

Société de Calcul Mathématique SA

Outils d'aide à la décision

depuis 1995



Evolution des températures,
précipitations,
phénomènes extrêmes,
sur 7 sites dans le monde

Rapport rédigé par la

Société de Calcul Mathématique SA

Version 3, avec corrections

Corrections apportées aux versions précédentes

Plusieurs personnes nous ont fait observer des erreurs dans les versions précédentes du rapport ; les deux principales sont :

- Pour les températures, nous avons pris comme unité de temps le mois, tandis que Excel travaille en jours. Les équations des droites de régression étaient correctes, mais les calculs de température étaient faux.
- Pour la pluviométrie, l'erreur se situait lors du téléchargement de certaines données, et une confusion entre le point et la virgule a été faite pour certaines valeurs.

Il semble, nous dit-on, y avoir des difficultés au niveau du téléchargement des données : télécharger un gros ensemble ne donne pas les mêmes résultats que des téléchargements partiels.

Nous reconnaissons volontiers que ces erreurs auraient dû être évitées si nous avions fait un contrôle plus attentif en ce qui concerne la nature des données, les unités et la représentation décimale.

A quelque chose malheur est bon : il est très difficile de détecter ce type d'erreur en interne, parce qu'elles ne sont pas de nature mathématique ; elles apparaîtront évidentes à un spécialiste du sujet. D'où l'utilité de diffuser nos résultats le plus largement possible. Un grand merci à tous ceux qui nous ont écrit. Mais nous sommes sûrs qu'il reste encore de nombreuses erreurs à corriger, dans ce rapport et dans tous les autres : la chasse est ouverte !

Bernard Beauzamy

Relevé de résultats

Sept sites sont étudiés, répartis dans six pays : Etats-Unis, Chine, Inde, Brésil, Corée du Sud et Indonésie.

Pour chacun d'eux, nous collectons les données de température et de précipitations. Nous comptabilisons également le nombre de phénomènes extrêmes (ouragans, tempêtes et tornades) qui les ont touchés.

Pour les températures et les précipitations, nous présentons les moyennes mensuelles et les maximales mensuelles.

Les résultats sont les suivants :

A. Températures

1. Plaquemie

L'évolution moyenne des températures est de +3,4°C en 30 ans : tendance régulière.
Les maximales ont augmenté en moyenne de 2,3°C en 30 ans : tendance régulière.

2. Savannah

L'évolution moyenne des températures est de +3°C en 30 ans : tendance régulière.
Les maximales ont augmenté en moyenne de 2,3°C en 30 ans : tendance régulière.

3. Kandla

La station météorologique retenue est Bhuj.

L'évolution moyenne des températures est une baisse de 1,1°C en 15 ans : tendance régulière.
Les maximales ont baissé en moyenne de 1,1°C en 15 ans : tendance régulière.

4. Taixing

La station météorologique retenue est Nantong.

L'évolution moyenne des températures est de +0,5°C en 15 ans : tendance régulière.
Les maximales ont augmenté en moyenne de 0,2°C en 15 ans : tendance régulière.

5. Jakarta

L'évolution moyenne des températures est de +1,6°C en 15 ans, mais avec une forte rupture de tendance :

- Hausse moyenne totale de 3°C entre le 01/01/2009 et le 01/11/2020 ;
- Baisse moyenne totale de 0,6°C entre le 01/11/2020 et le 01/12/2023.

Les maximales ont augmenté en moyenne de 2,2°C en 15 ans, avec, comme précédemment, une baisse depuis fin 2020.

6. Ulsan

La station météorologique retenue est Yangsan.

L'évolution moyenne des températures est de +2,2°C en 15 ans : tendance régulière.

Les maximales ont augmenté en moyenne de 1,6°C en 15 ans : tendance régulière.

7. Camacari

La station météorologique retenue est Salvador de Bahia.

L'évolution moyenne des températures est une baisse de 0,16°C en 15 ans : tendance régulière.

Les maximales ont augmenté en moyenne de 0,55°C en 15 ans : tendance régulière.

B. Les précipitations

Pour chacun des sites, nous avons relevé les précipitations journalières depuis 2009 jusqu'en 2023 inclus. Nous avons calculé les cumuls annuels de précipitations pour chacun des sites.

1. Plaquemine

Les précipitations varient beaucoup depuis 15 ans. Elles ont augmenté depuis 2011 avant de stagner puis de baisser depuis 2021. Pas de tendance nette.

2. Savannah

Les précipitations ont été plus faibles entre 2010 et 2012. Depuis 2013, elles ne connaissent pas d'évolution particulière.

3. Kandla

La station météo retenue est Bhuj.

Il y a de grandes différences de pluviométrie selon les années. Certaines années sont très pluvieuses (2013 et 2019), tandis que d'autres sont plus sèches : 2018, 2022 et 2023. Il n'y pas de tendance générale. Les deux dernières années sont particulièrement sèches.

4. Taixing

La station météo retenue est Nantong.

Les précipitations ont baissé entre 2009 et 2014, avant d'osciller jusqu'en 2021. Les années 2022, 2023 sont particulièrement sèches.

5. Jakarta

Pas de tendance nette, si ce n'est que les deux dernières années (2022 et 2023) sont particulièrement sèches.

6. Ulsan

La station météo retenue est Yangsan.

Les cumuls de précipitations sont très variables depuis 15 ans avec des années plus pluvieuses (2019 et 2016) et des années plus sèches (2017 et 2022). Pas de tendance générale ; les deux dernières années ne sont pas particulièrement sèches.

7. Camacari

La station météo retenue est Salvador de Bahia.

Pas de tendance générale, si ce n'est que 2023 est particulièrement sèche.

C. Phénomènes extrêmes

Deux sites n'ont connu aucune tempête ou ouragan depuis 50 ans : Jakarta et Camacari. Kandla et Ulsan ont connu peu de tempêtes dont une seule d'ampleur (catégorie 1) et aucune tornade. Les trois derniers sites ont connu leur lot de tempêtes et de tornades depuis 50 ans, sans évolution récente notable.

I. Rappel du besoin

Le travail de la SCM est de trouver puis de compiler toutes les données relatives à ces paramètres pour tous les sites retenus. Une fois les données obtenues, nous étudions leur possible évolution puis nous faisons des prévisions grossières pour le futur.

Dans un premier temps, nous présentons les différents sites ainsi que la méthode pour créer la base de données. Ensuite, nous consacrons un chapitre à chacun des paramètres : température, pluviométrie et phénomènes extrêmes. Pour chaque chapitre, une partie différente est consacrée à chaque site.

II. Création de la base de données

A. Présentation des sites

Notre étude porte sur sept sites :

- Savannah, Géorgie, États-Unis, située dans le sud-est du pays sur la côte atlantique.
- Plaquemine, Louisiane, États-Unis, localisée dans le sud du pays, près du golfe du Mexique.
- Kandla, Gujarat, Inde, ville portuaire située dans l'ouest du pays, sur le littoral de la mer d'Arabie.
- Taixing, Jiangsu, Chine, positionnée dans l'est du pays, le long de la côte de la mer Jaune.
- Ulsan, Corée du Sud, une ville sur la côte est, au sud-est de la péninsule coréenne.
- Jakarta, Indonésie, la capitale située sur l'île de Java, en Asie du Sud-Est.
- Camaçari, Bahia, Brésil, localisée dans le nord-est du Brésil, sur la côte atlantique.

B. Récupération des données

Pour chacun des sites, nous avons recherché l'historique des données météorologiques concernant la température et la pluviométrie. Les sites ne sont pas toujours situés dans de grandes villes disposant d'une station météo. Nous avons dû récupérer les données de villes proches pour pouvoir constituer un historique. Nous avons découpé la collecte de données en deux parties : une pour les températures et les précipitations et l'autre pour les phénomènes extrêmes. Dans le cas des températures et de la pluviométrie, les détails concernant les stations météorologiques sont les suivants :

- Savannah :

Période du 1/01/1993 au 31/12/2023 pour les températures et du 01/01/2009 au 31/12/2023 pour les précipitations ;

Source : Weather Underground : <https://www.wunderground.com/> et Meteostat pour les précipitations de 2009 à 2013.

- Plaquemine

Période du 1/01/1993 au 31/12/2023 pour les températures et du 01/01/2009 au 31/12/2023 pour les précipitations ;

Source : Weather Underground : <https://www.wunderground.com/> pour les températures.

Pour les précipitations, nous avons utilisé les données de New Liberia en Louisiane située à 80 km à l'ouest de Plaquemine.

Source : Historique Météo : <https://www.historique-meteo.net/>

- Kandla :

Période du 01/01/2009 au 31/12/2023

Remarque : Pour cette ville, nous avons utilisé les données de Bhuj, située à environ 60 kilomètres à l'est de Kandla Port, en raison de l'indisponibilité des données historiques pour Kandla.

Source : Historique Météo <https://www.historique-meteo.net/>

- Taixing :

Période du 01/01/2009 au 31/12/2023

Remarque : Pour cette ville, nous avons utilisé les données de Nantong, située à environ 70 à 80 kilomètres de Taixing, en raison de l'indisponibilité des données historiques pour Taixing.

Source : Historique Météo <https://www.historique-meteo.net/>

- Ulsan :

Période du 01/01/2009 au 31/12/2023

Remarque : Pour cette ville, nous avons utilisé les données de Yangsan, située à environ 40 kilomètres au sud-ouest d'Ulsan, en raison de l'indisponibilité des données historiques pour Ulsan.

Source : Historique Météo <https://www.historique-meteo.net/>

- Jakarta :

Période du 01/01/2009 au 31/12/2023

Source : Historique Météo <https://www.historique-meteo.net/>

- Camaçari :

Période du 01/01/2009 au 31/12/2023

Remarque : Pour cette ville, nous avons utilisé les données de Salvador de Bahia, située à environ 40 kilomètres au sud de Camaçari, en raison de l'indisponibilité des données historiques pour Camaçari.

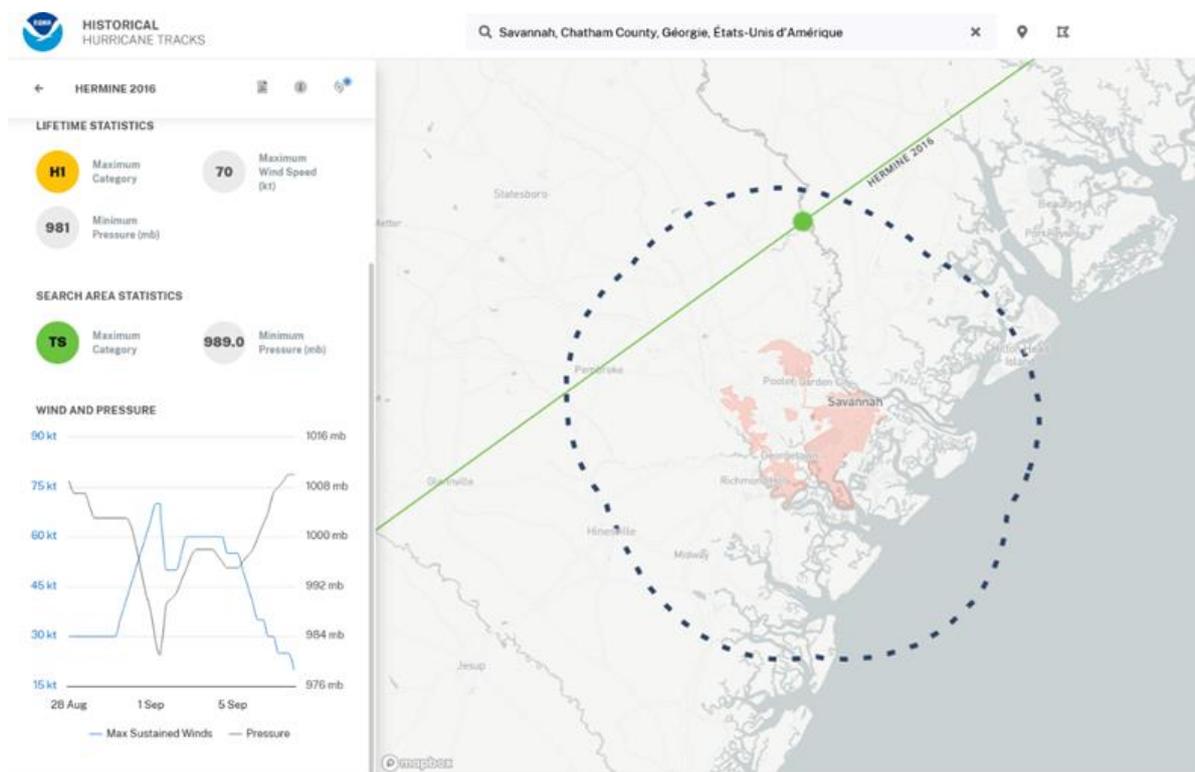
Source : Historique Météo <https://www.historique-meteo.net/>

Sur le site Historique Météo, nous disposons des températures maximales et minimales quotidiennes. Nous avons calculé la moyenne entre ces deux valeurs pour avoir la température journalière.

Pour les phénomènes extrêmes, nous les avons étudiés pour les 7 sites sur 50 ans et dans un rayon de 30 km autour des villes. Par phénomènes extrêmes, nous entendons l'ensemble des tornades, ouragans, cyclones, typhons et orages.

Le site Historical Hurricane Tracks permet de répertorier et de visualiser les trajectoires de toutes les tempêtes, à l'exception des tornades, pour la plupart des villes du monde. Ce site met aussi à disposition un outil incluant les tempêtes passant à une certaine distance de la ville, que nous avons paramétrée sur 30 km.

Les mesures effectuées par Historical Hurricane Track sont ponctuelles. Voici un exemple de mesure pour un ouragan survenu à Savannah :



Ainsi, lorsqu'une mesure a été effectuée dans le périmètre de la ville, nous relevons les informations concernant l'ouragan, telles que la catégorie, la vitesse de pointe, la pression et la date.

Il arrive cependant que des mesures aient été effectuées en dehors du périmètre défini pour la ville, bien que l'ouragan traverse la zone qui nous intéresse. Si c'est le cas, nous avons décalqué l'ensemble de la zone avec les mesures qui nous intéressent, puis nous avons calculé par une remise à l'échelle les valeurs de la vitesse de pointe et de la pression au point le plus proche de la ville.

