Indice climatique RRnmm : nombre de jours supérieurs à nn millimètres de précipitation

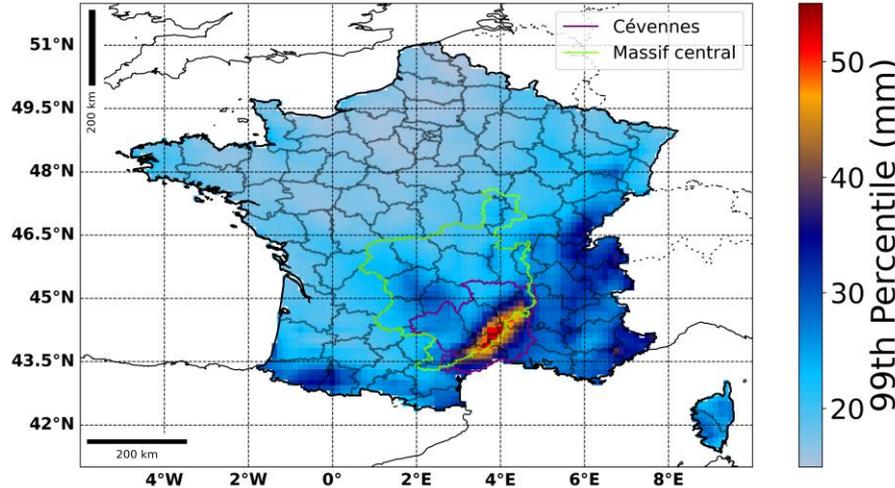
- RRnmm est utilisé pour évaluer la fréquence des précipitations extrêmes, en comptant le nombre de jours chaque année où les précipitations dépassent un seuil donné

### Choix du seuil noté nn :

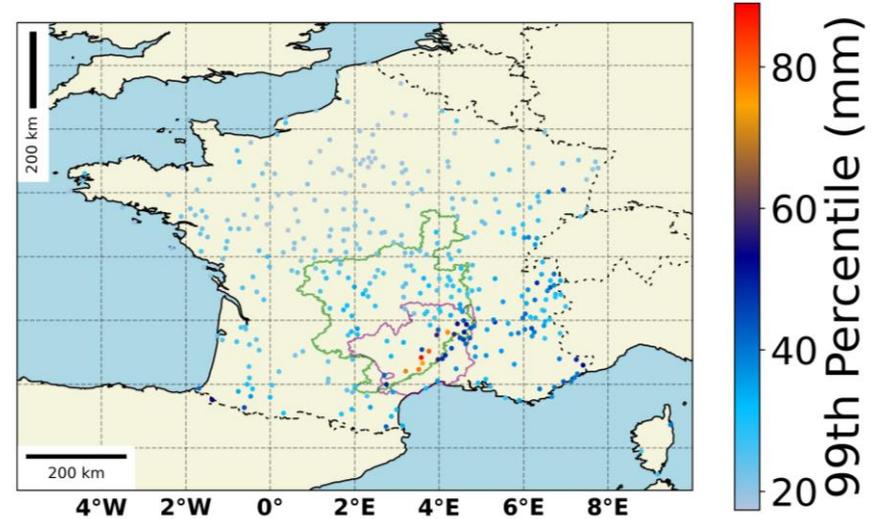
- Définit comme le 99<sup>ème</sup> percentile des maximums de précipitations journaliers sur la période d'étude (1950-2022)
- Permet de capturer les événements de précipitation les plus rares et extrêmes, représentant les 1% des jours avec les précipitations les plus élevées

