

Changement climatique et données météorologiques infra-régionales en méditerranée occidentale

Intégration des connaissances pour les projets « eaux de transition en Méditerranée »



Fiche documentaire

Titre : Changement climatique et données infra-régionales en méditerranée occidentale.	
Référence interne : ODE/UL/LER-PAC/19-02	Date de publication : 2019/04/17
Diffusion : <input checked="" type="checkbox"/> libre (internet) <input type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d’embargo : non définie <input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ	Version : 1.0.0 Référence de l’illustration de couverture Crédit photo/titre/date Langue(s) : Français
Résumé/ Abstract : Traitement de données climatiques afin de définir des types de microclimats et d’en suivre l’évolution au cours des ans, en comparaison avec les microrégions voisines. <i>Cette note n’a pas pour vocation de présenter une étude climatologique détaillée, ou encore des traitements statistiques poussés. Elle a pour objectif de permettre la caractérisation générale et comparative des différents contextes hydro-climatiques des sous-régions et des microrégions nécessaires à la compréhension du fonctionnement écologique de différents milieux de transition en cours d’étude. Il en ressort une méthodologie transposable à toutes micro-régions méditerranéennes et un panel de graphiques.</i>	
Mots-clés/ Key words :	
Comment citer ce document :	
Disponibilité des données de la recherche :	
DOI :	

Commanditaire du rapport :	
Nom / référence du contrat :	
<input type="checkbox"/> Rapport intermédiaire (réf. bibliographique : XXX) <input type="checkbox"/> Rapport définitif (réf. interne du rapport intermédiaire : R.DEP/UNIT/LABO AN- NUM/ID ARCHIMER)	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) :	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
auteur 1 Colmet-Daâge Raphaël	
auteur 2 Malet Nathalie	
auteur 3 Dufresne Christiane	
Encadrement(s) :	
Destinataire :	
Validé par :	

Sommaire

Sommaire	5
1 Introduction	9
2 Matériels et Méthodes	11
2.1 Description des différents sites d'étude.....	11
2.2 Détermination du climat régional méditerranéen	12
2.2.1 Selon F.Bagnouls & H.Gausсен.....	12
2.2.2 Selon L.Emberger.....	13
2.3 Températures et précipitations.....	15
2.4 Evènements de précipitation extrêmes et périodes de sécheresse	15
2.4.1 High Precipitation Event (HPE)	15
2.4.2 Période de sécheresse.....	15
2.5 Analyse des données	15
3 Résultats - Discussion	16
3.1 Bastia – lagune de Biguglia.....	16
3.1.1 Climat moyen.....	16
3.1.2 Précipitations et températures	17
3.1.3 Variabilité interannuelle du climat.....	19
3.1.4 HPE et période de sécheresse	21
3.1.5 Bilan	22
3.2 Sète – Etang de Thau	23
3.3 Oletta - Estuaire de Fiume Santu.....	28
4 Synthèse	33
4.1 Méthodologie	33
4.2 Résultats.....	34
4.3 Approche bioclimatique	35
5 Bibliographie	37
6 Annexes	39
6.1 Climagramme d'Emberger.....	39
6.2 Hausse des températures moyennes en France (« Le Monde » 08 septembre 2018) ..	39
6.3 Contexte hydro-climatique à Narbonne [1961-2018]	43
6.4 Contexte hydro-climatique à Figari [1980-2018]	46
6.5 Autres types de graphique : L'exemple de Bastia	49

Liste des figures

Figure 1 : Carte simplifiée des différents climats définissant chaque partie de la planète Terre. Source Wikipédia	9
Figure 2 : Identification et localisation des stations météorologiques étudiées soit Bastia, Oletta et Sète.	11
Figure 3 : Indice d'Emberger réparti sur l'ensemble du territoire méditerranéen, d'après P.Daget (1977).	14
Figure 4 : Diagramme ombrothermique moyen de Bastia sur l'échantillon [1950-2018] (a) , répartition mensuelle et annuelle des mois secs en bleu foncé depuis 1950 (b) et diagramme ombrothermique de l'année 2017 (c)	17
Figure 5 : Pourcentage saisonnier de précipitation annuelle depuis 1950 sous la forme d'un heat-map (en haut à gauche) et de graphiques linéaires (en bas). Le cumul de précipitation annuel et saisonnier ainsi que la moyenne sur 69 ans de données, en trait noir, est présentée à droite....	18
Figure 6 : Distribution des cumuls de précipitation mensuels depuis 1950 à aujourd'hui	
Figure 7 : Ecart à la température moyenne annuelle (a) ; Température moyenne annuelle, les couleurs des classes correspondent à l'écart à la température moyenne annuelle représentée par le trait noir (b) ; Répartition des écarts à la température moyenne mensuelle. La moyenne est calculée sur la période [1950-2018].	19
Figure 8 : Variations interannuelles du climat à Bastia selon les indices de sécheresse estivale et de quotient pluvio-thermique d'Emberger en haut (a) et l'indice xérothermique de Gausson ainsi que le nombre de mois secs consécutifs dans l'année en bas (b).	20
Figure 9 : En haut, Identification des HPE (High precipitation event) de plus de 100 mm (point bleu) et 150 mm (point rouge) depuis 1950. En bas, décompte des jours secs consécutifs (trait rouge) et non-consécutifs (trait bleu) par année ainsi que du nombre de données disponibles par an depuis 1950 (trait noir).....	21
Figure 10 : Diagramme ombrothermique moyen de Sète sur l'échantillon [1949-2018] (a) , répartition mensuelle et annuelle des mois secs en bleu foncé depuis 1949 (b) et diagramme ombrothermique de l'année 2017 (c)	23
Figure 11 : Pourcentage saisonnier de précipitation annuelle depuis 1949 sous la forme d'un heat-map (en haut à gauche) et de fonctions linéaires (en bas). Le cumul de précipitation annuel et saisonnier ainsi que la moyenne sur 70 ans de données est présentée à droite	24
Figure 12 : Distribution des cumuls de précipitation mensuels depuis 1949 à aujourd'hui	
Figure 13 : Ecart à la température moyenne annuelle (a) ; Température moyenne annuelle colorié en fonction de l'écart à la température moyenne annuelle représentée en trait noir (b) ; Répartition des écarts à la température moyenne mensuelle. La moyenne est calculée sur la période [1949-2018].	25
Figure 14 : Variations interannuelles du climat à Sète selon les indices de sécheresse estivale et de quotient pluvio-thermique d'Emberger en haut (a) et l'indice xérothermique de Gausson ainsi que le nombre de mois secs consécutifs dans l'année en bas (b).	26
Figure 15 : En haut, Identification des HPE (High precipitation event) de plus de 100 mm (point bleu) et 150 mm (point rouge) depuis 1949. En bas, décompte des jours secs consécutifs (trait rouge) et non-consécutifs (trait bleu) par année ainsi que du nombre de données disponibles par an depuis 1949 (trait noir).	27
Figure 16 : Diagramme ombrothermique moyen d'Oletta sur l'échantillon [1991-2018] (a) , répartition mensuelle et annuelle des mois secs en bleu foncé depuis 1991 (b) et diagramme ombrothermique de l'année 2017 (c)	28