Pour chaque site, nous comptabilisons le nombre de phénomènes selon leur nature. Un extrait de la base est donné ci-dessous :

Années (Date)	Type Tornade	Nombre de Type Tornade
☐ 1974	F1	1
Total 1974		1
☐ 1975	F2	1
Total 1975		1
☐ 1976	F1	1
Total 1976		1
☐ 1978	F1	1
Total 1978		1
☐ 1979	F0	1
1979	F1	1
Total 1979		2
☐ 1980	F1	3
1980	F2	1

III. Analyse des températures

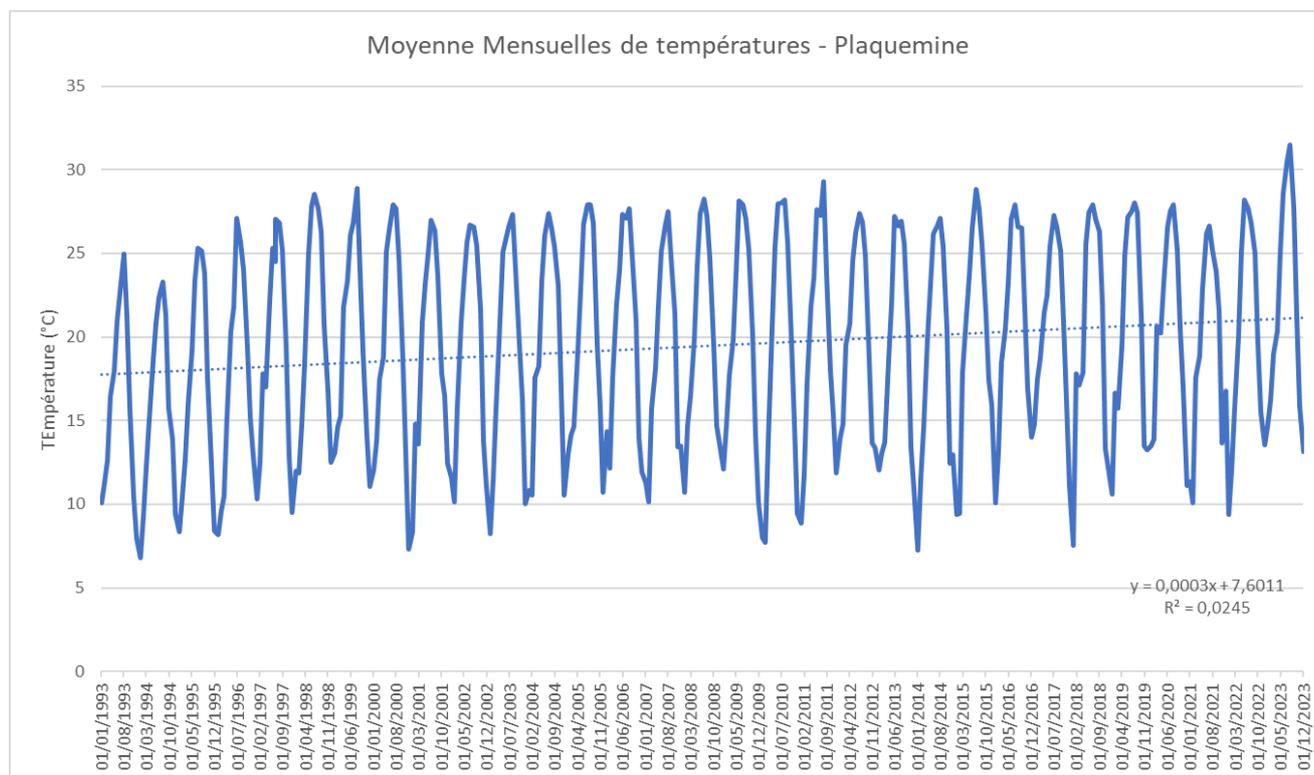
Pour tous les sites, nous disposons des températures quotidiennes depuis 1993 pour les deux sites américains et depuis 2009 pour les autres. Par souci de visibilité, nous calculons les moyennes mensuelles. De plus, nous étudions les maximales mensuelles des températures : ont-elles augmenté depuis le début des mesures ? Une fois les graphiques obtenus, nous traçons la courbe de tendance pour suivre l'évolution linéaire des températures. La pente de la droite affine nous permet de connaître le degré d'évolution des températures. Une pente de 0.003 par exemple signifie que les températures ont augmenté de 3°C en 1000 jours.

Correction apportée par rapport à la version 1 du présent article

Les équations des droites de régression étaient correctes, mais les abscisses doivent être comptées en jours et non en mois ; pour Excel, la différence entre deux dates s'exprime en jours, même si le tableau de données fait intervenir des mois. Nous remercions vivement M. Jean Louchet pour nous avoir fait observer (sur LinkedIn) que les résultats de la première version ne pouvaient pas être corrects.

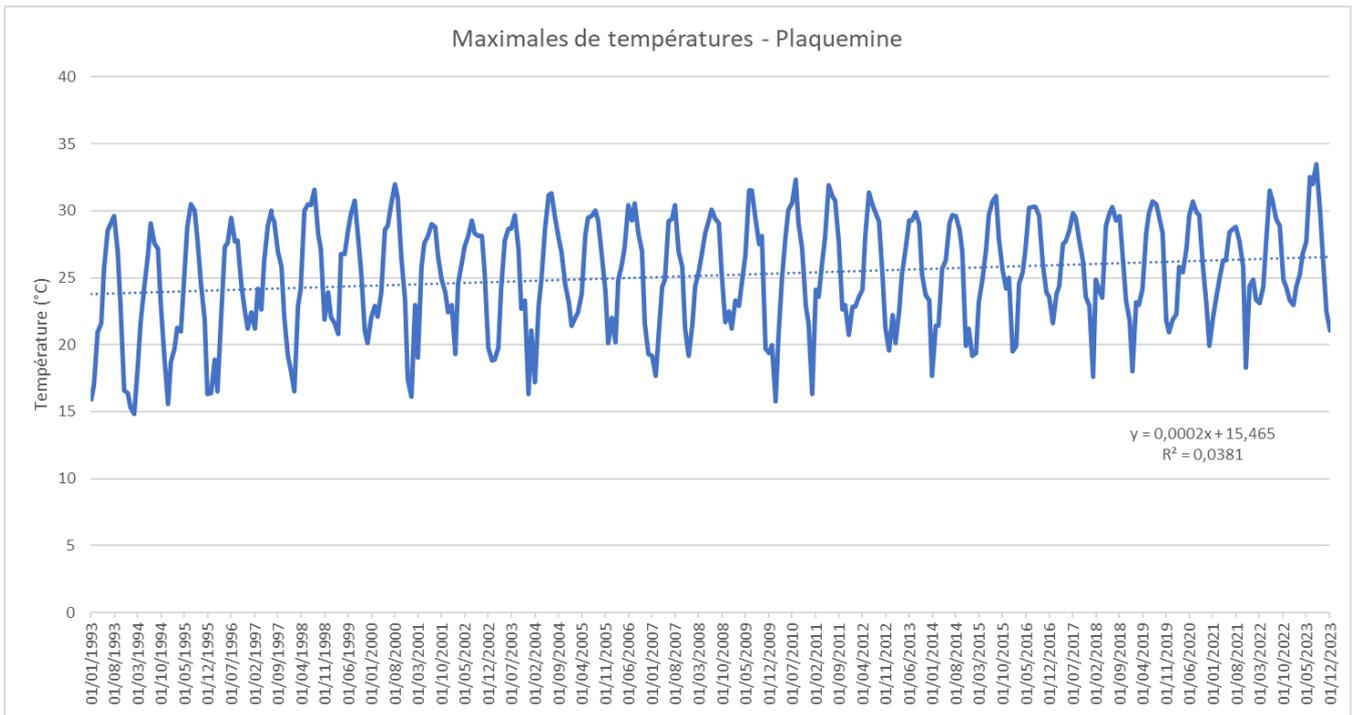
A. Plaquemine

Les données mensuelles de température sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les températures sont comprises entre 5 et 30°C depuis 1993. Les différences saisonnières sont très importantes. Pour les dernières années, les températures sont rarement inférieures à 10°C. Le dernier été a été le plus chaud depuis 2009 avec une température moyenne dépassant 30°C au mois d'août 2023. L'évolution moyenne des températures est de 3,4°C en 30 ans.

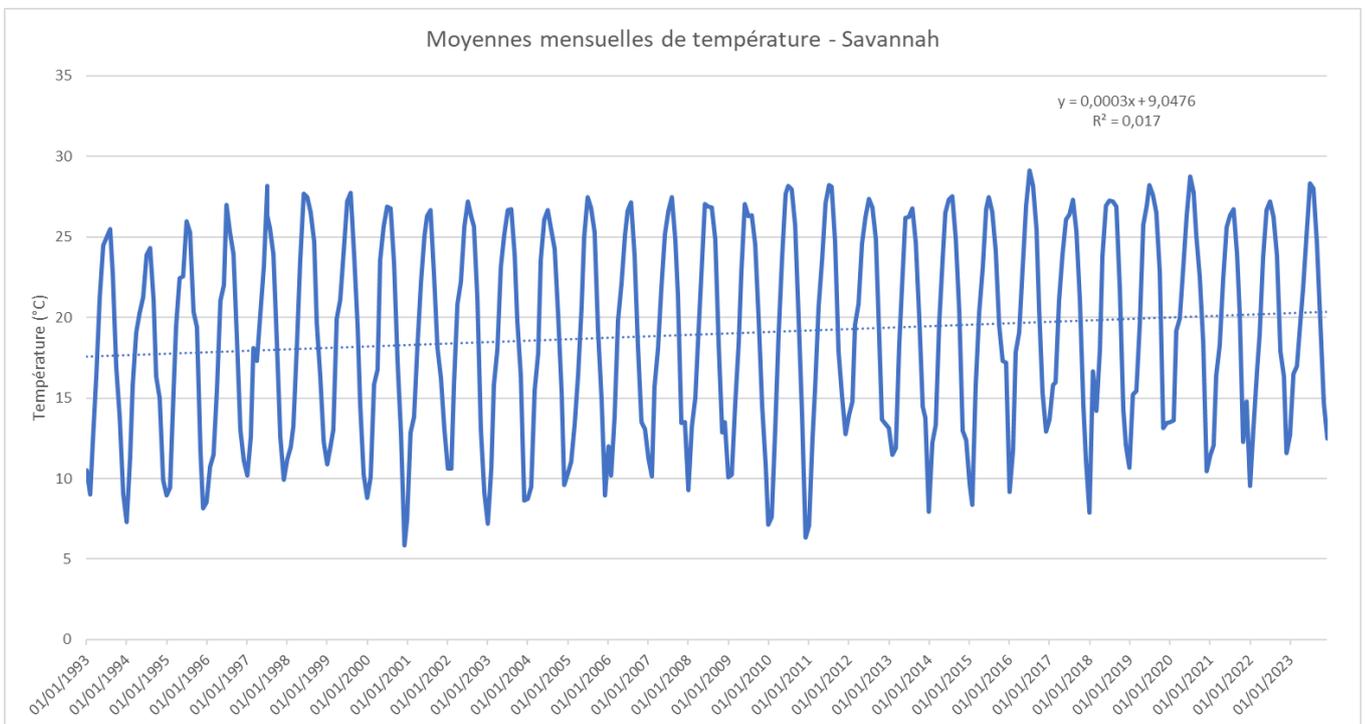
Les maximales mensuelles des températures sont données dans le graphique ci-dessous :



Les maximales sont comprises entre 15 °C pour l'hiver et 30°C pour l'été. Elles ont augmenté en moyenne de 2,3°C en 30 ans.

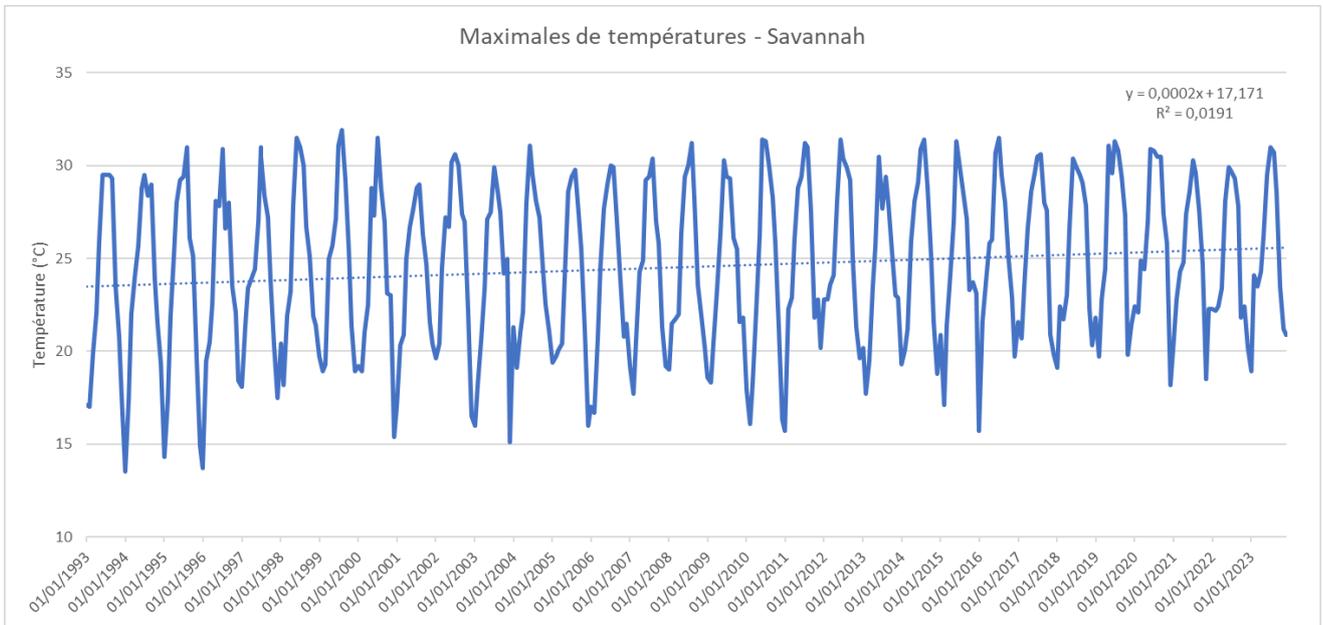
B. Savannah

Les données mensuelles de températures sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les températures sont comprises entre 5 et 30°C depuis 1993. Les différences saisonnières sont très importantes. Pour les dernières années, les températures sont rarement inférieures à 10°C. L'évolution moyenne des températures est de +3°C en 30 ans.

Les maximales mensuelles des températures sont données dans le graphique ci-dessous :

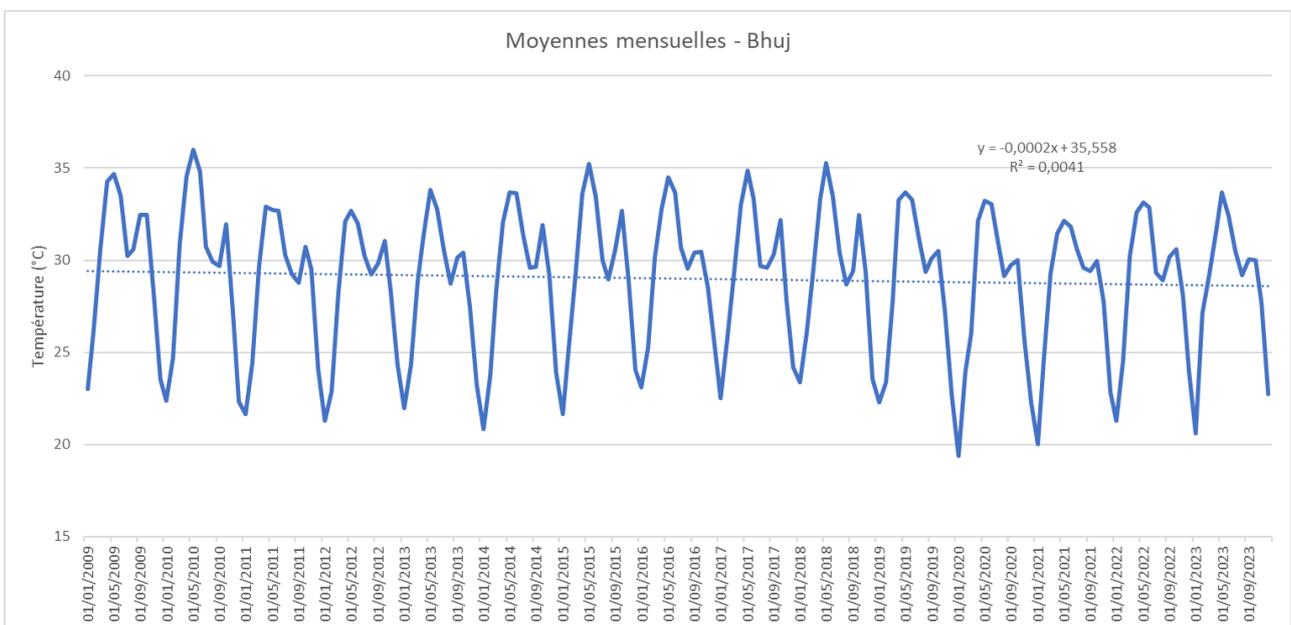


Les maximales sont comprises entre 15 °C pour l'hiver et 35°C pour l'été. Elles ont augmenté en moyenne de 2,3°C en 30 ans.