# Localisation des précipitations extrêmes

## ECMWF ERA5



## Météo-France

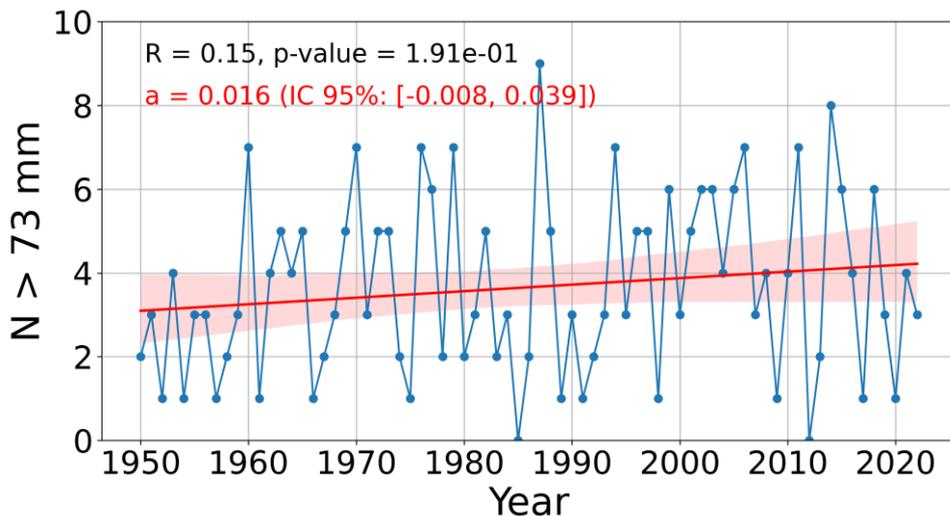


➤ Distribution spatiale inégale des précipitations journalières extrêmes en France métropolitaine (1950-2022)

➤ Zone sensible : massif des Cévennes

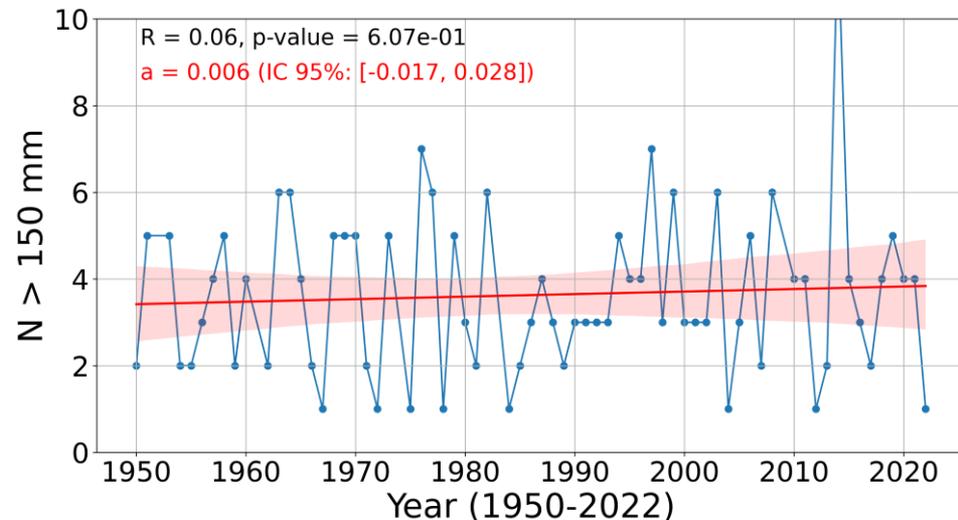
- Comparaison des 99ème percentile des maximums journaliers calculés sur la zone des Cévennes