Figure 17 : Pourcentage saisonnier de précipitation annuelle depuis 1971 sous la forme d'un heat-map (en haut à gauche) et de fonctions linéaires (en bas). Le cumul de précipitation annuel et saisonnier ainsi que la moyenne sur 48 ans de données est présentée à droite 29

Figure 18 : Distribution des cumuls de précipitation mensuels (en haut) ainsi que les moyennes mensuelles (en bas) depuis 1971 à aujourd'hui. La coloration rouge permet de mettre en lumière les précipitations de l'année 2017 et des mois de prélèvements sur site lors de la campagne FLUME 2017.....

Figure 19 : Ecart à la température moyenne annuelle **(a)** ; Température moyenne annuelle colorié en fonction de l'écart à la température moyenne annuelle représentée en trait noir **(b)** ; Répartition des écarts à la température moyenne mensuelle. La moyenne est calculée sur la période [1991-2018]..... 30

Figure 20 : Ecart à la température moyenne à Bastia à gauche calculé sur la même période [1991-2018] qu'à Oletta à droite. 30

Figure 21 : Variations interannuelles du climat à Oletta selon les indices de sécheresse estivale et de quotient pluvio-thermique d'Emberger en haut (a) et l'indice xérothermique de Gaussen ainsi que le nombre de mois secs consécutifs dans l'année en bas (b)..... 31

Figure 22 : En haut, Identification des HPE (High precipitation event) de plus de 100 mm (point bleu) et 150 mm (point rouge) depuis 1971. En bas, décompte des jours secs consécutifs (trait rouge) et non-consécutifs (trait bleu) par année ainsi que du nombre de données disponibles par an depuis 1971 (trait noir)..... 32

Figure 23 : Corrélation entre les 3 indices bioclimatiques S, Q et X obtenus à Bastia sur la période [1950-2018]. Les HPE supérieurs à 100 mm (flèche bleue) et supérieurs à 150 mm (flèche rouge) sont mentionnés pour $Q > 140$ 33

Figure 24 : Climagramme montrant les différents bioclimats ainsi que l'aire de répartition des trois Chênes sclérophylles et de la végétation thermoméditerranéenne de l'Oleo-Ceratonion (Hamon et al. 2003)..... 39

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de stations météorologiques utilisées pour la caractérisation des variations climatiques infrarégionales et interannuelles. 11

Préambule

Cette note n'a pas pour vocation de présenter une étude climatologique détaillée, ou encore des traitements statistiques poussés. Elle a pour objectif de permettre la caractérisation générale et comparative des différents contextes hydro-climatiques des sous-régions et des microrégions nécessaires à la compréhension du fonctionnement écologique de différents milieux de transition en cours d'étude.

Il en ressort une méthodologie transposable à toutes micro-régions méditerranéennes et un panel de graphiques.

1 Introduction

Le climat est défini comme un « ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un lieu donné » d'après *Larousse*. La caractérisation du climat est effectuée à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques tels que les précipitations, la température, le vent. Ainsi toutes les régions du monde ont été définies pour un type de climat particulier, comme par exemple le climat méditerranéen (voir figure 1) répertorié autour de la méditerranée mais aussi en Californie (USA), en Afrique du Sud, en Australie et au Chili.