C. Kandla

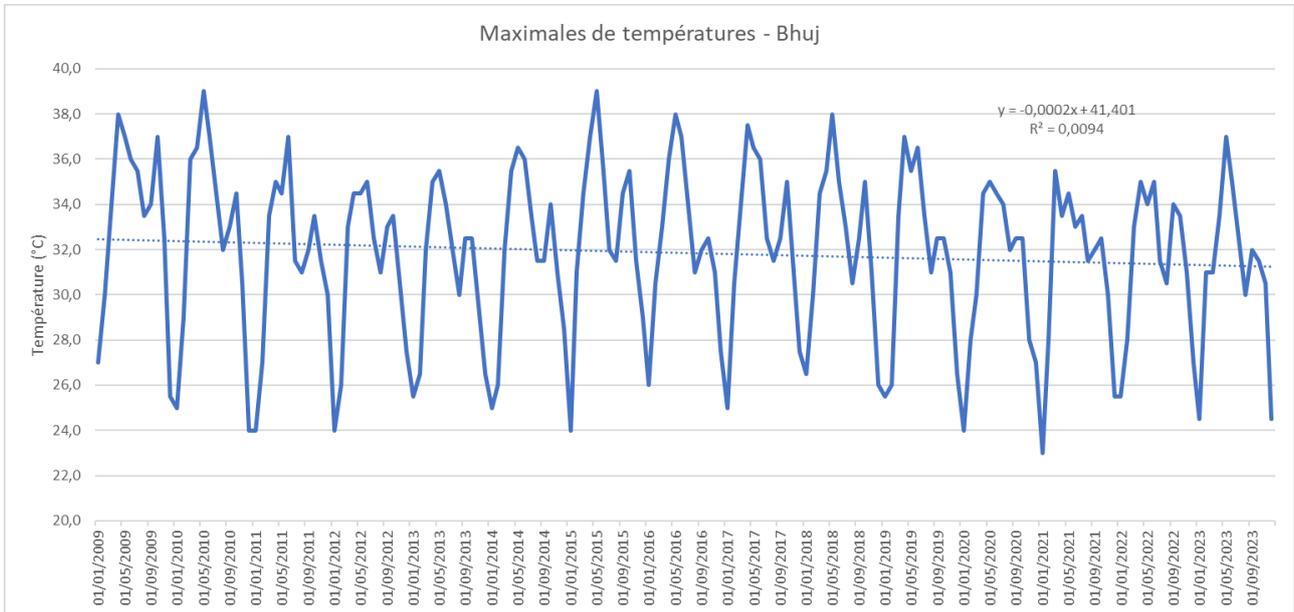
Pour rappel la station météorologique retenue est Bhuj.

Les données mensuelles de températures sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les températures sont comprises entre 19 et 36°C depuis 2009. Les différences saisonnières sont importantes, avec des pics en mai et en octobre, ainsi qu'un creux en janvier. L'évolution moyenne des températures est une baisse moyenne de 1,1°C en 15 ans.

Les maximales mensuelles des températures sont données dans le graphique ci-dessous :

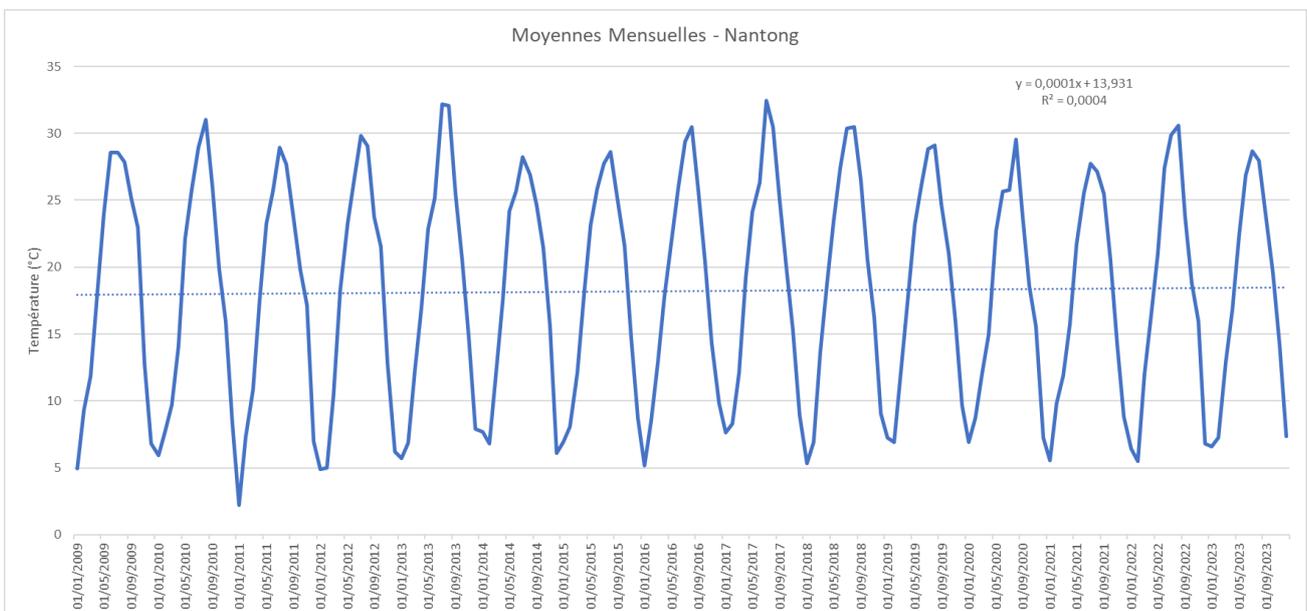


Les maximales sont comprises entre 22 °C pour l'hiver et 40°C pour l'été. Elles ont baissé en moyenne de 1,1°C en 15 ans.

D. Taixing

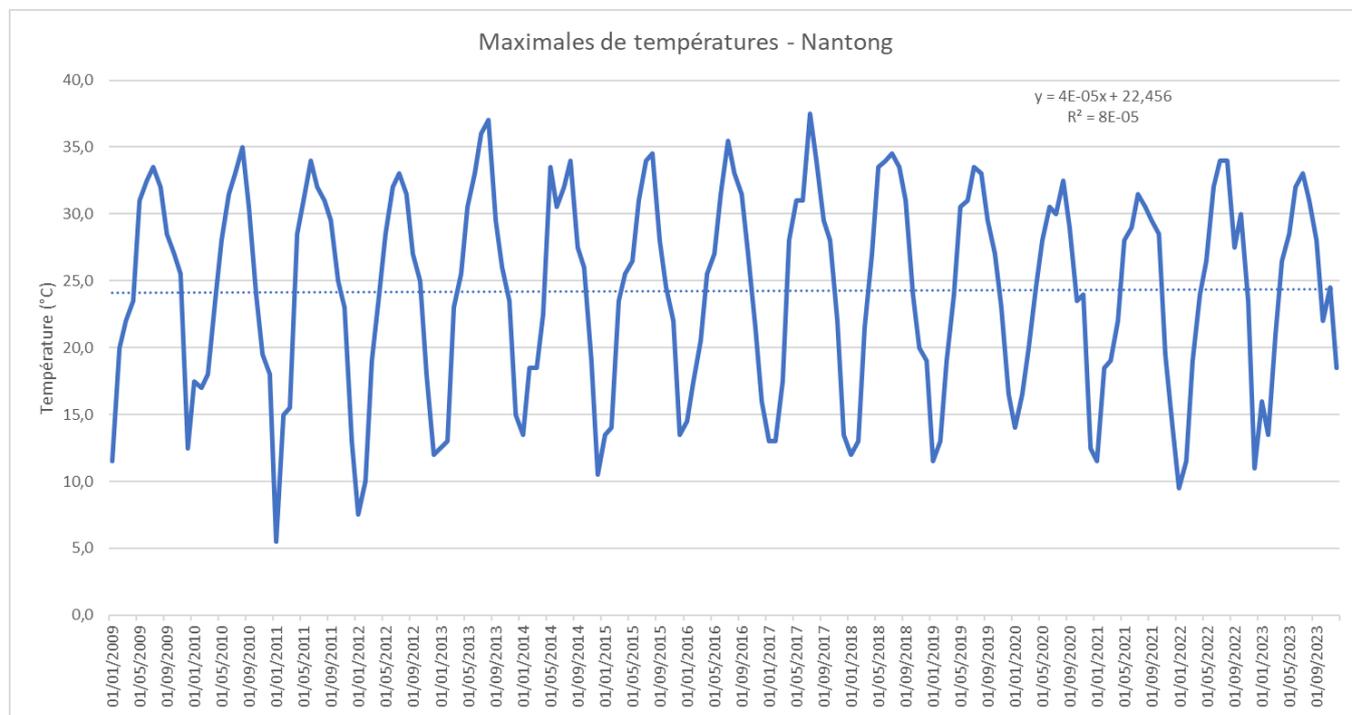
Pour rappel la station météorologique retenue est Nantong.

Les données mensuelles de températures sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les températures sont comprises entre 0 et 33°C depuis 2009. Les différences saisonnières sont très importantes. L'évolution moyenne des températures est de +0,5°C en 15 ans.

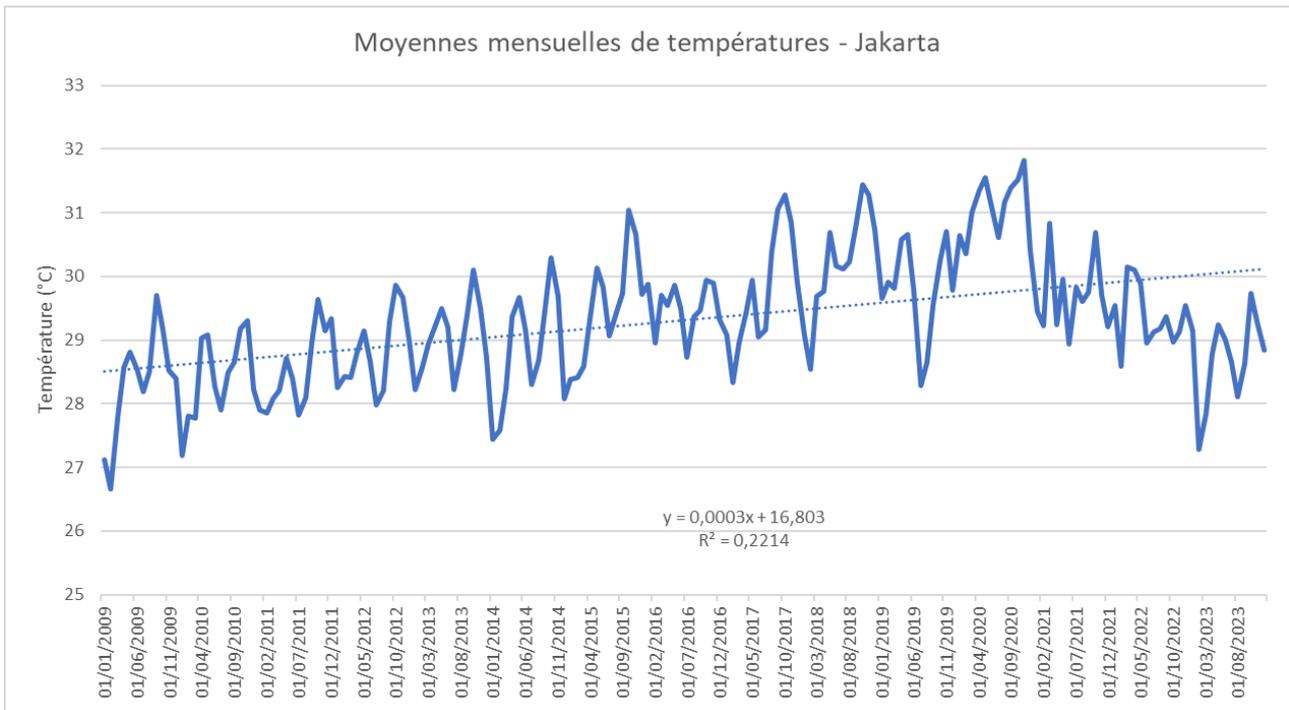
Les maximales mensuelles des températures sont données dans le graphique ci-dessous :



Les maximales sont comprises entre 5 °C pour l'hiver et 37°C pour l'été. Elles ont augmenté en moyenne de 0,2°C en 15 ans.

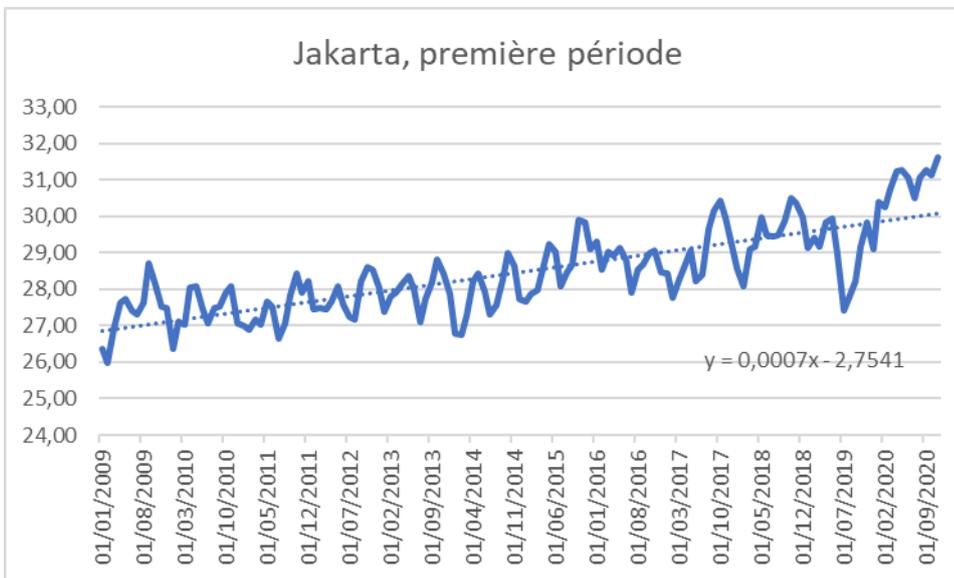
E. Jakarta

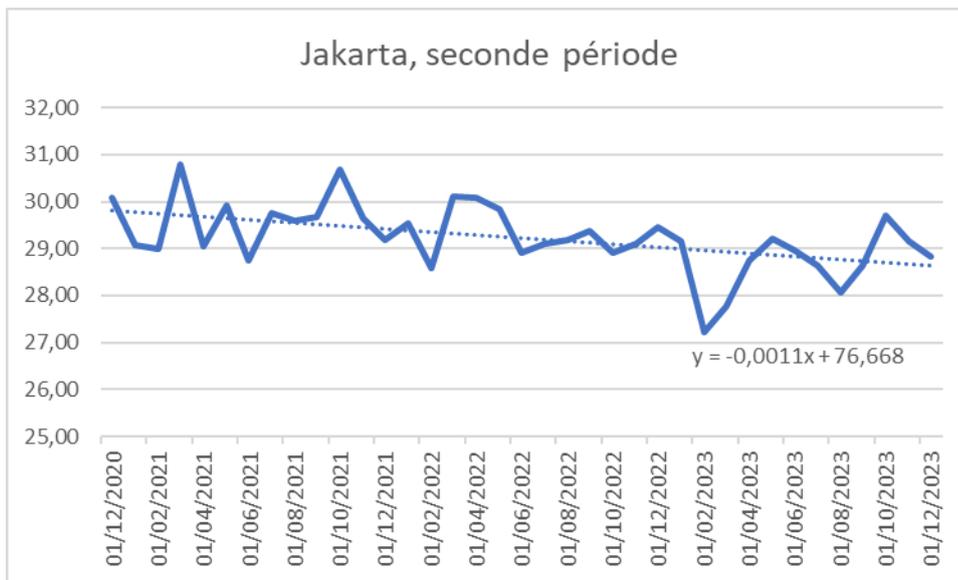
Les données mensuelles de températures sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les températures sont comprises entre 25 et 32°C depuis 2009. Les différences saisonnières sont quasiment inexistantes. Il y a une forte rupture de tendance :

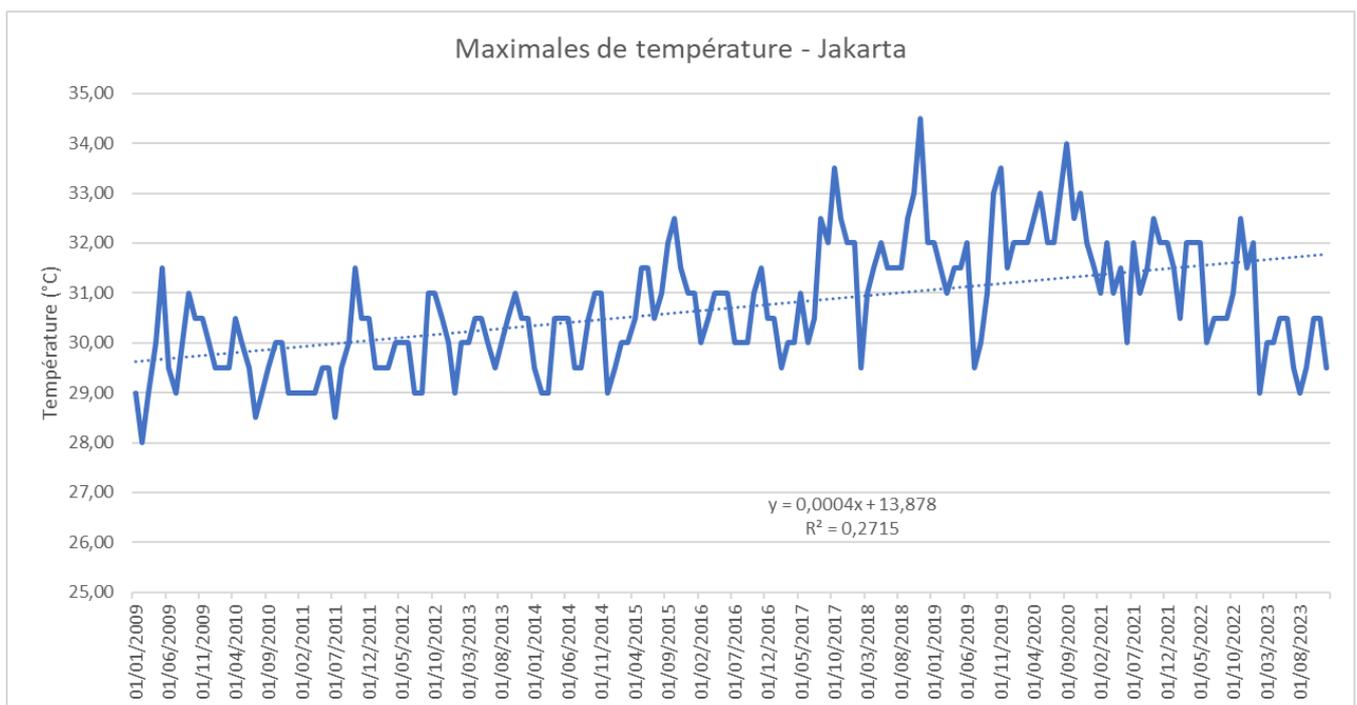
Hausse moyenne de 3°C entre le 01/01/2009 et le 01/11/2020, baisse depuis.