## ECMWF ERA5



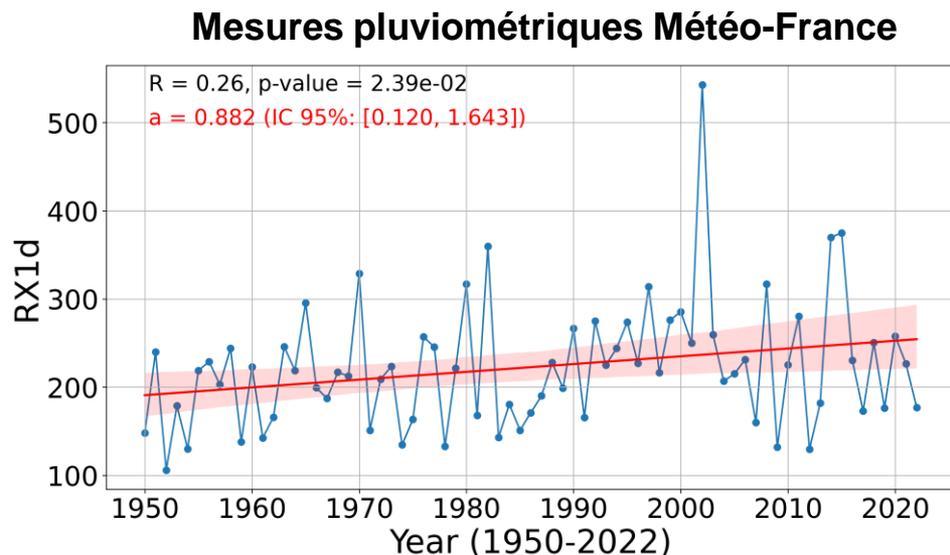
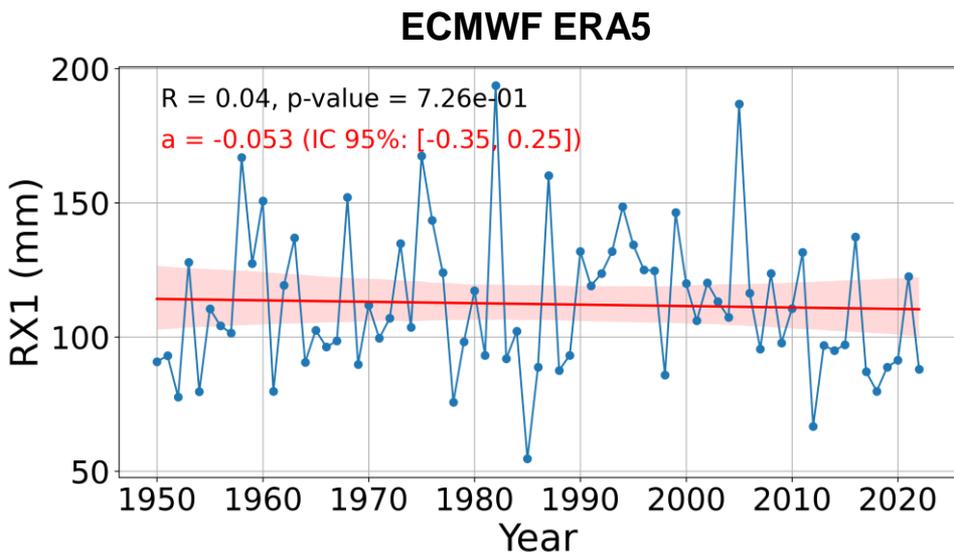
- ERA5 99ème percentile = 73 mm
  - Augmentation non significative de + 1,15 jour sur 73 ans

## Mesures pluviométriques Météo-France



- Météo-France 99ème percentile = 150 mm
  - Augmentation non significative de + 0,44 jour sur 73 ans