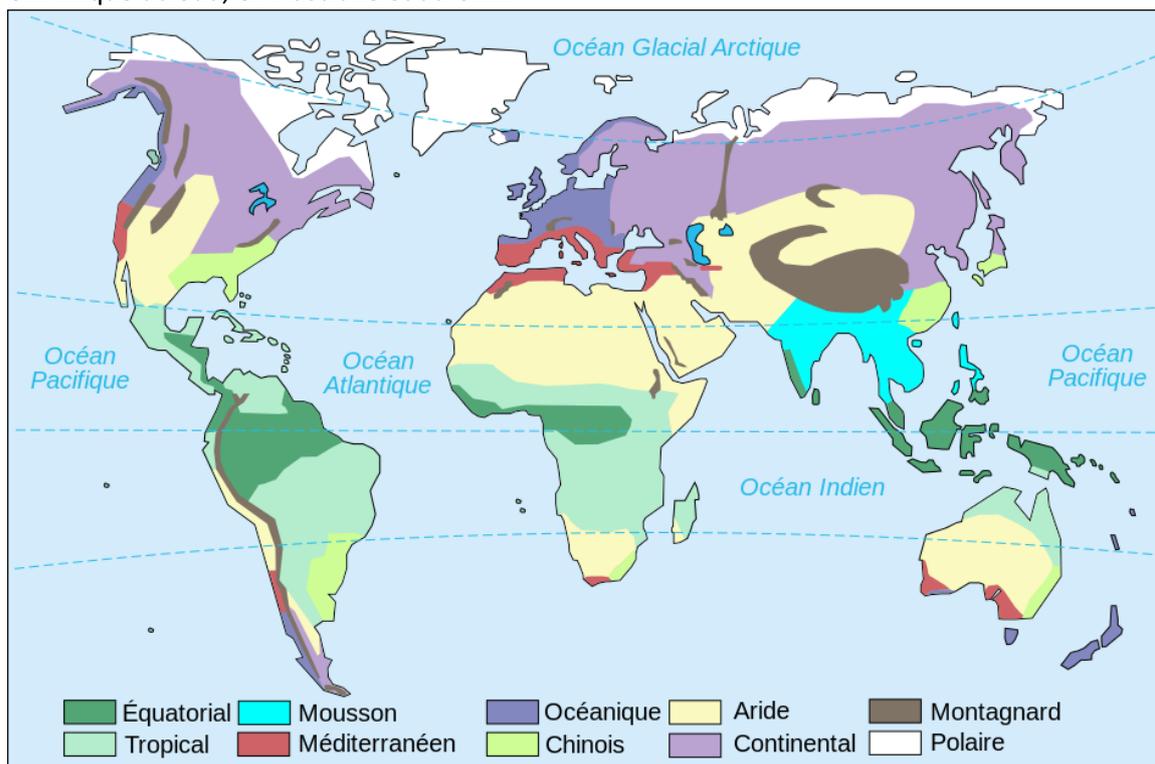


Figure 1 : Carte simplifiée des différents climats définissant chaque partie de la planète Terre. Source Wikipédia

Bien que les climats régionaux soient délimités géographiquement (voir figure 1), les variations interannuelles des paramètres atmosphériques les définissant peuvent entraîner la mise en place de nouveaux types de climat temporairement. C'est ce qu'on appelle les variabilités interannuelles du climat. Ajouté à cela, la présence de montagnes ou bien de littoral maritime génère des variations importantes de l'équilibre atmosphérique. Pour finir, depuis la parution du cinquième rapport du GIEC-IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Changes) « Les éléments scientifiques 2013 » (Thomas et al. 2013) l'ensemble de la communauté scientifique mondiale s'accorde pour affirmer que le réchauffement climatique global de la Terre est effectif, modifiant ainsi l'ensemble des climats mondiaux à court terme d'une manière encore méconnue (voir annexe 6.2 : Hausse des températures moyennes en France d'après « Le Monde » 08 septembre 2018)

Les modèles climatiques mondiaux et régionaux tels que ARPEGE-climat¹ ou SAFRAN² sont utilisés pour la prédiction des paramètres atmosphériques à l'échelle mondiale (grille 100 km) et régionale (grille 8 km) mais ne permettent pas de définir les spécificités climatiques des

¹<https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?rubrique69>

²<https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article788>

microrégions. L'évolution du climat en Méditerranée et sur le littoral Corse a été traité dans de nombreux ouvrages (Barthlott et al. 2016; Martin and Habets 2011; Rome and Giorgetti 2007) mais aucun ne propose de méthodologie simple et claire permettant la détermination des microclimat. Les modèles climatiques à plus petite résolution sont trop coûteux pour être mis en place à l'échelle d'un pays entier, ou même d'une région sauf pour des besoins particuliers comme par exemple la prévision de l'évolution spatiale des feux de forêt en Corse (Fillipi et al. 2009).

Les différentes études portées sur la relation entre climat et écosystèmes (Aidoud 2000; Le Houérou 1992; Guiot 1986; Bagnouls and Gaussen 1957) nous montrent l'étroite corrélation entre l'occurrence des pluies, du vent et des températures avec le maintien de l'équilibre écosystémique développé localement. Afin de comprendre la répartition de ces écosystèmes sous l'influence de leur climat local, les écologistes ont cherché à identifier des sous-régions climatiques particulières définissant ainsi la notion de bioclimat³. Dans sa définition du bioclimat méditerranéen Daget (1977) précise que «le climat méditerranéen n'est pas homogène sur toute l'étendue de l'aire qu'il recouvre; c'est un complexe dans lequel des formes climatiques variées peuvent être reconnues.». L'évolution du climat méditerranéen dû aux conséquences du changement climatique a fait l'objet de nombreuses publications (Somot 2005; Giorgi and Lionello 2008) avec notamment l'étude du déplacement de la limite bioclimatique méditerranéenne (Vennetier et al. 2011). Les écosystèmes sont des milieux fragiles et vulnérables où des changements minimes dans leur équilibre naturel, dictés par la variabilité des facteurs biotiques et abiotiques, peuvent avoir des conséquences drastiques pour les communautés. Les menaces sont plurielles en commençant par la pression anthropique croissante mais également les conséquences du changement climatique affectant par exemple la variabilité interannuelle et infrarégionale du climat.

Le lien étroit entre biologie et climat nous mène vers une caractérisation climatique précise et locale permettant une meilleure connaissance des phénomènes influençant l'évolution de chaque écosystème (Hoff 2007). C'est pourquoi la caractérisation du contexte hydro-climatique est un prérequis indispensable à tout papier traitant d'écologie côtière et en particulier des milieux de transition.

L'objectif de cette note est de proposer une méthodologie de caractérisation des microclimats et de leurs évolutions au cours des ans en Méditerranée. L'ensemble des résultats seront proposés sous forme de graphiques explicites, transposables à toute microrégion méditerranéenne, accompagné d'une analyse des résultats obtenus ciblant les points essentiels des graphiques proposés. Il est important de préciser que le lecteur est libre d'orienter son analyse vers d'autres éléments des graphiques non mentionnés dans cette note ; une analyse pouvant être essentielle pour une meilleure compréhension de la problématique étudiée par chacun.

Pour ce faire, les données météorologiques de 2 stations météorologiques en Corse (Bastia et Oletta) et une sur le littoral méditerranéen français (Sète) ont été traitées et analysées. Les résultats obtenus pour les stations de Figari (Corse) et Narbonne (Occitanie) sont présentés en annexe seulement. (voir annexe 6.3 et 6.4)

³ Ensemble des conditions climatiques d'une région qui exercent une influence sur les êtres vivants et en particulier sur la santé humaine, d'après Larousse.

2 Matériels et Méthodes

Dans cette note, le climat local de 2 microrégions de Corse (Bastia et Oletta) et 1 du littoral méditerranéen français (Sète) a été étudié (voir figure 2).