La baisse est maintenant de 0,6°C en un an et demi.

Les maximales mensuelles des températures sont données dans le graphique ci-dessous :

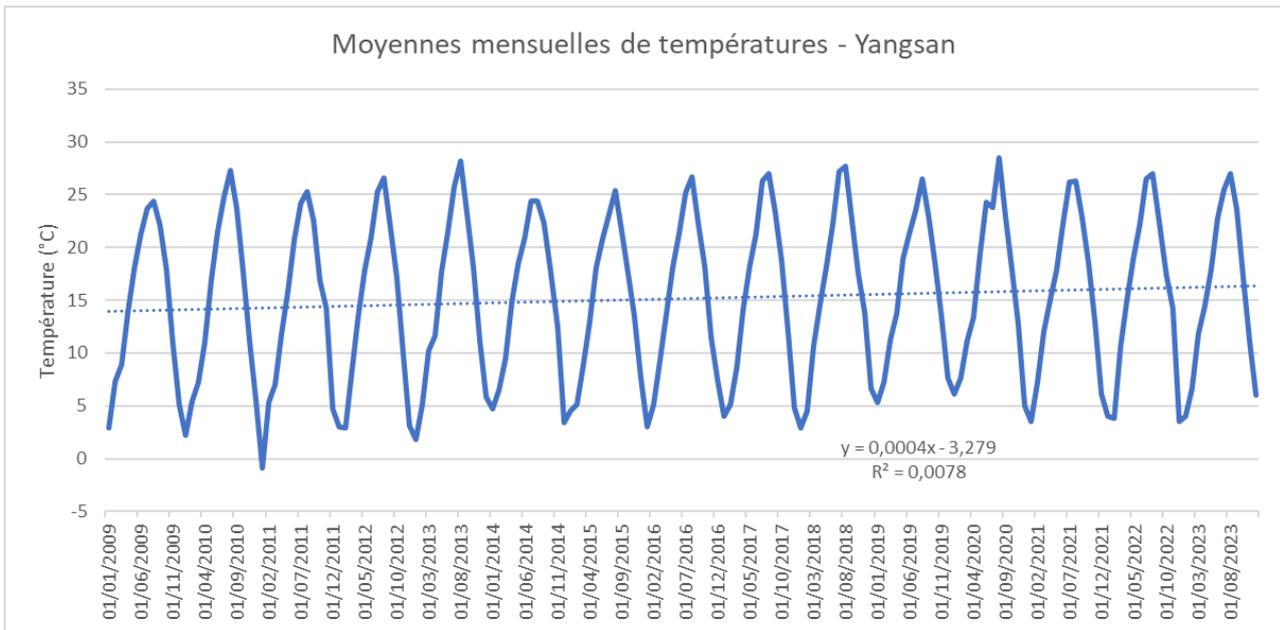


Les maximales sont comprises entre 28 °C et 35°C. Elles ont augmenté en moyenne de 2,2°C en 15 ans, avec, comme précédemment, une baisse depuis 2020.

F. Ulsan

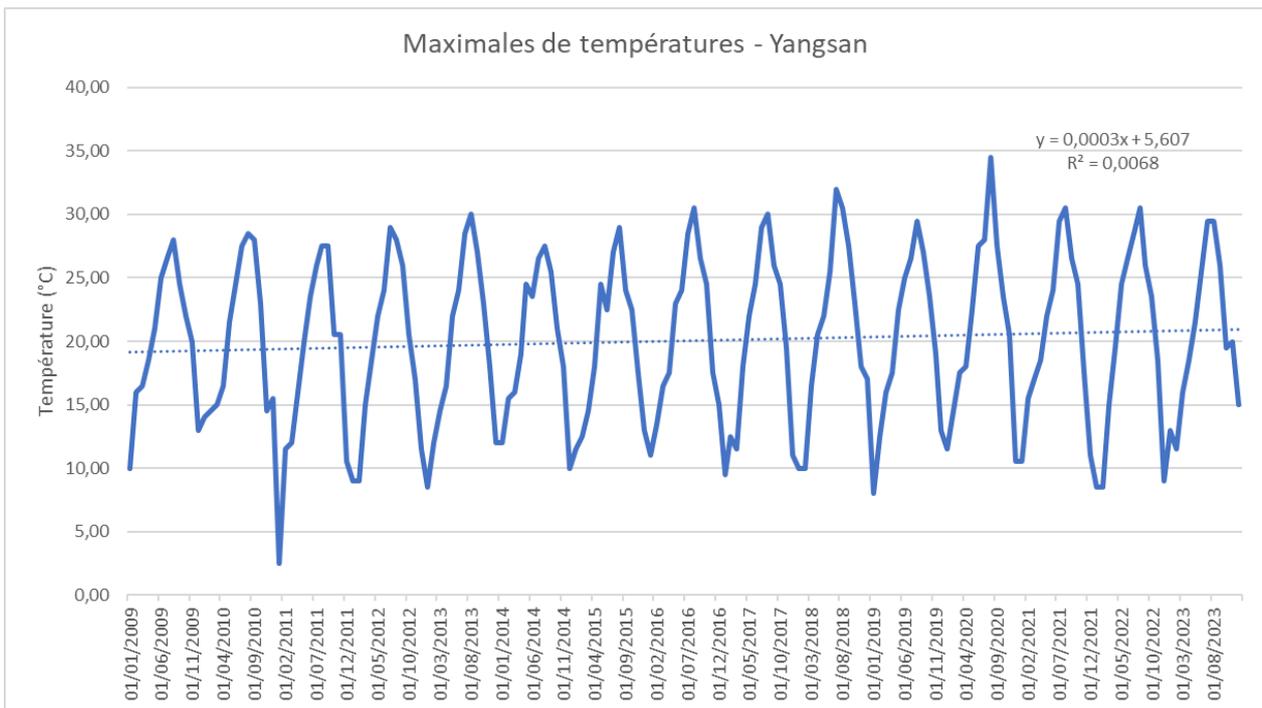
Pour rappel la station météorologique retenue est Yangsan.

Les données mensuelles de températures sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les températures sont comprises entre -5 et 30°C depuis 2009. Les différences saisonnières sont très importantes. L'évolution moyenne des températures est de +2,2°C en 15 ans.

Les maximales mensuelles des températures sont données dans le graphique ci-dessous :

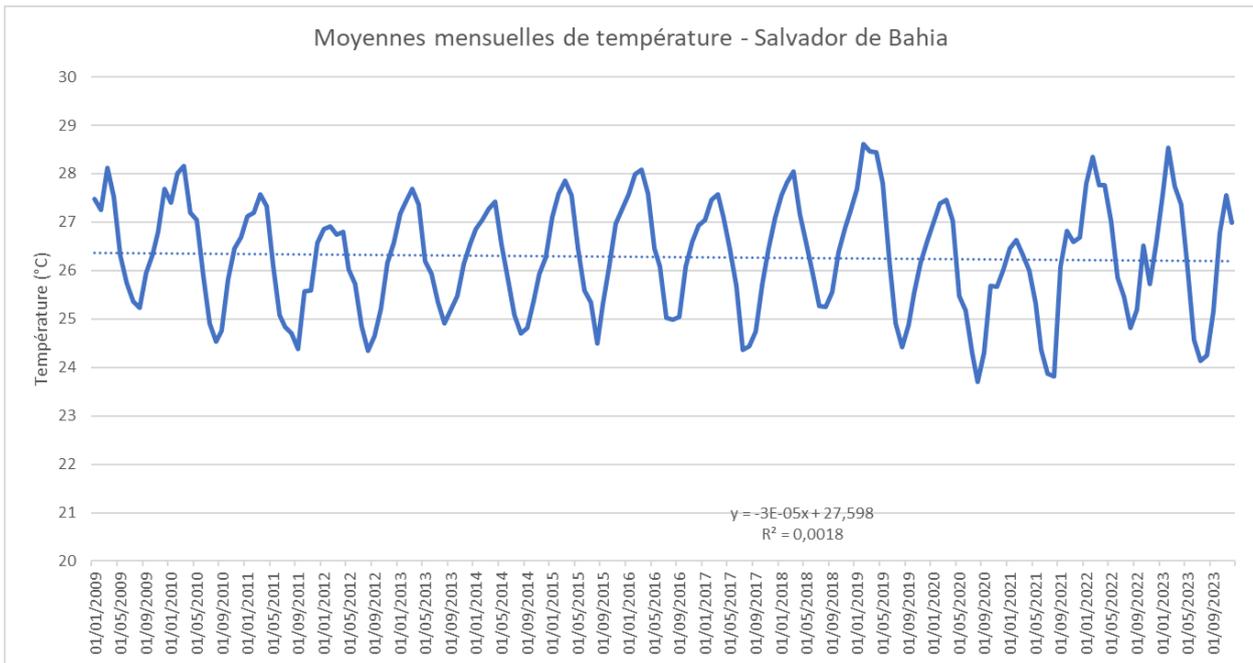


Les maximales sont comprises entre 0 °C pour l'hiver et 35°C pour l'été. Elles ont augmenté en moyenne de 1,6°C en 15 ans.

G. Camacari

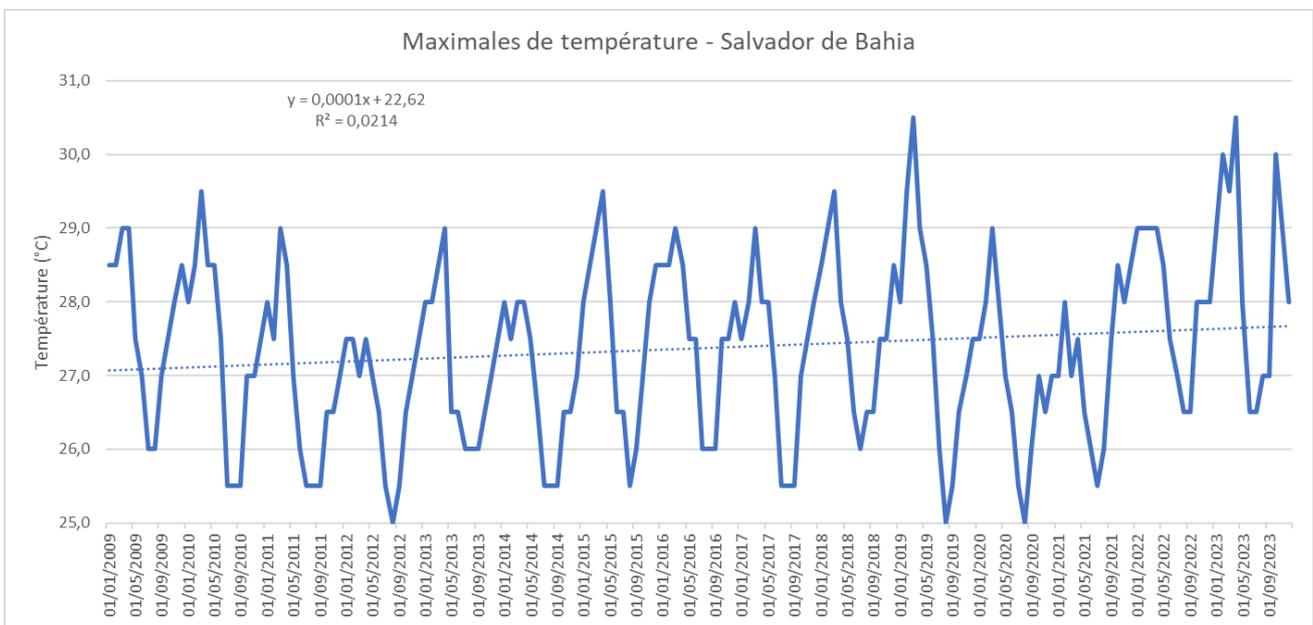
Pour rappel la station météorologique retenue est Salvador de Bahia.

Les données mensuelles de températures sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les températures sont comprises entre 22 et 29°C depuis 2009. Les différences saisonnières sont très faibles, avec des écarts de 4°C entre l'hiver et l'été. L'évolution moyenne des températures est une baisse de 0,16°C en 15 ans.

Les maximales mensuelles des températures sont données dans le graphique ci-dessous :



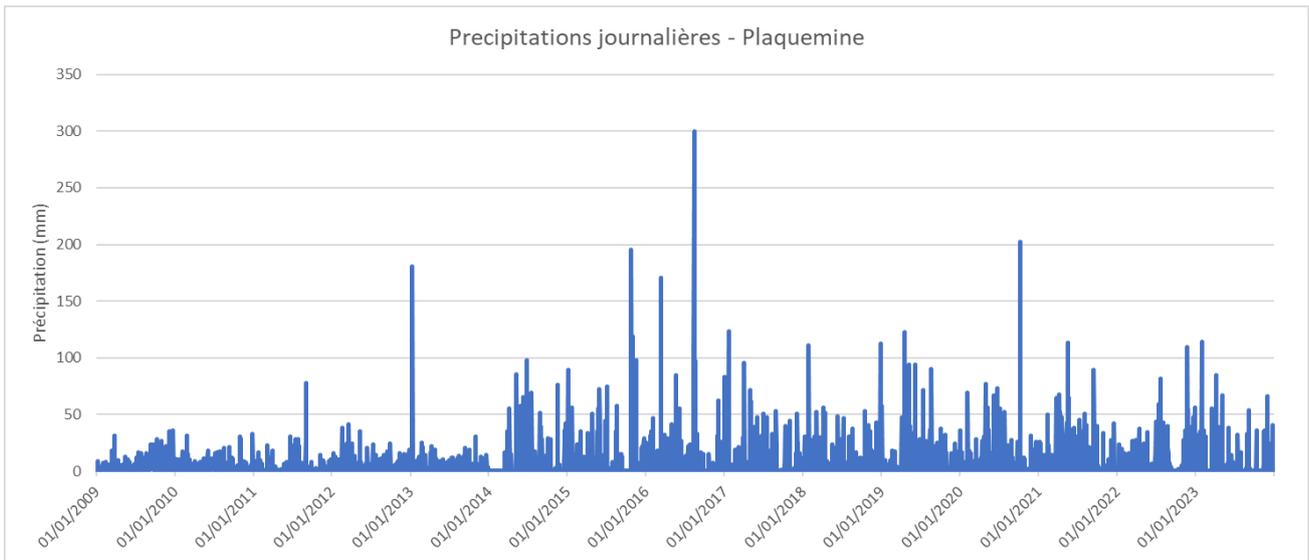
Les maximales sont comprises entre 25 °C et 31°C. Elles ont augmenté en moyenne de 0.55°C en 15 ans.

IV. Analyse des précipitations

Pour chacun des sites, nous avons relevé les précipitations journalières depuis 2009 jusqu'en 2023 inclus. Par souci de visibilité, nous avons calculé les cumuls annuels de précipitations pour chacun des sites.