- Comparaison de l'évolution du maximum journalier de précipitation sur l'année



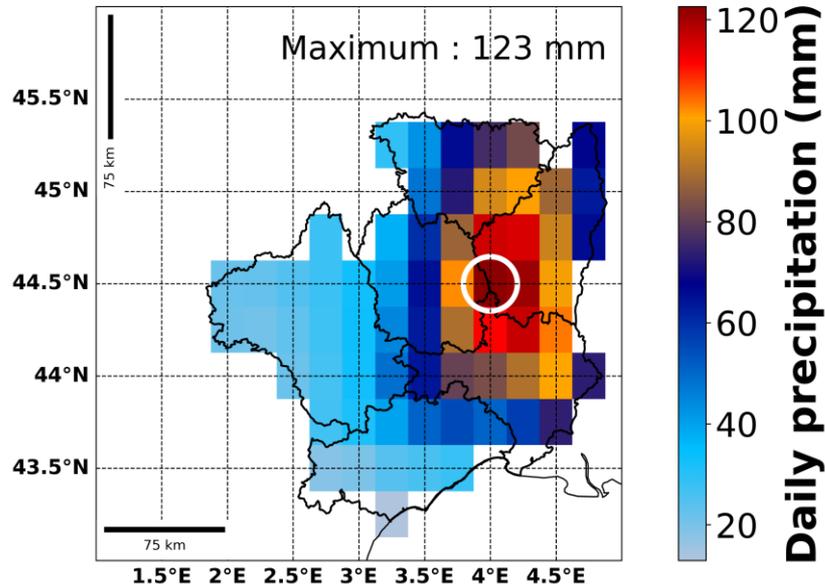
- D'après les données Météo-France :

- Augmentation significative de RX1 estimée à 0,88 mm/an
- Augmentation totale de + 64 mm, soit + 34% entre 1950 et 2022

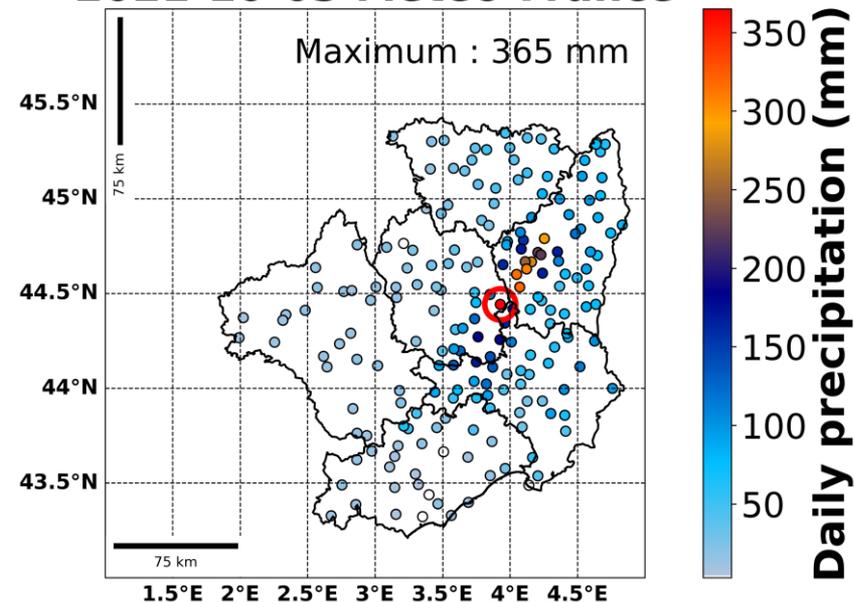
# Comparaison ERA5 et Météo-France

- Comparaison des précipitations journalières sur le cas d'étude du 03 octobre 2021