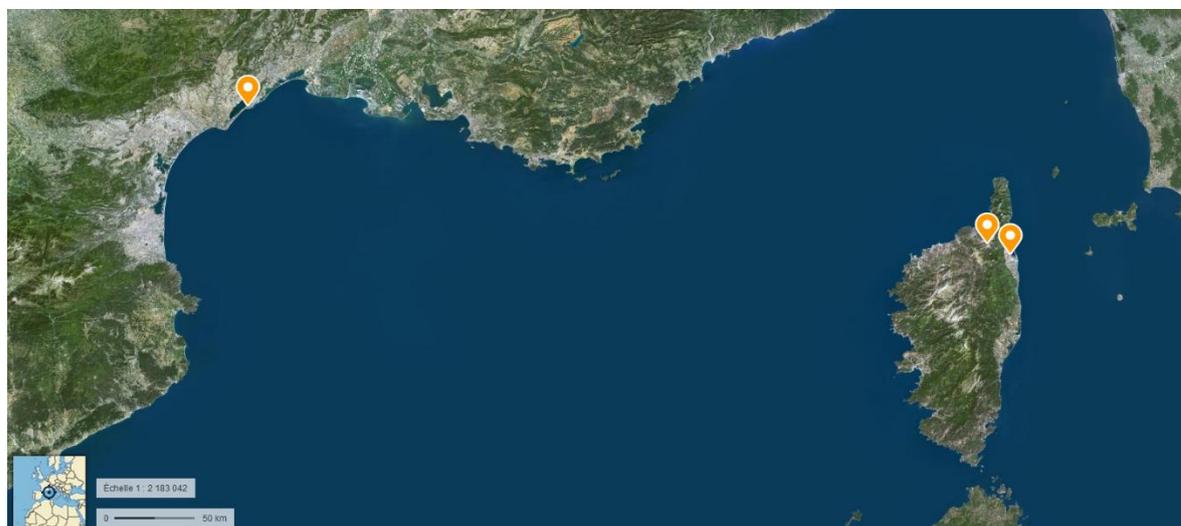


Figure 2 : Identification et localisation des stations météorologiques étudiées soit Bastia, Oletta et Sète.

2.1 Description des différents sites d'étude

La Corse se situant en plein cœur de la Méditerranée, mer intérieure la plus vaste au monde, est sujette au climat dit méditerranéen, aussi chaud et sec en été que frais et humide en automne et hiver (Giorgetti et al. 2001). C'est la 4ème plus grande île de Méditerranée après la Sicile, la Sardaigne et Chypre (Rome and Giorgetti 2007), cependant c'est la seule qui offre un espace dit « de montagne » représentant plus du tiers de sa superficie, avec une altitude moyenne de 568 m et cent vingt pics à plus de 2000 m ce qui l'élève au premier rang des îles les plus montagneuses de Méditerranée (Giorgetti et al. 2001). De nombreuses études ont montrées la particularité climatique en Corse (Scheffknecht et al. 2017; Lambert, Argence, and Richard 2006) justifiant la forte diversité de climats et l'importante occurrence d'évènements de précipitation extrême de type HPE (High Precipitation Event) ainsi que des périodes de sécheresse importantes extrêmement localisées. Ainsi les nombreuses vallées, fleuves et torrents ont des fonctionnements saisonniers très marqués, débouchant in-fine dans des zones de transition de toutes tailles et de tous types (lagunes, zones humides, estuaires temporairement ouvert ou fermé) tout au long du littoral.

La station météorologique de Sète, dans le département de l'Hérault (34) est la troisième station météorologique méditerranéenne choisie afin de discuter des résultats obtenus. Située à la limite entre la lagune de Thau et le littoral méditerranéen, cette station météorologique s'intègre parfaitement dans l'étude des climats méditerranéens locaux. Le littoral de l'Hérault est soumis au climat méditerranéen sur la côte avec des périodes de sécheresse estivale et aussi un climat méditerranéen atténué sur la zone de transition topographique marqué par des précipitations assez importantes (Centre climatologique de l'Herault 2014).

Tableau 1 : Caractéristiques de stations météorologiques utilisées pour la caractérisation des variations climatiques infrarégionales et interannuelles.

		Bastia (n°20148001)	Oletta (n°20185003)	Sète (34301002)
Caractéristiques des stations météorologiques	Coordonnées	42°32'26''N 9°29'07'' E	42°37'54'' N 9°19'12'' E	43°23'50'' N 3°41'32'' E
	Altitude (m)	10	75	75
	Dates de fonctionnement	01/01/1950 En cours	01/01/1971 En cours	01/01/1959 En cours
	Données récoltées	Précipitation ; température ;	Précipitation ; température	Précipitation ; température ;
	Fréquence	Journalière et horaire	Journalière et horaire	Journalière et horaire
	Distance à la mer (km)	0.5	9,8	0.2

2.2 Détermination du climat régional méditerranéen

Le climat méditerranéen est à la transition entre la zone chaude et la zone tempérée et est défini comme "un climat pluvieux et souvent doux en hiver (perturbations d'ouest) et chaud et sec en été (hautes pressions tropicales)" d'après *le dictionnaire du climat* (Daget 1977; Somot 2005). Le GIEC (Thomas et al. 2013) a identifié les régions dans lesquelles les situations sont déjà préoccupantes comme étant des "points chauds" du changement climatique. La Méditerranée en fait partie. Le climat méditerranéen se caractérise par des variations infrarégionales très marquées du point de vue du cumul de précipitation annuel (entre 100 et 2000 mm) ainsi que des températures moyennes annuelles (entre 5 et 18°C), mais également l'ensoleillement, l'humidité, le vent De plus, l'existence d'un fort déficit pluviométrique pendant la saison chaude résulte en une double gouvernance de la biologie locale tant par la température que par les précipitations (Rameau et al. 2008).

Les indices climatiques le plus couramment utilisés pour caractériser les variations interannuelles et infrarégionales du contexte hydro-climatique méditerranéen sont d'une part l'indice de Gaussen et l'indice xérothermique développés par Bagnouls et Gaussen (1952) et d'autre part l'indice de sécheresse estivale et le quotient pluvio-thermique développés par Emberger (Rameau et al. 2008; Aidoud 2000; Mokhtari et al. 2013).