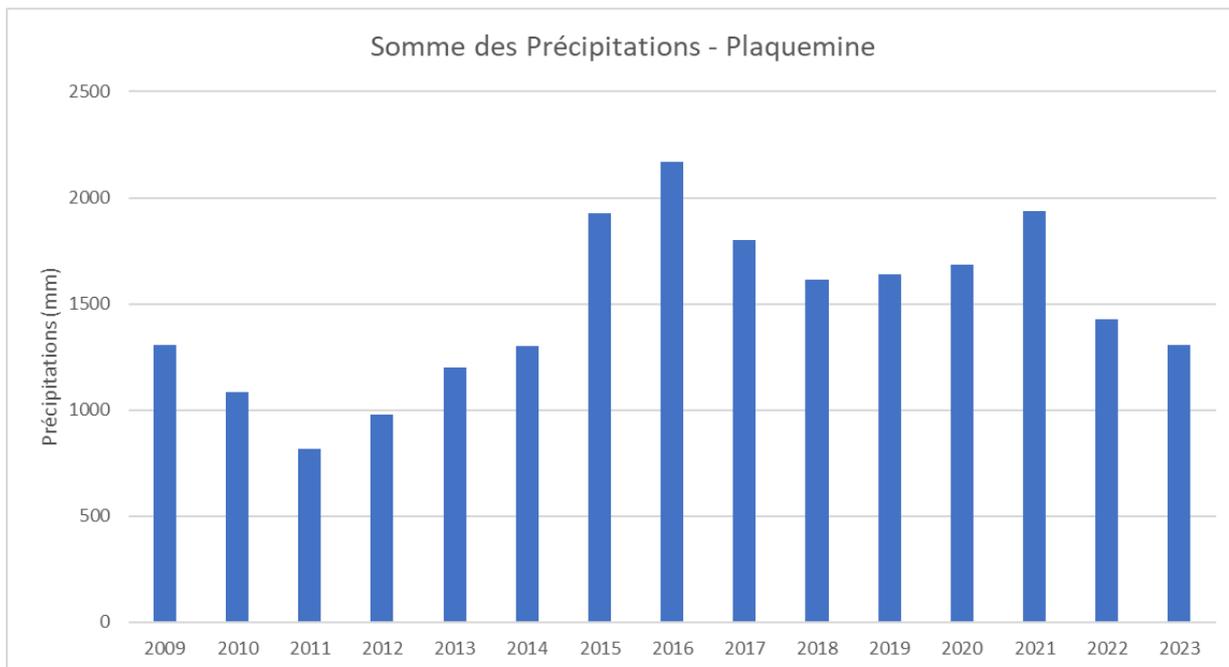
A. Plaquemine

Les précipitations journalières sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les précipitations sont comprises entre 0 et 300 mm par jour. Jusqu'en 2014, aucun jour n'a reçu plus de 50 mm d'eau hormis deux dates. Depuis 2014, il est fréquent que cette valeur de 50 mm d'eau par jour soit franchie. Des jours à plus de 100 mm d'eau arrivent chaque année. Les jours les plus pluvieux sont le 13/08/2016 (300 mm) et le 09/10/2022 (202 mm).

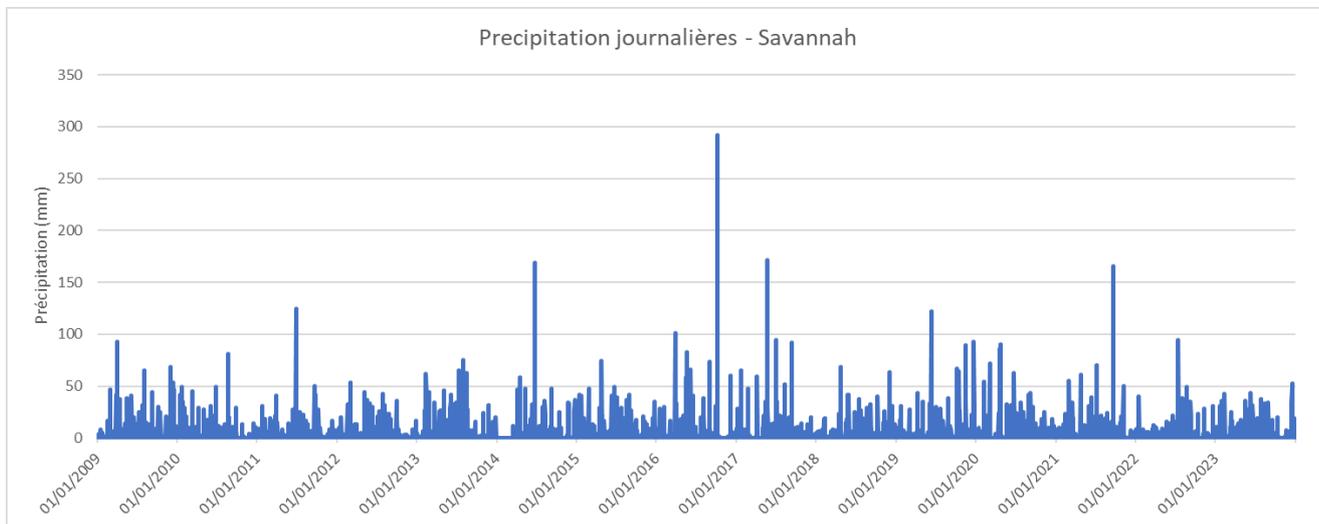
Les cumuls annuels de précipitations sont donnés ci-dessous :



Les précipitations varient beaucoup depuis 15 ans. Elles ont augmenté depuis 2011 avant de stagner puis de baisser depuis 2021.

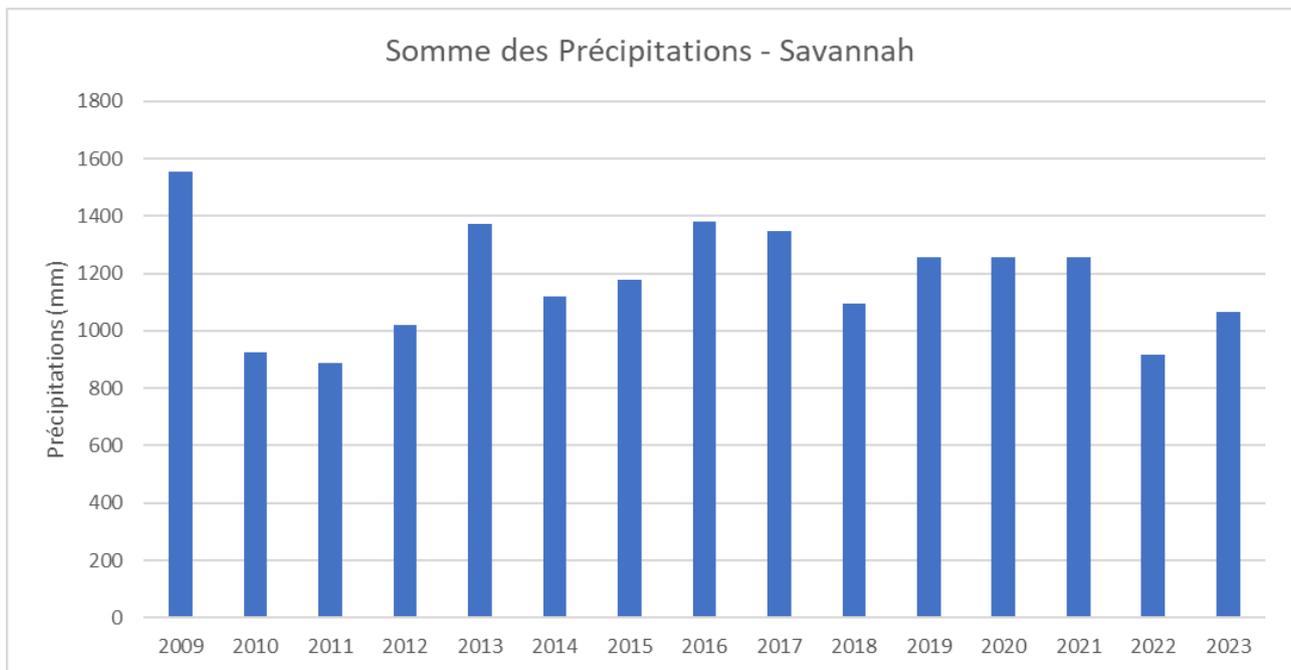
B. Savannah

Les précipitations journalières sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les précipitations sont comprises entre 0 et 300 mm par jour. Il arrive fréquemment que des jours avec plus de 50 mm d'eau se produisent. Des journées très pluvieuses avec plus de 100 mm d'eau ne se produisent que tous les trois ans en moyenne. Les jours les plus pluvieux sont le 08/10/2016 (292 mm), le 24/06/2024 (168 mm), le 23/05/2017 (1171 mm) et le 21/06/2021 (165 mm).

Les cumuls annuels de précipitations sont donnés ci-dessous :

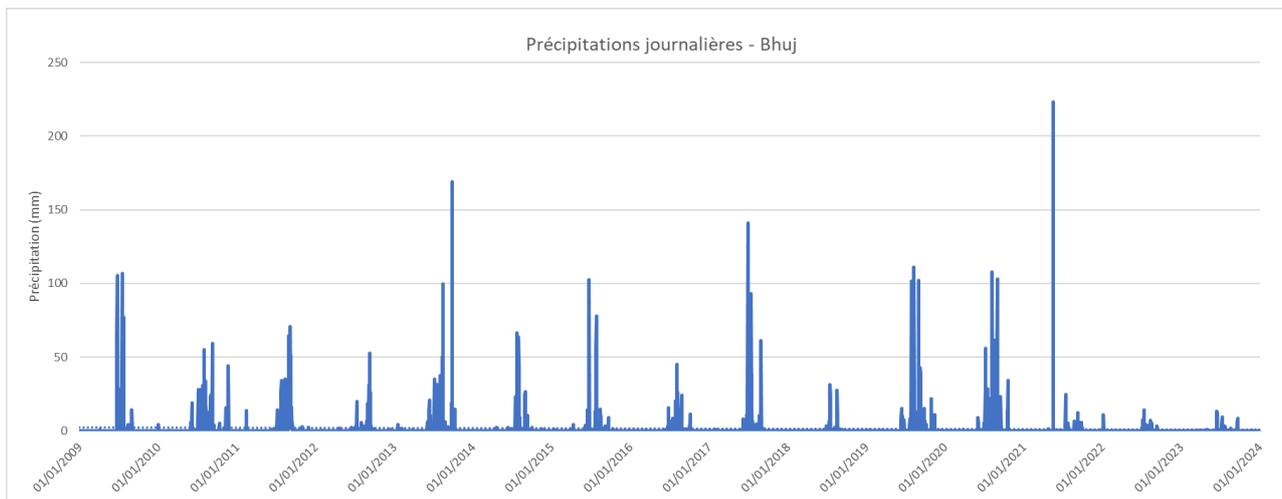


Les précipitations ont été plus faibles entre 2010 et 2012. Depuis 2013, elles ne connaissent pas d'évolution particulière.

C. Kandla

Pour rappel, la station météo retenue est Bhuj.

Les précipitations journalières sont présentées dans le graphique ci-dessous :

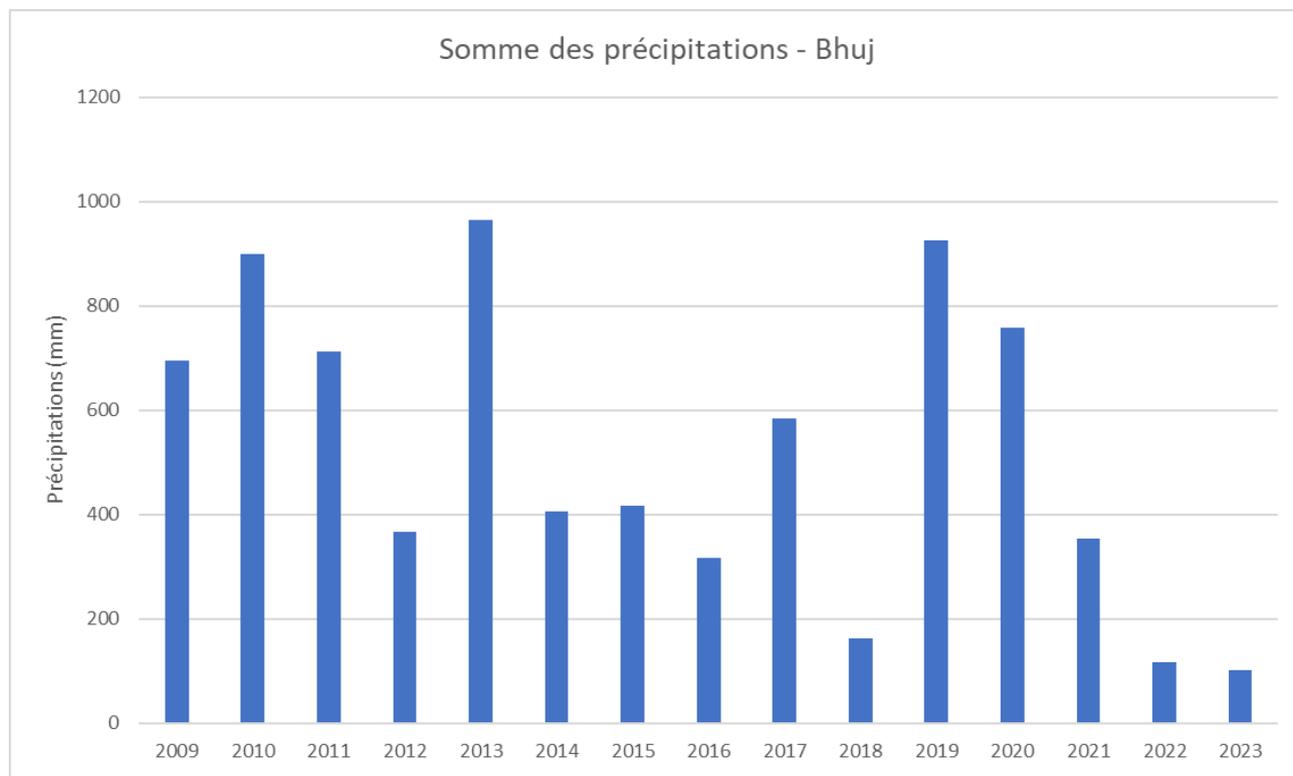


Les précipitations sont comprises entre 0 et 225 mm par jour. Deux saisons peuvent être distinguées : la saison sèche et la saison humide avec des précipitations comprises entre 50 et 100 mm d'eau par jour. La saison humide a lieu entre juillet et septembre avec la mousson.

Certaines années sont plus sèches que d'autres avec des moussons moins intenses. C'est le cas de 2019 et des années depuis 2022. Durant ces années, les journées les plus pluvieuses ne dépassent pas 50 mm d'eau par jour. Tandis que d'autres années connaissent des saisons humides particulièrement arrosées avec des journées pouvant recevoir jusqu'à 200 mm d'eau

comme en 2021. Les journées les plus pluvieuses sont le 18/05/2021 (223 mm) et le 26/09/2013 (169 mm).