## 2021-10-03 ERA5



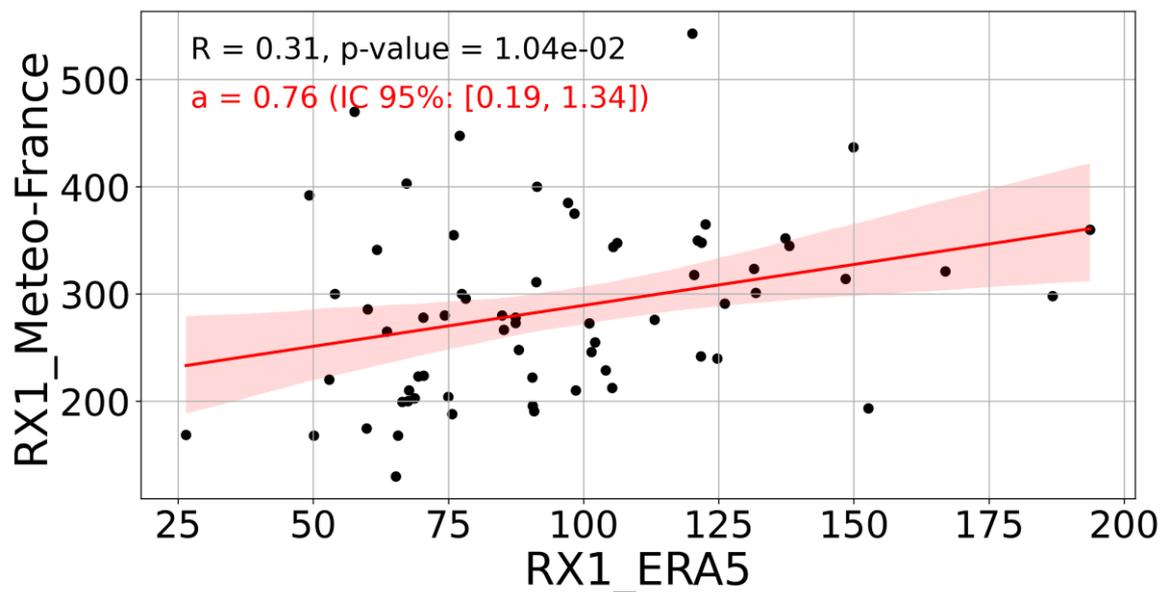
## 2021-10-03 Météo-France



- Episode Cévenol visible avec ERA5 et Météo-France avec un maximum 3 fois plus élevé dans les données Météo-France

# Comparaison ERA5 et Météo-France

- Comparaison des maximums journaliers de précipitations sur l'année entre ERA5 et Météo-France



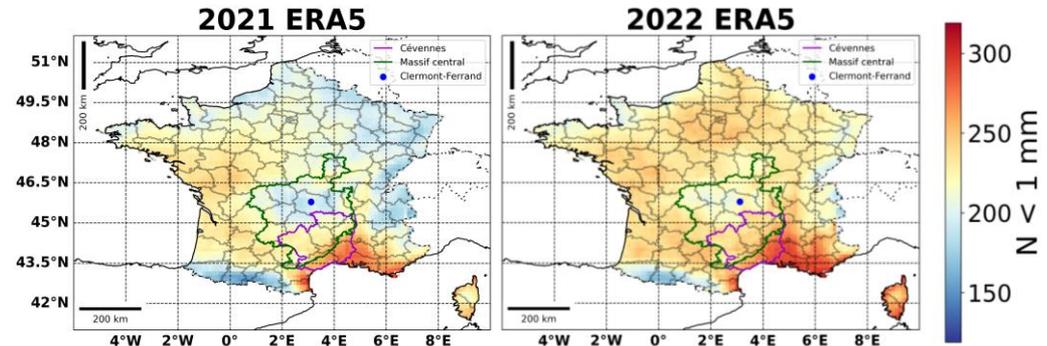
- Sous-estimation de 24% du maximum de pluie (RX1) dans les données ERA5 → Effet de résolution ?

- Les précipitations extrêmes en France se concentrent dans les zones montagneuses et en particulier dans les Cévennes
- Les mesures des pluviomètres indiquent une augmentation de + 64 mm du maximum journalier de précipitation sur l'année entre 1950 et 2022, soit **+ 34% en 73 ans**
- Sous-estimation de l'intensité des événements extrêmes de ERA5 (RX1 biais moyen de 190 mm entre ERA5 et Météo-France)  
→ **Effet de résolution ?**

« Les modèles climatiques prévoient que, bien que certaines régions puissent connaître des réductions du nombre total d'événements, les intensités maximales de précipitations augmenteront »