2.2.1 Selon F.Bagnouls & H.Gaussen

- L'indice de Gaussen, permet la détermination des mois secs.

Les mois secs sont ceux qui vérifient l'équation $\frac{P(i)}{T(i)} < 2$

Avec

P le cumul de précipitations mensuel en mm/mois

T la moyenne de température mensuelle en °C.

L'indice de Gaussen est représenté par un diagramme ombrothermique, réalisé grâce à la superposition des moyennes de température et les cumuls de précipitations mensuels sur un même graphique avec une échelle des ordonnées précise, vérifiant $\frac{P}{T} = 2$

- L'indice Xérothermique (X), correspond au nombre de jours sans pluie au cours des mois secs consécutifs, soit $X = \sum_{\text{mois secs consécutifs}} (\text{jours sans pluie})$ avec X compris entre 0 et 365 (366 pour les années bissextiles).

Les mois secs définis comme suit :

- Un cumul de précipitation inférieur à 10 mm pour une température moyenne inférieure à 10°C.
- Un cumul de précipitation inférieur à 25 mm pour une température moyenne comprise entre 10 et 20°C.
- Un cumul de précipitation inférieur à 50 mm pour une température moyenne comprise entre 20 et 30°C.
- Un cumul de précipitation inférieur à 75 mm pour une température moyenne supérieure à 30°C.

L'étude de la région méditerranéenne a permis de distinguer quatre sous-régions en se fondant sur les valeurs de l'indice xérothermique et de l'indice de Gausson :

- $200 > X > 150$ (à défaut, 7 ou 8 mois secs) : climat « xérothermo- méditerranéen ».
Exemple : Marrakech (Maroc), San Diego (Californie).
- $150 > X > 100$ (à défaut, 5 ou 6 mois secs) : climat « thermoméditerranéen ».
Exemple : Tunis (Tunisie), Lisbonne (Portugal).
- $100 > X > 40$ (à défaut, 3 ou 4 mois secs) : climat « mésoméditerranéen ».
Exemple : Nice, Rome (Italie), Barcelone (Espagne).

Les valeurs 200 et 40 de l'indice xérothermique marquent assez nettement les limites de la région méditerranéenne ; d'une part au contact de la région subdésertique ($x > 200$), d'autre part au contact de la zone de transition subméditerranéenne ($x < 40$).

2.2.2 Selon L.Emberger

- L'indice de sécheresse estivale (S)
D'après Daget (Daget 1977) permet de quantifier le degré de sécheresse de la saison estivale. Il est défini comme suit :

$$S = \frac{\textit{Total de précipitation moyenne estivale}}{\textit{Moyenne des températures max du mois le plus chaud}}$$

La figure 3 ci-dessous résume les résultats obtenus en Méditerranée en 1977 :

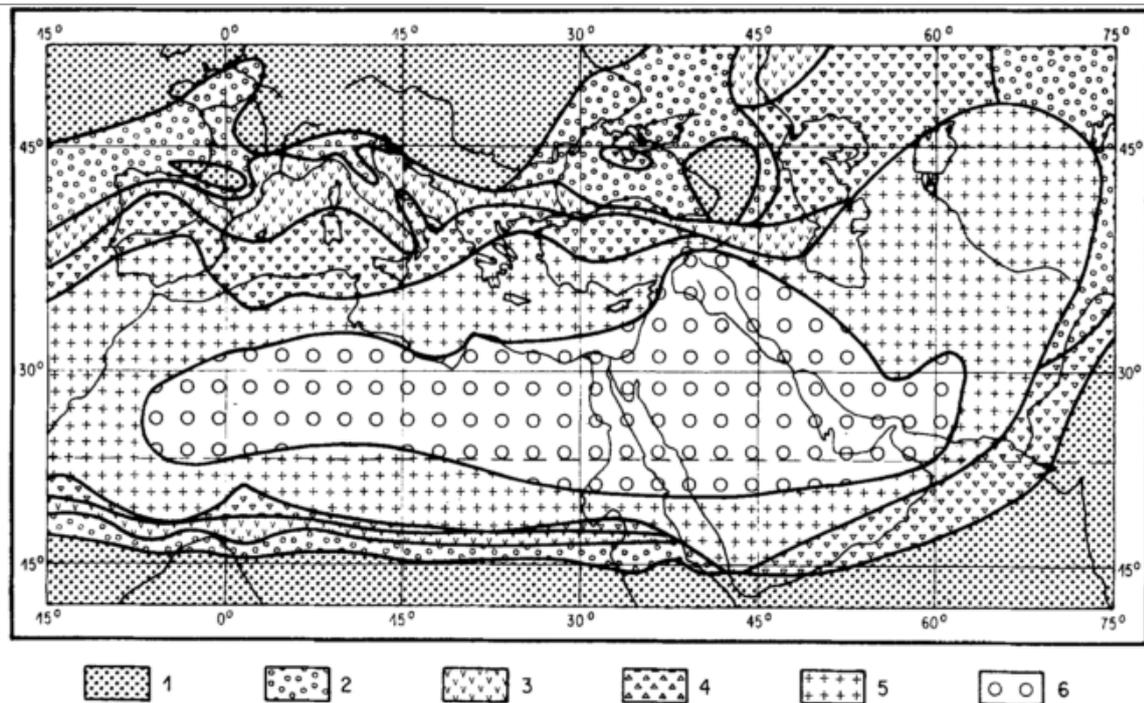


Fig. 5. Indices de sécheresse estivale d'Emberger/Emberger's index of summer dryness.
 1. $S = 7$; 2. $7 > S \geq 5$; 3. $5 > S \geq 3$; 4. $3 > S \geq 1$; 4. $1 > S \geq 0.1$; 6. $S < 0.1$.

Figure 3 : Indice d'Emberger réparti sur l'ensemble du territoire méditerranéen, d'après P.Daget (1977).

La Corse et Sète se situent à la limite entre les zones 3 et 4, soit un indice d'Emberger variant entre 5 et 1, caractéristique de la zone littorale méditerranéenne occidentale.