Les cumuls de précipitations sont donnés ci-dessous :

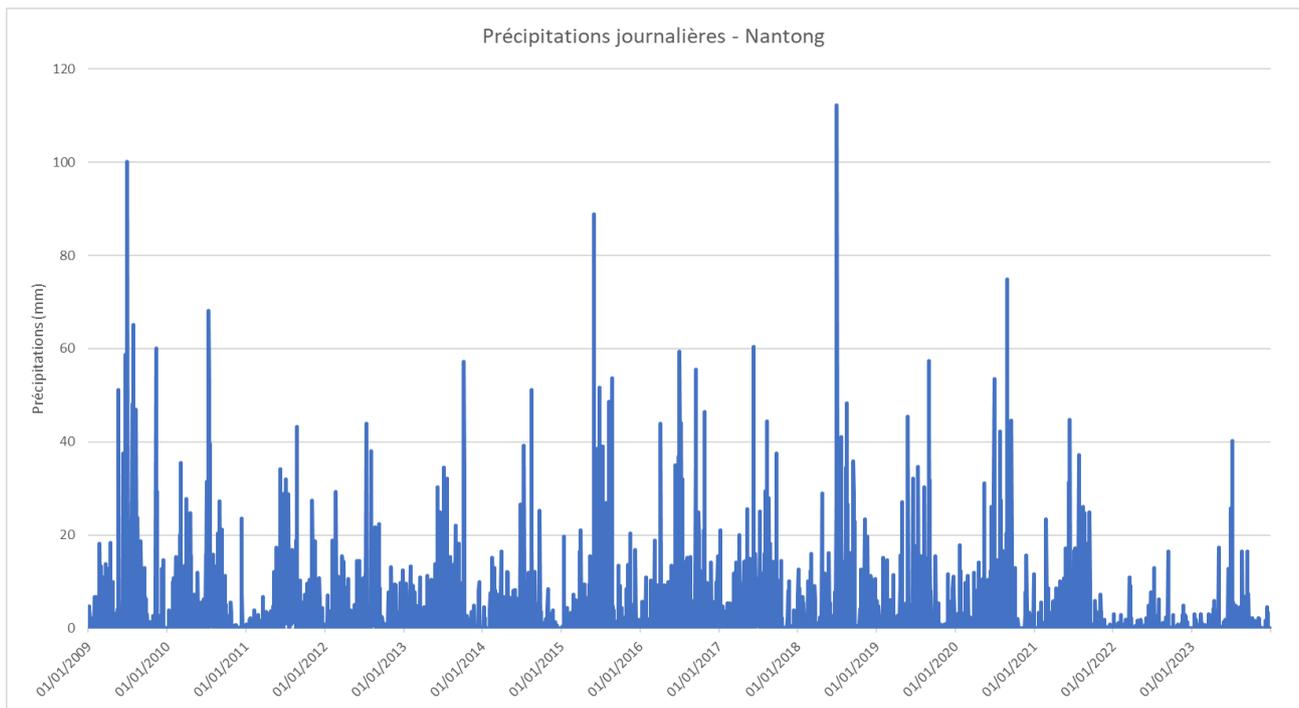


Il y a de grandes différences de pluviométrie selon les années. Certaines années sont très pluvieuses (2013 et 2019), tandis que d'autres sont plus sèches avec moins de pluie comme en 2018, 2022 et 2023. Il n'y pas de tendance générale, même si les deux dernières années sont particulièrement sèches.

D. Taixing

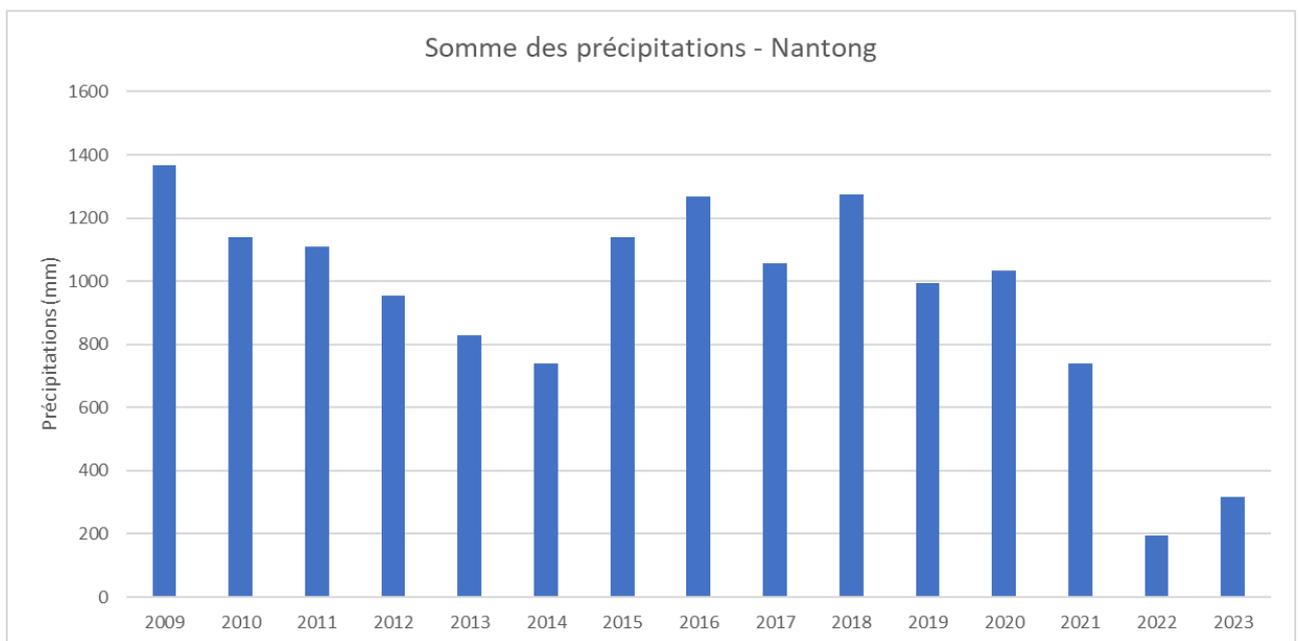
Pour rappel, la station météo retenue est Nantong.

Les précipitations journalières sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les précipitations sont comprises entre 0 et 120 mm de pluie par jour. Elles sont très variables durant la période étudiée. L'hiver est plus sec. L'année 2022 a connu peu de jours de pluie. Les journées les plus pluvieuses sont le 01/07/2018 (112 mm), le 30/06/2009 (100 mm) et le 02/06/2015 (89 mm).

Les cumuls de précipitations sont donnés ci-dessous :

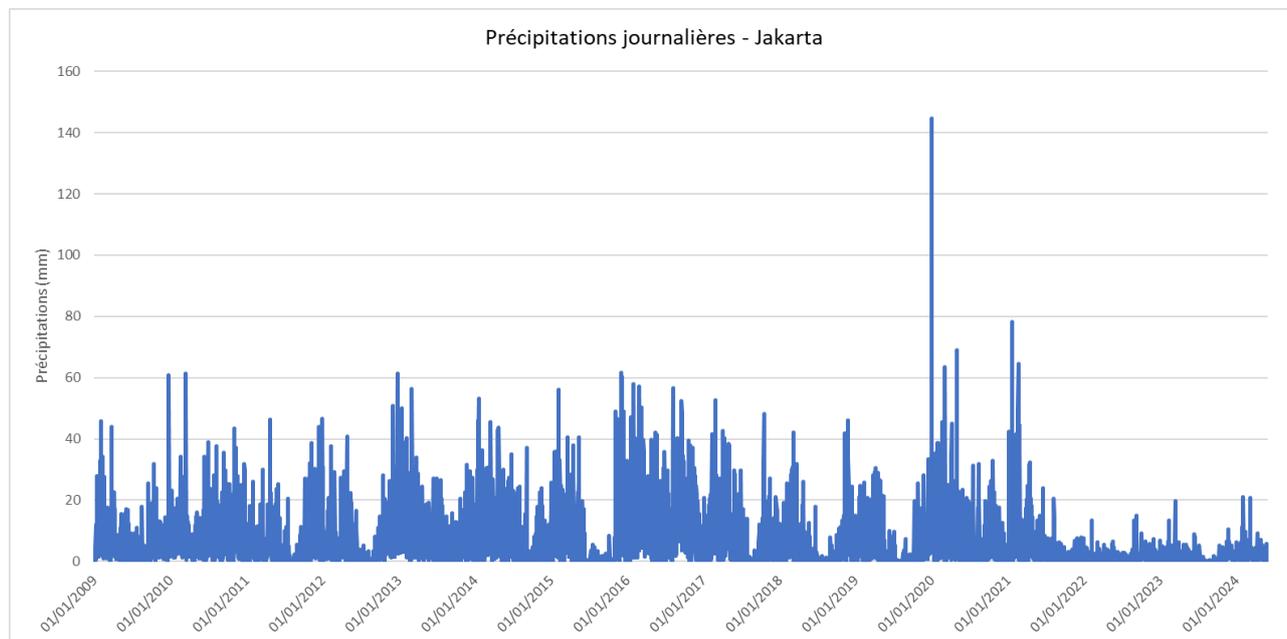


Les précipitations ont baissé entre 2009 et 2014, avant d'osciller jusqu'en 2021. Depuis les années sont plus sèches avec des cumuls de pluie particulièrement faibles.

Nous remercions vivement M. Rémi Maillon pour avoir signalé une erreur dans la conception du graphique, comme expliqué plus haut.

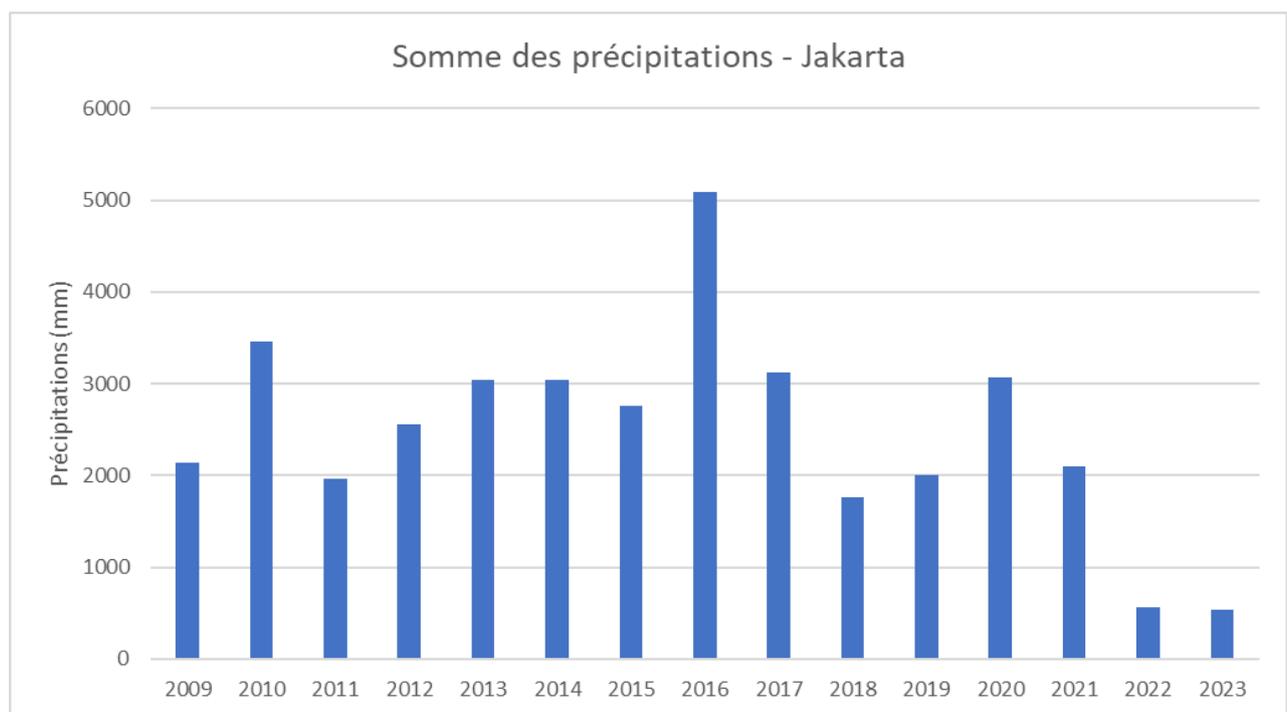
E. Jakarta

Les précipitations journalières sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les précipitations sont comprises entre 0 et 150 mm d'eau par jour. Elles sont stables jusqu'en 2020 avec des variations saisonnières. Nous constatons qu'elles sont moins importantes depuis 2022 avec des journées ne dépassant pas 20 mm de pluie. Les jours les plus pluvieux sont le 01/01/2020 (144 mm) et le 21/01/2021 (78 mm).

Les cumuls de précipitations sont donnés ci-dessous :

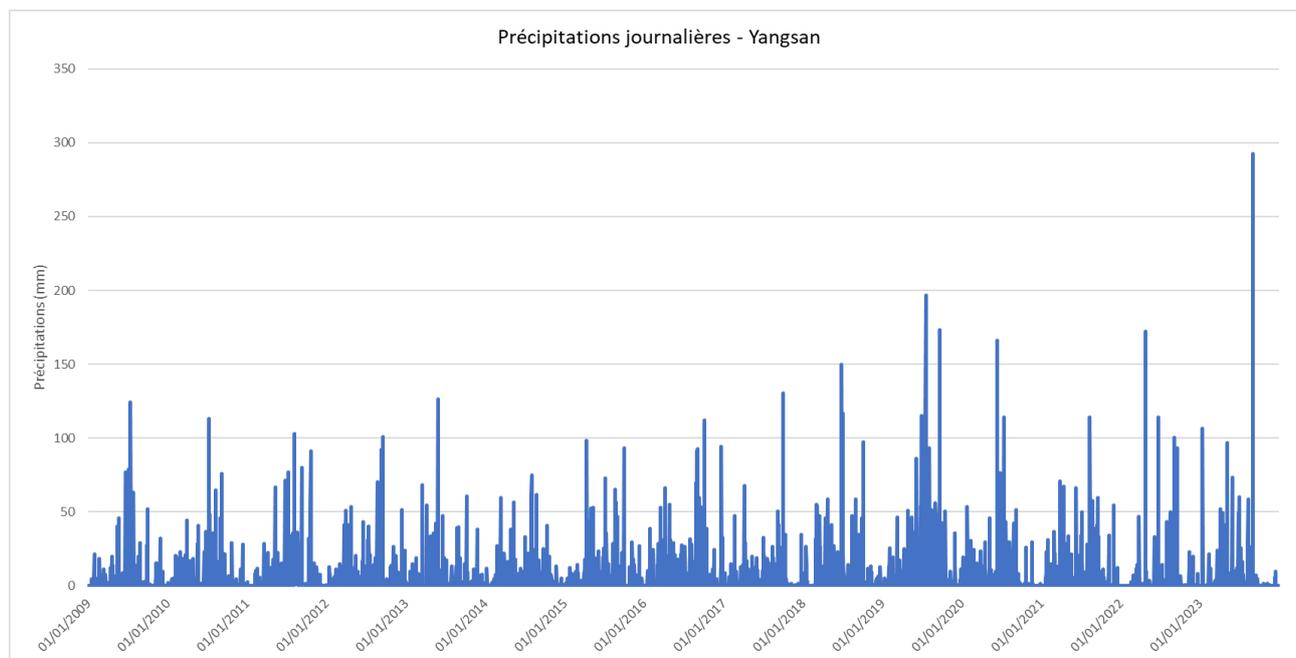


Les cumuls de précipitations sont très variables depuis 15 ans. Les deux dernières années sont les plus sèches depuis 2009.

F. Ulsan

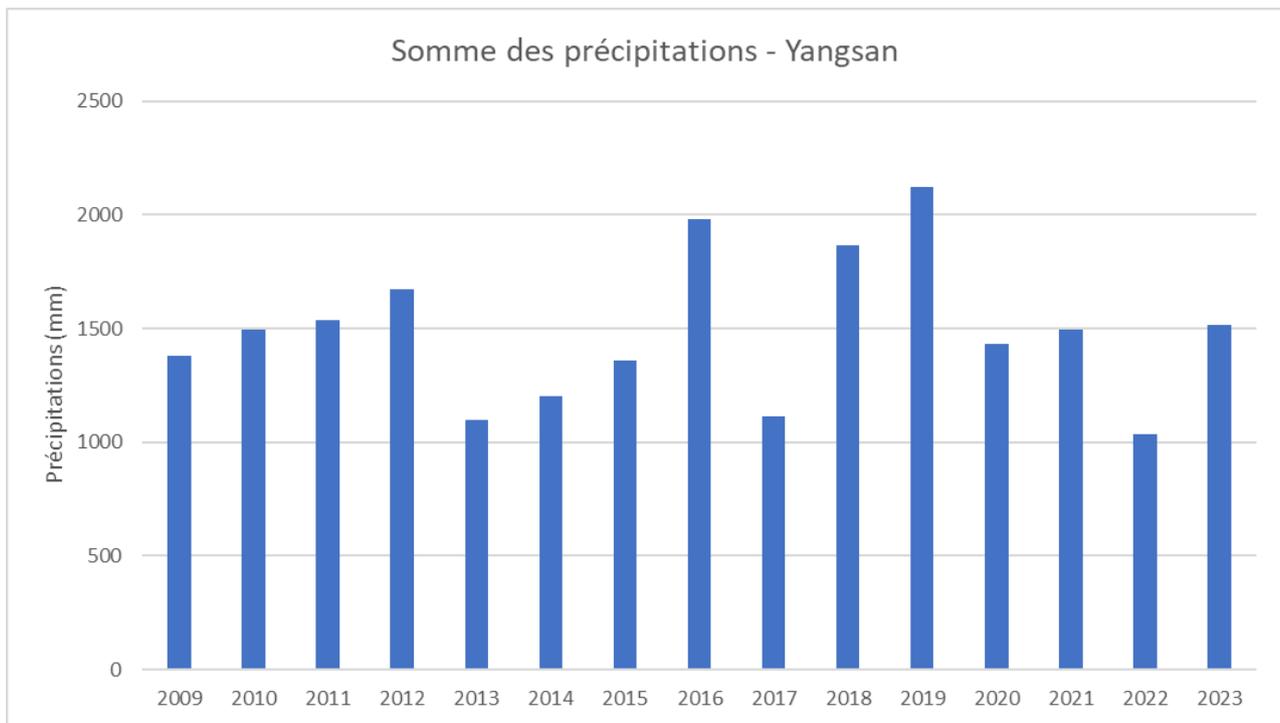
Pour rappel, la station météo retenue est Yangsan.