*(GIEC, 2021, Summary for Policymakers, sections B.2 et B.3).*

- Ce travail s'intègre dans un cadre pluridisciplinaire sur l'étude des épisodes climatiques extrêmes (sécheresses et inondations) au sein du pôle Eau de l'Université Clermont Auvergne.
  - Focus sur le Massif-Central
- Étude des **sécheresses** dans les Cévennes et le Massif-Central :
  - Analyse des épisodes de sécheresse en utilisant les données de précipitations totales ERA5
  - Focus particulier sur le nombre de jours consécutifs sans eau
- Base de données CEBA
- Publication scientifique en cours



- Causse, A., Planche, C., Buisson, E., & Baray, J. L. (2023). Evaluation of rain estimates from several ground-based radar networks and satellite products for two cases observed over France in 2022. *Atmosphere*, 14(12), 1726.
- Gimeno, L., Sorí, R., Vázquez, M., Stojanovic, M., Algarra, I., Eiras-Barca, J., Gimeno-Sotelo, L., & Nieto, R. (2022). Extreme precipitation events. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 9(6), e1611.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049.
- Jiang, Q., Li, W., Li, W., Fan, Z., He, X., Sun, W., Chen, S., Wen, J., Gao, J., & Wang, J. (2020). Evaluation of the ERA5 reanalysis precipitation dataset over Chinese Mainland. *Journal of Hydrology*, 125660. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125660>
- Marra, F., Armon, M., Borga, M., & Morin, E. (2020). Orographic effect on extreme precipitation statistics peaks at hourly time scales. *Geophysical Research Letters*, 48. <https://doi.org/10.1029/2020GL091498>
- Météo-France. (2024). Données publiques de Météo-France. <https://donneespubliques.meteofrance.fr/>
- ETCCDI. (2020). Indices of climate extremes. <https://www.climdex.org/learn/indices/>
- Delforge, D., Wathelet, V., Below, R., & others. (2023, December 27). *EM-DAT: The Emergency Events Database (Version 1)* [Preprint]. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3807553/v1>
- EM-DAT, CRED / UCLouvain. (2024). *EM-DAT: The International Disaster Database*. Brussels, Belgium: Université catholique de Louvain (UCLouvain). <https://www.emdat.be>

## Étapes du Processus de Réanalyse des Données ERA5

### 1. Collecte et préparation des données d'observation

Collecte de données variées (satellites, stations, etc.) et préparation des données pour correction et validation.

### 2. Assimilation des données (4D-Var)

Assimilation des données sur une fenêtre temporelle, utilisant la méthode 4D-Var pour optimiser l'état de l'atmosphère.

### 3. Production de l'analyse atmosphérique

Production d'une analyse précise des variables météorologiques sur une grille globale.

### 4. Post-traitement des données

Interpolation, correction des biais et calcul des variables dérivées pour un meilleur usage des données.

### 5. Validation et vérification des données

Vérification de la qualité par comparaison avec des observations indépendantes et contrôle de cohérence.

### 6. Distribution et mise à disposition des données

Mise à disposition des données dans des formats standardisés (NetCDF, GRIB) sur des plateformes d'accès.

### 7. Mises à jour et maintenance

Maintenance continue, mise à jour des données avec les nouvelles observations et révisions.

- Modèle numérique : IFS (Integrated Forecasting System)
- Méthode d'assimilation : 4D-var (longitude, latitude, altitude, temps)
- Exemple de lois physique utilisés par le modèle IFS :
  - Équations de Navier-Stokes pour les fluides atmosphériques
  - Equation de Clausius-Clapeyron
  - Loi des gaz parfaits
  - Equation de continuité (conservation de la masse)
  - Equation de la conservation de l'énergie
  - Equation hydrostatique
  - Loi de Stefan-Boltzmann
  - Paramétrisation microphysique des nuages
  - Equation de diffusion de la chaleur et de l'humidité

Schéma des différentes étapes conduisant à l'obtention des données de réanalyse ERA5