- Le quotient pluvio-thermique (Q)

Il permet de classer les bioclimats⁴ selon les valeurs de Q tel que $Q = \frac{100 \cdot P}{(M+m) \cdot (M-m)}$

Avec

P le cumul de précipitation annuelle (en mm)

m la moyenne des minimas du mois le plus froid

M la moyenne des maximas du mois le plus chaud

Les bioclimats sont ensuite représentés au sein d'un climagramme respectant $Q=f(m)$ permettant de définir les bioclimats suivants :

- $Q < 10$: Climat aride
- $10 < Q < 45$: Méditerranéen aride
- $45 < Q < 70$: Méditerranéen semi-aride
- $70 < Q < 110$: Méditerranéen subhumide
- $110 < Q < 150$: Méditerranéen peu humide
- $150 < Q$: Méditerranéen humide

⁴ Ensemble des conditions climatiques d'une région qui exercent une influence sur les êtres vivants et en particulier sur la santé humaine, d'après Larousse.

2.3 Températures et précipitations

Les données de températures et de précipitations ont été traitées sous matlab, moyennées au mois ou à la saison. Les résultats obtenus sont mis en évidence sous deux formes distinctes :

- Sous la forme de graphiques de type « heatmap » afin de faciliter l'analyse des variations saisonnières et mensuelles d'année en année.
- Sous la forme de graphiques de type « bar » afin de tracer d'une part les moyennes annuelles et d'autre part classer les années en fonction de l'écart à cette moyenne.

2.4 Evènements de précipitation extrêmes et périodes de sécheresse

2.4.1 High Precipitation Event (HPE)

Les seuils de précipitation extrêmes correspondent à des HPE (Heavy Precipitation Event) (Ricard, Ducrocq and Auger 2012; Scheffknecht et al. 2017) présentant un cumul de précipitation journalière supérieur à 100 mm et 150 mm.

2.4.2 Période de sécheresse

La sécheresse est un état difficile à définir et très largement étudié dans de nombreuses publications (Ortega-gómez, Pérez-martín, and Estrela 2018; Pons and Quézel 1998). Elle correspond à un ensemble de paramètres vérifiant des conditions particulières simultanément (température, intensité et fréquence de pluie, état superficiel et interne du sol). Nous avons opté ici de calculer les deux paramètres suivants : le cumul annuel de jours secs non-consécutifs ainsi que le maximum annuel de jours secs consécutifs dont les précipitations ne dépassent pas le seuil de 1 mm de cumul journalier.

2.5 Analyse des données

Les données climatiques ont été traitées sous le logiciel de calcul Matlab, par des scripts réalisés par Raphael Colmet-Daage, inspiré par Christiane Dufresne. Les 12 mois de l'année ont été regroupés selon l'importance des cumuls de précipitation afin de définir une saison pluvieuse et une sèche. Les moyennes de températures maximales, moyennes et minimales ont été calculées par année, par saison, par mois et par jour. Les cumuls et pourcentages de précipitations ont été calculés par année, par saison, par mois et par jour. Les années ont été classées selon l'importance des températures ainsi que du cumul de pluie selon plusieurs mois choisis ou bien à l'année.

3 Résultats - Discussion

Les graphiques présentés dans cette section sont identiques pour chacune des 3 microrégions étudiées et ont pour objectif de proposer une méthodologie simple et visuelle permettant la détermination des microclimats locaux et de leurs variations interannuelles. L'analyse des résultats est présentée en détail pour la station de Bastia puis de manière plus succincte pour les stations d'Oletta et Sète, laissant au lecteur libre cours à sa propre analyse.

La détermination des saisons⁵ a été effectuée en fonction de l'indice de Gaussen moyen obtenu sur l'ensemble des données disponibles, obtenant ainsi une année découpée en 3 saisons seulement, avec:

La saison sèche, correspond aux mois vérifiant $P < 2 * T$

La saison d'hiver, correspondant aux mois pluvieux précédents la saison sèche.

La saison d'automne, correspondant aux mois pluvieux suivant la saison sèche

Trois indices bioclimatiques sont calculés :

L'indice de sécheresse estivale - S - d'Emberger permet de caractériser la saison la plus chaude et sèche de l'année, critère déterminant du climat méditerranéen.

L'indice pluvio-thermique - Q – d'Emberger permet de caractériser l'amplitude thermique annuelle liée aux précipitations.

L'indice xérothermique - X – de Gaussen permet une caractérisation globale de l'état de sécheresse du sol et est facilement comparable d'année en année.

3.1 Bastia – lagune de Biguglia

3.1.1 Climat moyen

D'après la définition du climat de Gaussen, avec un indice xérothermique moyen de 99 et 3.5 mois secs entre juin et août compris, le climat de Bastia relève d'un climat typique méditerranéen de **type mésoméditerranéen**. La saison sèche est suivie de 9 mois de saison pluvieuse entre septembre et mai avec un maximum de pluie de 110 mm cumulé en octobre (figure 4.a). La température moyenne y est de 15.7 °C avec un cumul de précipitation moyen aux environs de 770 mm par an.

⁵ Une saison est une partie de l'année au cours de laquelle la conjonction de facteurs astronomiques et environnementaux assure une régularité bien caractérisée aux variables et phénomènes météorologiques concernant une région donnée, et y suscite des processus biologiques, économiques et sociaux dépendants de cette régularité (source Météo-France).