Les précipitations journalières sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les précipitations sont comprises entre 0 et 300 mm d'eau par jour. Elles sont très variables durant la période étudiée avec des variations saisonnières : moins de pluie en hiver. Depuis 2019, des journées très pluvieuses avec plus de 150 mm d'eau par jour apparaissent. Les journées les plus pluvieuses sont le 01/09/2023 (292 mm) et 20/07/2019 (196 mm).

Les cumuls de précipitations sont donnés ci-dessous :

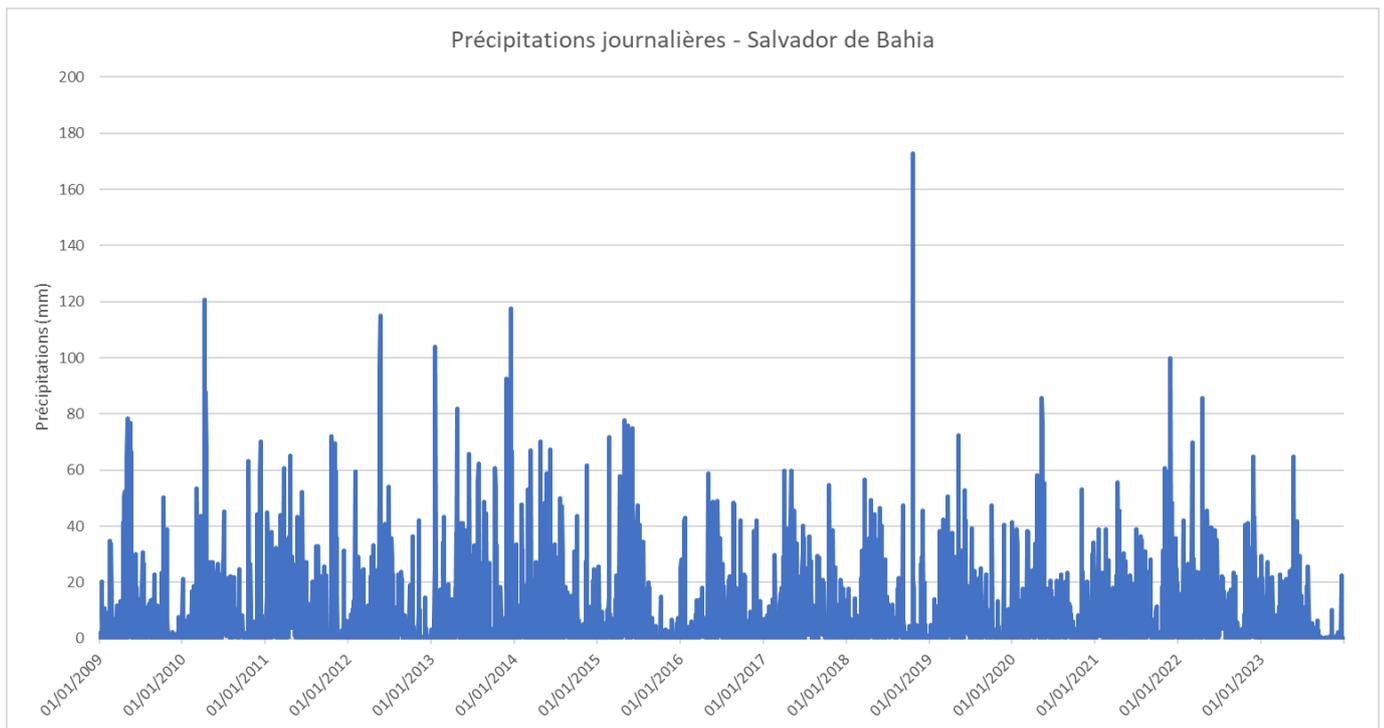


Les cumuls de précipitations sont très variables depuis 15 ans avec des années plus pluvieuses (2019 et 2016) et des années plus sèches (2017 et 2022). Nous ne constatons pas de tendance générale.

G. Camacari

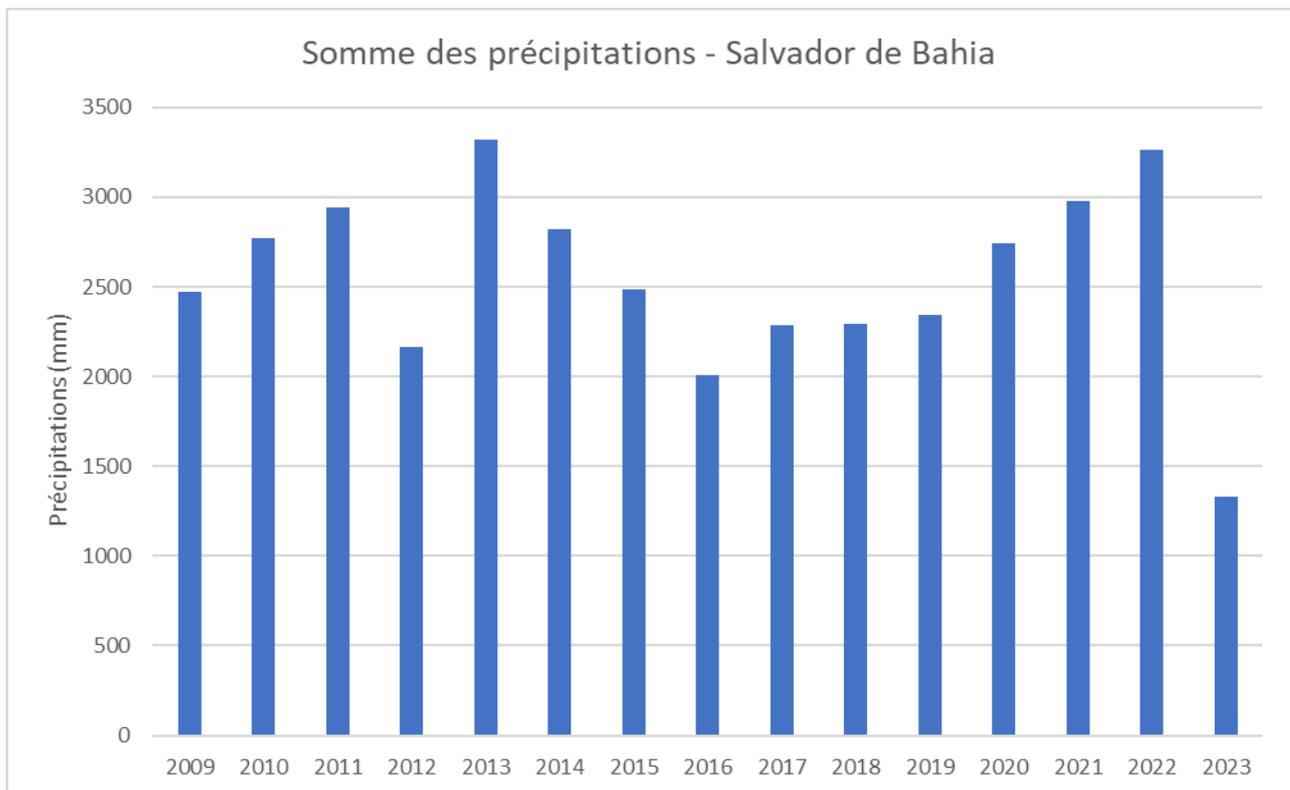
Pour rappel, la station météo retenue est Salvador de Bahia.

Les précipitations journalières sont présentées dans le graphique ci-dessous :



Les précipitations sont comprises entre 0 et 180 mm d'eau par jour. Elles sont variables tout au long de l'année. Nous ne constatons pas d'évolution particulière des précipitations depuis 2009. Les journées les plus pluvieuses sont le 21/10/2018 (172 mm), le 08/04/2010 (120 mm) et le 18/12/2013 (117 mm).

Les cumuls de précipitations sont donnés ci-dessous :



Les cumuls ont augmenté jusqu'en 2013 avant de baisser jusqu'en 2016 puis d'augmenter de nouveau jusqu'en 2022. L'année 2023 est l'année la plus sèche avec deux fois moins de pluie que les autres années.

V. Analyse des phénomènes extrêmes

Les phénomènes étudiés sont les ouragans et les tornades. Pour chacun des sites, nous comptabilisons le nombre de ces phénomènes qui ont impacté la ville depuis 50 ans. Les données sont issues du site Historical Hurricane Tracks. Dans un premier temps, nous présentons les échelles de classifications des tornades et des ouragans et enfin nous analysons chaque site du point de vue du nombre de phénomènes qu'il a connus.

Les termes « ouragans », « typhons » et « cyclones » désignent le même phénomène météorologique, explique le site Géorisques du gouvernement français. Ils servent à différencier les origines géographiques du phénomène ; ainsi on parle d'ouragans lorsque le phénomène provient de l'océan Atlantique et de l'océan Pacifique nord-est, de typhons lorsqu'il provient de l'océan Pacifique nord-ouest, et de cyclones lorsqu'il provient de l'océan Indien et du Pacifique Sud.

A. *Moyen de classification des tornades et des ouragans*

L'échelle de Saffir-Simpson permet de classer les cyclones et les ouragans en fonction de la vitesse maximale que leur vent peut atteindre pendant au moins une minute.

Elle répartit les éléments comme suit :

- **Dépression tropicale** pour des vents compris entre 0 et 62 km/h (noté TD)
- **Tempête tropicale** pour des vents compris entre 63 et 118 km/h (noté TS)
- **Catégorie 1** pour des vents compris entre 119 km/h et 153 km/h (noté H1)
- **Catégorie 2** pour des vents compris entre 154 et 177 km/h
- **Catégorie 3** pour des vents compris entre 178 et 208 km/h
- **Catégorie 4** pour des vents compris entre 209 et 251 km/h
- **Catégorie 5** pour des vents de plus de 251 km/h

Pour une étude plus complète, l'Historical Hurricane Tracks ajoute à cette échelle les **tempêtes extratropicales**, notés **ET**, qui ont donc une origine autre que tropicale.

Dans le cas des tornades, deux échelles existent.

Jusqu'en 2007, la classification des tornades se faisait avec l'échelle Fujita qui comporte 12 niveaux de classifications dont six seulement ont été réellement observés. Ces six niveaux se répartissent ainsi :

- **F0** pour des vents compris entre 60 et 120 km/h
- **F1** pour des vents compris entre 120 et 180 km/h
- **F2** pour des vents compris entre 180 et 250 km/h
- **F3** pour des vents compris entre 250 et 330 km/h
- **F4** pour des vents compris entre 330 et 420 km/h
- **F5** pour des vents compris entre 420 et 510 km/h

Cette échelle prend en compte les dégâts végétaux et urbains que la tornade a causés, et c'est à partir de cela qu'on estime sa vitesse de pointe, ainsi que sa catégorie. Cette échelle a été

beaucoup critiquée à cause de son manque de précision et de rigueur, car elle ne prenait pas en compte la qualité des matériaux urbains utilisés, ce qui peut fortement changer la donne entre des constructions en bois et des constructions en brique à titre d'exemple.

C'est pour cela qu'à partir de 2007, les tornades sont classifiées avec ce qu'on appelle l'échelle Fujita améliorée qui se base sur 28 indicateurs qui prennent en compte l'ensemble de la structure, des matériaux... des constructions. Ces nouvelles estimations ont mené à un changement d'échelle dans la mesure des vents. Elle se présente comme suit :

- **EF0** pour des vents compris entre 105 et 137 km/h
- **EF1** pour des vents compris entre 138 et 178 km/h
- **EF2** pour des vents compris entre 179 et 218 km/h
- **EF3** pour des vents compris entre 219 et 266 km/h
- **EF4** pour des vents compris entre 267 et 322 km/h
- **EF5** pour des vents supérieurs à 322 km/h

Il existe aussi des tornades qui ne peuvent pas être classifiées, soit par manque d'observations et de données, soit parce qu'elles n'étaient pas importantes, ce qui ne permet pas de tirer beaucoup de conclusions sur ce type de tornades. Ces tornades sont notées **FU** et **EFU** suivant l'échelle selon laquelle elles ont été enregistrées. Cela permet tout de même de répertorier l'emplacement de ces tornades, et de faire quelques analyses sur la fréquence des tornades sur une zone géographique.

Pour la présentation de nos données, les tornades de catégorie **FU**, **EFU**, **EF0** et **F0** ont été regroupées, car elles ne causent pas de dégâts significatifs.

Nous avons fait de même pour les tornades de catégorie **F1** et **EF1**, car les dégâts qu'elles causent sont les mêmes : automobiles renversées, abris pour automobiles, et les arbres les moins robustes sont déracinés.

La catégorie **EF2** étant incluse dans la catégorie **F2**, nous avons également décidé de les fusionner. Là encore, les dégâts qu'elles provoquent sont similaires : toits arrachés, hangars et dépendances démolies, et les maisons mobiles sont renversées.

Nous avons ensuite traité chaque catégorie séparément.

Les tornades de catégories **F3** démolissent les murs extérieurs et les toits, font s'effondrer les bâtiments de métal (ou du moins leur font subir des dégâts importants), et les forêts sont abattues.

Les tornades de catégorie **F4** causent l'effondrement de l'essentiel des murs des habitations (même les plus solides), la projection de gros objets en acier ou en béton dans des directions aléatoires et sur de grandes distances.

Les tornades de catégories **F5** rasent les maisons et les projettent parfois sur de grandes distances, elles peuvent fortement endommager les grosses structures comme des écoles ou des motels comme les tornades de catégorie **F4** et **F3**.

B. Plaquemine

La ville de Plaquemine a surtout été touchée par des orages tropicaux et des dépressions tropicales.

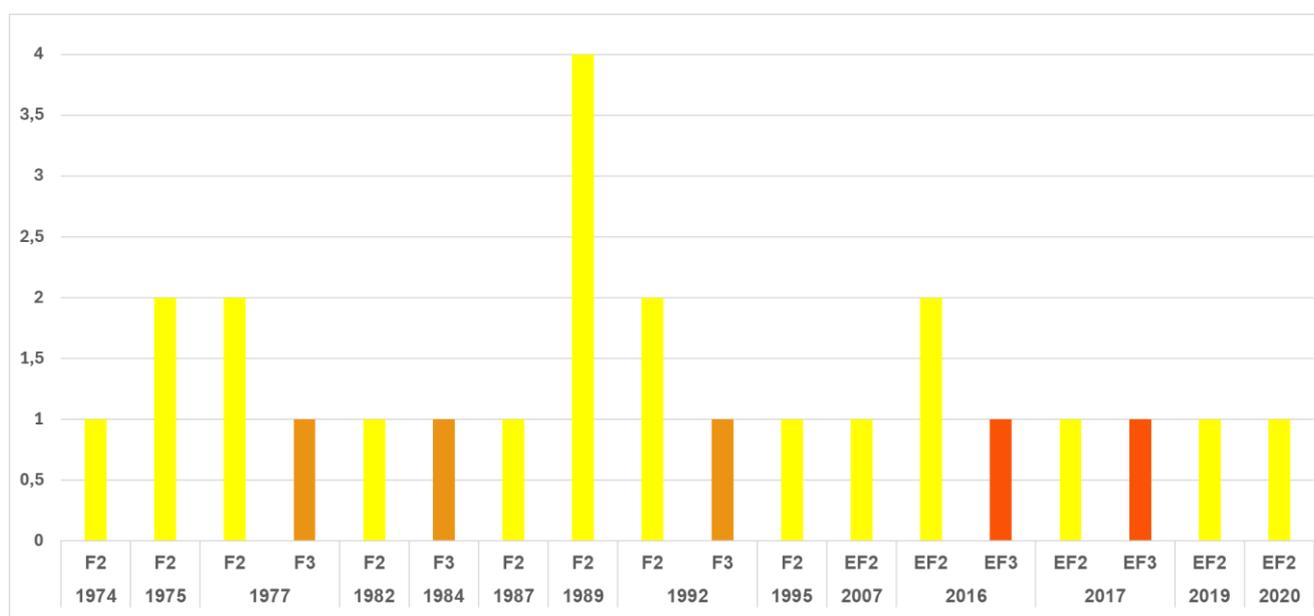
Voici un tableau récapitulatif des différentes tempêtes, hors tornades, survenues à Plaquemine et autour sur les 50 dernières années :

Nom	Date	Catégori	Vitesse maximale du vent (km/h)	Pression minimale (mbar)
Isaac	30/08/2012	TS	101,86	977
Lee	05/09/2001	TS	64,82	993
Bonnie	25/07/2010	TD	27,78	1014
Beryl	09/08/1988	TS	65,13	1005
Babe	06/09/1977	TD	55,56	No data

La seule tempête notable est l'orage tropical Isaac survenu en 2012, qui a causé de fortes pluies et des inondations sur son passage. Plaquemine étant traversé par le fleuve du Mississippi, cela fait d'elle une zone à risque pour les inondations.