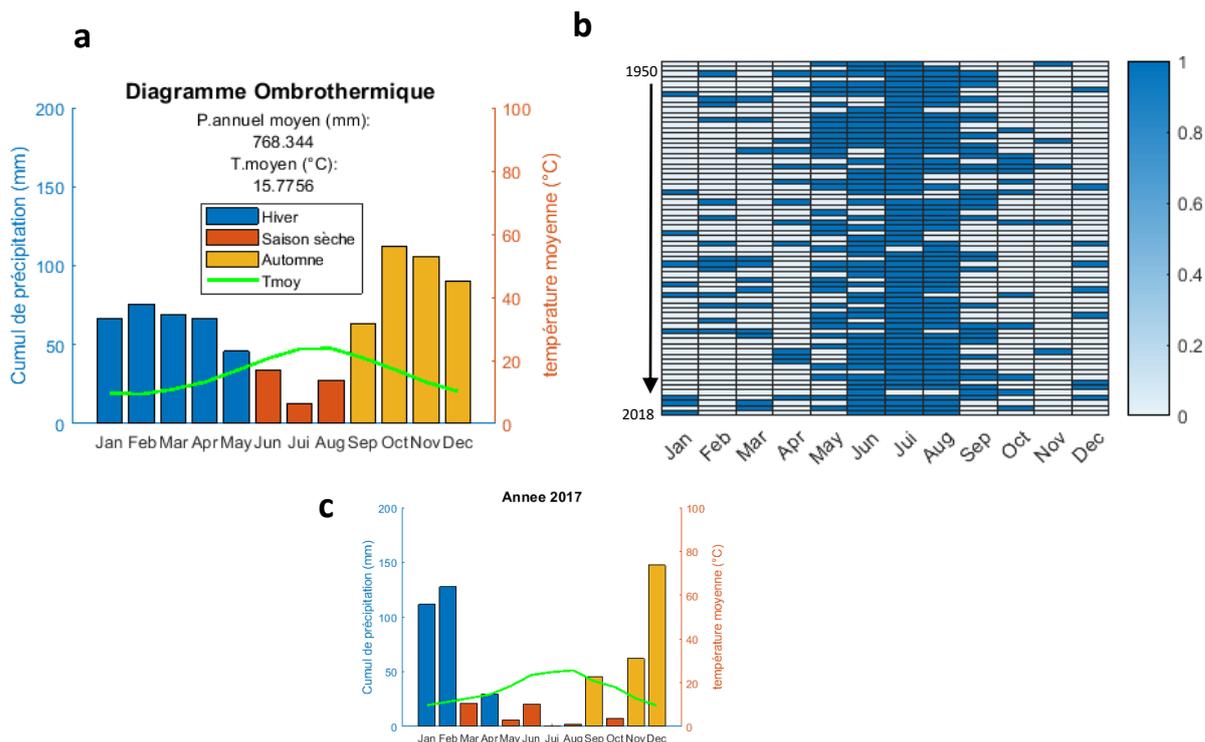


Figure 4 : Diagramme ombrothermique moyen de Bastia sur l'échantillon [1950-2018] (a), répartition mensuelle et annuelle des mois secs en bleu foncé depuis 1950 (b) et diagramme ombrothermique de l'année 2017 (c).

La sécheresse des mois de septembre et mai est extrêmement variable comme le montre la figure 4.b, avec 38 mois secs en mai et 31 mois secs en septembre depuis 1950. La période sèche, i.e la période caractéristiques du climat méditerranéen, fluctue autour de 3.5 +/-1.5 mois secs avec des extrema à 0 et 7 mois secs. L'année 2017 fût particulièrement sèche, avec 6 mois secs entre mars et octobre avoisinant les 8 mois secs consécutifs (figure 4.c).

3.1.2 Précipitations et températures

On remarque sur la figure 5 que les pourcentages de précipitation saisonniers fluctuent d'année en année, avec des maximums de précipitation en hiver et automne (cases bleues sur le heatmap). Une ascendance des cumuls automnaux (courbe jaune) est remarquable sur la période [1990-2010] atteignant jusqu'à 60% des pluies annuelles, à l'inverse de la période [1970-1980] où les cumuls hivernaux prédominaient (courbe bleue). Le cumul de précipitation annuel est très fluctuant, avec des maximums de 1400 mm de pluie atteint en 2007, dont environ 900 mm sont tombés en automne.

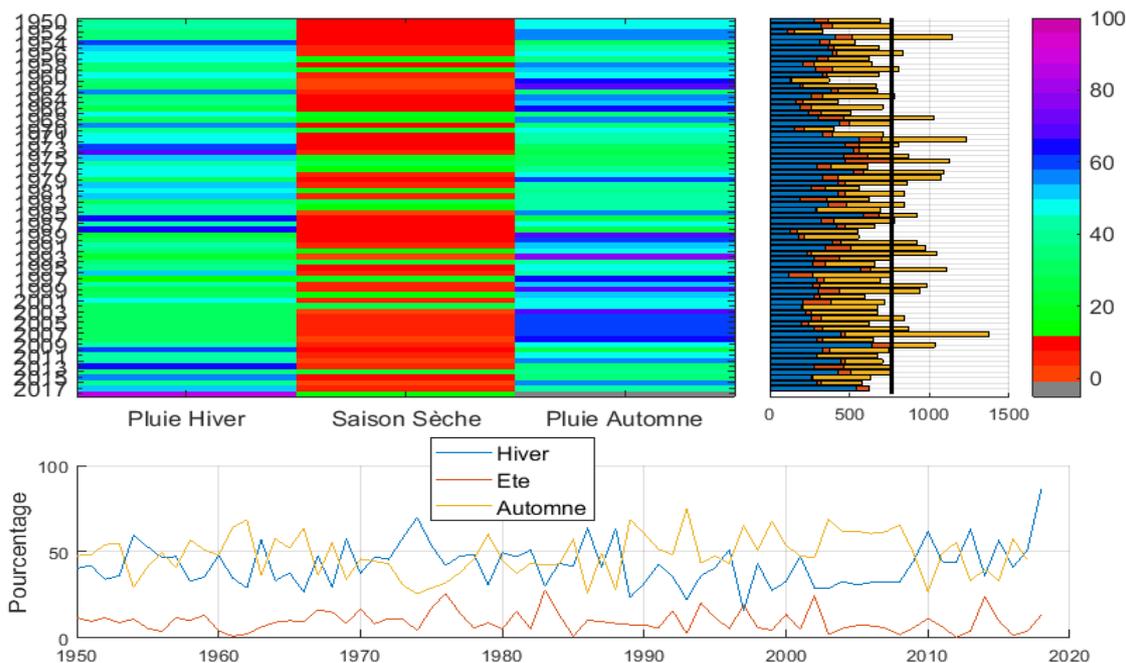


Figure 5 : Pourcentage saisonnier de précipitation annuelle depuis 1950 sous la forme d'un heat-map (en haut à gauche) et de graphiques linéaires (en bas). Le cumul de précipitation annuel et saisonnier ainsi que la moyenne sur 69 ans de données, en trait noir, est présentée à droite.