Les tornades de type EF0 et F0 représentent 33% des tornades apparues sur les 50 dernières années à Plaquemine. Les tornades de type EF1 et F1 représentent 53,3%, les tornades de type EF2 et F2 représentent 11%, les tornades de type F3 représentent 1,6% et les tornades de type EF3 représentent 1%.

Voici un historique sous forme d'histogramme des tornades les plus importantes survenues à Plaquemine depuis 50 ans :



Sur le graphique, le jaune représente les tornades de catégorie F2/EF2 tandis que le rouge/orange représente les tornades de catégorie EF3/F3. En ordonnées figure le nombre de tornades pour chaque catégorie.

Les tornades de type F2 ou plus sont récurrentes à Plaquemine. Des tornades de catégorie 2 se produisent régulièrement depuis 50. Seulement 5 tornades de catégorie 3 sont apparues depuis 1973. Elles sont réparties tout au long de la période. Le délai entre deux tornades de catégorie 3 est plus court ces dernières années.

C. Savannah

La ville de Savannah a principalement été touchée par des dépressions tropicales, des orages tropicaux, des tornades de type FU et quelques tempêtes extratropicales. Ces dernières sont des catégories de tempêtes qui ne causent que des dégâts minimes comme des revêtements de façades écorchés, des branches cassées et quelques dommages au niveau des gouttières. Ces catégories sont donc à négliger pour toute étude sur les phénomènes extrêmes ayant un réel impact sur les bâtiments de Savannah.

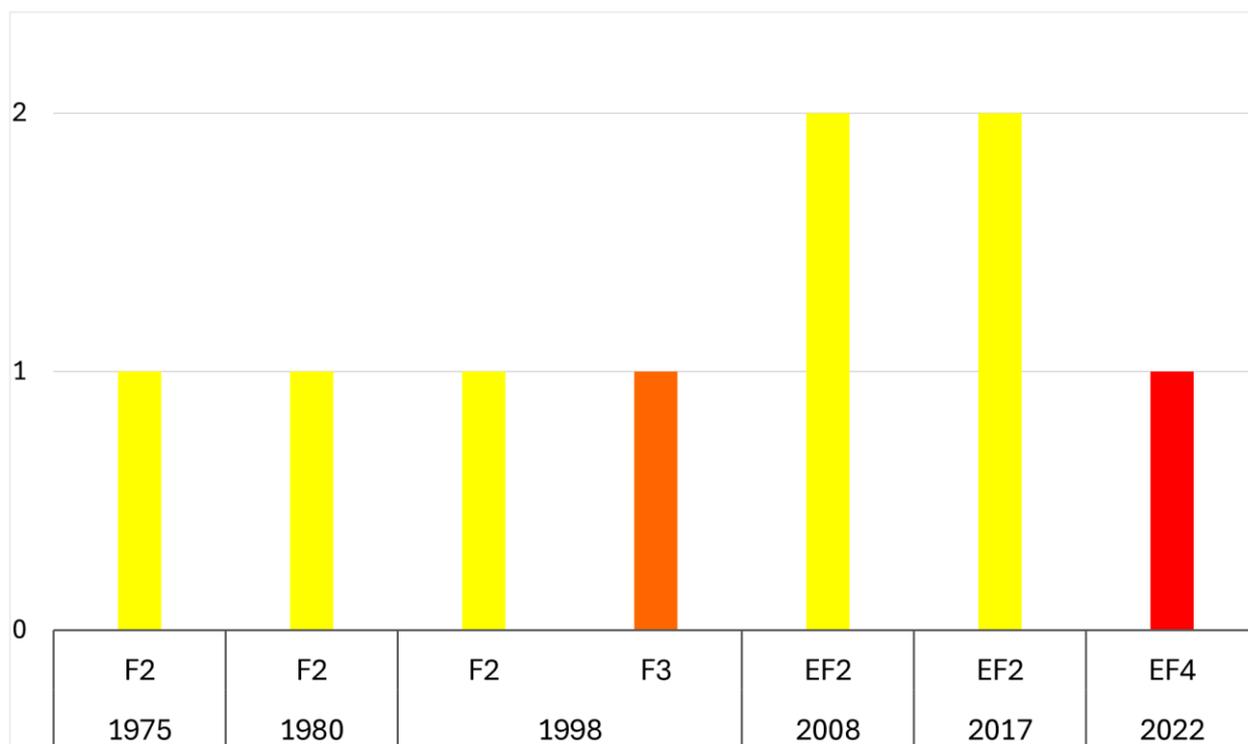
Voici un tableau récapitulatif des tempêtes extrêmes, hors tornades, survenues à Savannah et autour pendant les 50 dernières années :

Nom	Période	Catégorie	Vitesse maximale du vent (km/h)	Pression minimale (mbar)
Alma	25/05/1970	TS	68,58	1003
Dawn	13/09/1972	TD	55,56	No data
No Name	14/09/1976	TS	69,45	1012
David	04/09/1979	H1	135,4	971
Isabel	11/10/1985	TD	46,3	1013
Charley	15/08/1986	TD	27,78	1013
Chris	28/08/1988	TS	74,08	1005
Gordon	21/11/1994	TD	37,04	1013
Josephine	08/10/1996	ET	83,34	989
Gordon	18/09/2000	ET	46,3	1011
Sans Nom	26/07/2003	TD	43,21	1019,33
Bonnie	13/08/2004	TD	46,3	1008
Barry	03/06/2007	ET	74,08	994
Beryl	30/05/2012	TD	53,61	1003,21
Andrea	07/06/2013	TS	74,08	996
Hermine	02/09/2016	TS	92,6	990

Il n'y a eu qu'un seul ouragan véritablement dangereux sur les 50 dernières années à Savannah. Il s'agit de l'ouragan David en 1979, de catégorie 1 sur l'échelle de Saffir-Simpson, qui peut causer l'arrachement de bardeaux ou de tuiles faiblement fixées et des coupures d'électricité.

Les tornades de type EF0, F0 et FU représentent 62,5% des tornades apparues sur les 50 dernières années à Savannah. Les tornades de type EF1 et F1 représentent 29,5%, les tornades de type EF2 et F2 représentent 6,2%, les tornades de type F3 représentent 0,9%, et les tornades de type EF3 représentent 0,9%.

Voici un histogramme des tornades les plus importantes enregistrées sur 50 ans, à Savannah :



Sur ce graphique, plus la couleur est foncée, plus la force de la tornade est importante. En moyenne, des tornades de catégorie 2 ou plus apparaissent tous les 7 ans. Le délai de retour de ce type de tornade est compris entre 5 et 10 ans. Depuis 2000, il arrive que plusieurs tornades puissent toucher la ville la même année. La dernière tornade, en 2022, fut la plus forte enregistrée depuis 50 ans.

D. Kandla

Peu de tempêtes sont passées par la ville de Kandla et autour. Aucune tornade n'a jamais touché la région et seulement un ouragan significatif a touché la région comme le montre ce tableau :

Nom	Période	Catégorie	Vitesse maximale du vent (km/h)	pression minimale (mbar)
Sans Nom	29/09/2019	TD	46,3	1002
Vayu	18/06/2019	TD	37,04	1007
Sans Nom	09/06/1998	H1	131,38	No data
Sans Nom	07/08/1968	TD	46,3	No data

Un seul ouragan, de catégorie H1 a touché la ville en 1998. Depuis, quelques dépressions tropicales qui ne représentent aucun danger sont apparues en 2019. La ville de Kandla est donc très peu exposée à ce genre de phénomène.

E. Taixing

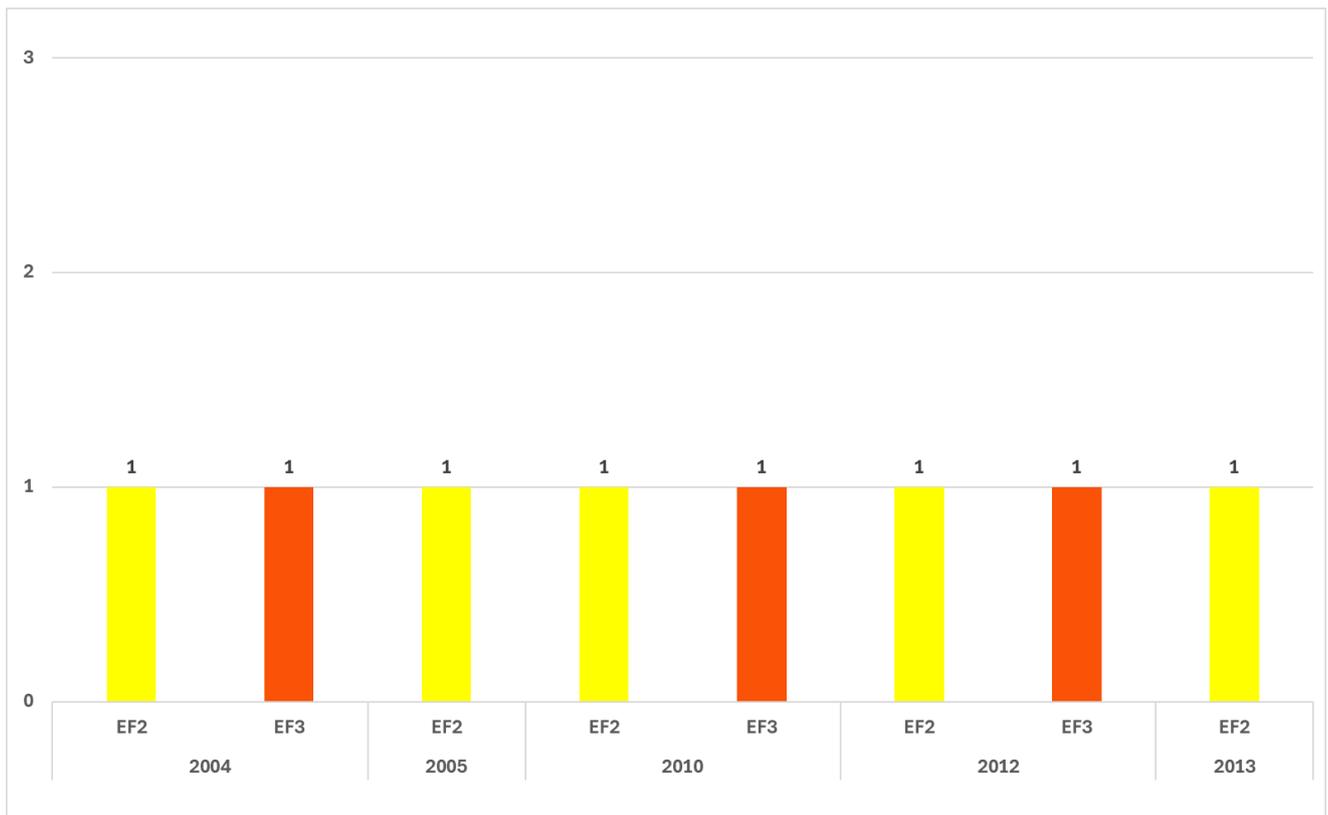
La ville de Taixing n'a été touchée que par des dépressions tropicales, des orages tropicaux, et une tempête extratropicale comme le montre le tableau ci-dessous :

Nom	Date	Catégori	Vitesse maximale du vent (km/h)	Pression minimale (mba)
Clara	23/09/1981	ET	No data	No data
Alex	28/07/1987	TD	55,56	No data
Ofelia	24/06/1990	TS	70,38	990
Abe	01/09/1990	TS	88,28	No data
Doug	13/08/1994	TD	49,6	No data
Sam	25/08/1999	TD	35,2	1004
Bilis	25/08/2000	TD	42,6	1000
Toraji	01/08/2001	TD	53,7	996
Morakot	11/08/2009	TS	63	995
Soudelor	10/08/2015	TD	46,3	1000
Meranti	16/09/2016	TD	53,7	1002
Jongdari	03/08/2018	TD	37,04	998
Lekima	10/08/2019	TS	92,6	968
Hagupit	04/08/2020	TD	46,3	1000

La vitesse du vent de ces phénomènes ne dépasse pas les 100 km/h et ne représente donc aucun danger.

Les tornades de type EF0, EFU et F0 représentent 73,75% des tornades apparues sur les 50 dernières années à Taixing. Les tornades de type EF1 représentent 11,75%, les tornades de type EF2 et F2 représentent 11%, les tornades de type EF2 représentent 8,5%, et les tornades de type EF3 représentent 6,5%. Donc, les trois quarts des tornades qui sont apparues ces 50 dernières années ne présentent pas de danger.

Voici un historique sous forme d'histogramme des tornades les plus importantes survenues à Taixing depuis 50 ans :



Sur ce graphique, le jaune représente les tornades de catégorie 2 tandis que le rouge représente les tornades de catégorie 3. Entre 2004 et 2013, l'intensité des phénomènes n'a pas varié ; on retrouve les mêmes types de tornades d'un bout à l'autre de la période.

Aucune tornade n'est apparue à Taixing et autour depuis 2013.

F. Ulsan

La ville d'Ulsan est la plus sujette aux ouragans parmi les villes étudiées. En revanche, aucune tornade n'a été recensée dans la ville et autour.

Voici un tableau récapitulatif des tempêtes survenues à Ulsan et autour durant les 50 dernières années :

Nom	Date	Catégori	Vitesse maximale du vent (km/h)	Pression minimale (mba)
Omais	23/08/2021	TD	46,3	997
Haishen	07/09/2020	H1	138,9	958
Maysak	02/09/2020	H1	138,9	963
Jangmi	10/08/2020	TS	64,82	991
Francisco	06/08/2019	TS	83,34	995
Kong-Rey	06/10/2018	TS	107,44	980
Leepi	15/08/2018	TD	55,56	1003
Chaba	05/10/2016	TS	115,92	976
Fung-Wong	24/09/2014	ET	63	1001
Dianmu	11/08/2010	TS	83,34	989
Sans Nom	14/08/2008	TD	37,04	1007
Wukong	19/08/2006	TD	46,3	1002
Megi	19/08/2004	TS	101,86	984
Maemi	12/09/2003	H2	165,29	954
Chebi	24/06/2001	ET	53,7	1000
Bolaven	31/07/2000	TD	58,65	No data
Sam	26/08/1999	TD	42,6	1004
Tina	09/08/1997	TS	74,08	No data
Caitlin	29/07/1991	H1	128,65	No data
Robyn	11/07/1990	TD	55,56	No data
Dinah	30/08/1987	H1	132,08	No data
Abby	21/09/1986	ET	53,71	996
Nancy	25/06/1986	TS	83,34	No data
Alex	05/07/1984	ET	55,56	No data
Clara	24/09/1981	ET	No data	No data
Agnes	03/09/1981	TS	77,78	986
Dot	23/08/1976	TD	37,04	No data
Anita	25/07/1976	TD	32	No data

On assiste ces dernières années à un rapprochement dans le temps des ouragans de catégorie 1 ; deux d'entre eux sont apparus courant 2020.

G. Jakarta et Camacari

Aucun des phénomènes que nous avons traités ne s'est produit dans les villes de Jakarta et de Camacari sur les 50 dernières années.