La figure 6 nous informe sur les variations de précipitation mensuelle. La figure « heat-map » montre une diminution des précipitations du mois de février depuis 1980, avec une tendance de couleur passant du bleu au jaune, soit de 150 mm à 50 mm. Nous remarquons également la longue période sèche de 2017, qui n'a pas dépassé les 60 mm de pluie entre mars et octobre inclus. En bas de la figure 6 est représenté la moyenne des cumuls mensuels depuis 1950 ainsi que les cumuls mensuels de l'année 1999 (courbe bleue), qui fût particulièrement marquée par les pluies automnales. On recense pour les 3 mois de septembre à novembre un cumul mensuel dépassant les 200 mm.

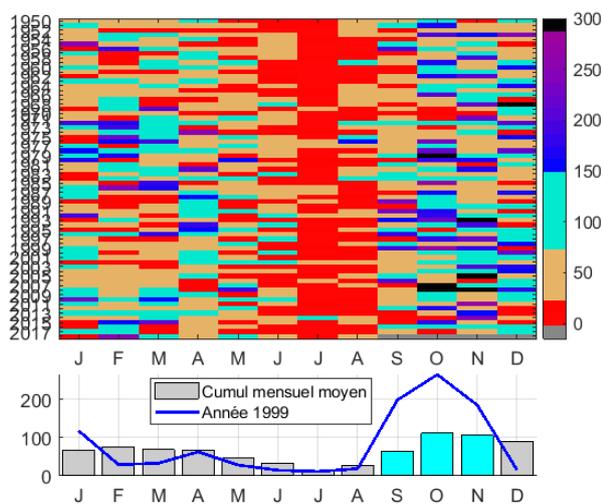


Figure 6 : Distribution des cumuls de précipitation mensuels depuis 1950 à aujourd'hui

Les températures moyennes annuelles ont augmentée de manière significative depuis 1950, avec une normale sur 69 ans calculée sur la période [1950-2018] on observe un écart à la normale minimal de - 1.5°C en 1957 et maximal de + 1.3°C en 2003 (figure 7.a). L'année 1981 enregistre 16.5°C de moyenne annuelle, marquant le début d'une période quasi continue jusqu'à aujourd'hui de dépassement de la normale à 15.8°C. A partir de 2014, la température moyenne annuelle de Bastia enregistre chaque année un nouveau record de +1°C d'écart à la normale (figure 7.b). Les mois de l'été sont les plus affectés par l'augmentation de la température, avec par exemple

l'année 2003 marquée par 4 mois de canicule à plus de 3°C au-dessus des moyennes mensuelles (figure 7.c). Les mêmes types de graphiques ont été calculés pour l'écart au cumul de précipitation moyenne annuelle et mensuelle et sont consultable en [annexe 6.5](#)

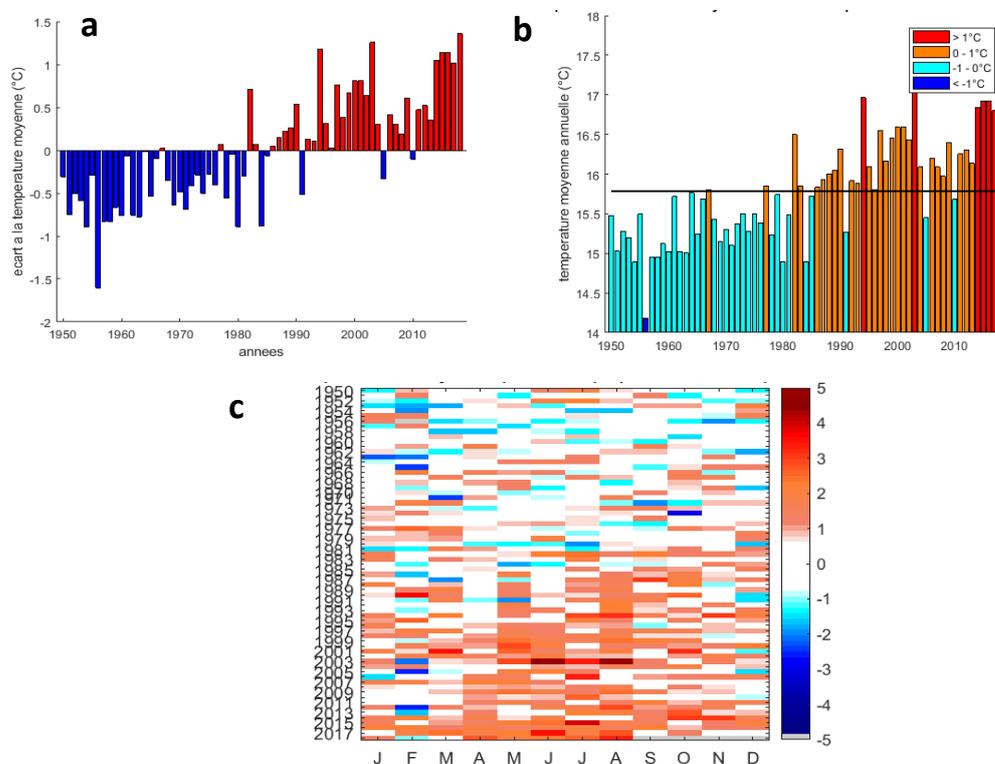


Figure 7 : Ecart à la température moyenne annuelle (a) ; Température moyenne annuelle, les couleurs des classes correspondent à l'écart à la température moyenne annuelle représentée par le trait noir (b) ; Répartition des écarts à la température moyenne mensuelle. La moyenne est calculée sur la période [1950-2018].

3.1.3 Variabilité interannuelle du climat

La figure 8 propose deux méthodes de classification des climats, permettant d'identifier les variations du climat d'année en année:

- **Classification d'Emberger** par l'indice de sécheresse estivale S et l'indice pluvio-thermique. Avec un indice de sécheresse estivale S moyen de 2.5 ± 1.8 et un quotient pluvio-thermique Q moyen de 92 ± 27 , le climat moyen de Bastia correspond à un *climat subhumide* (gros point noir sur la figure 8.a).
 - Cette classification tient compte principalement du rapport entre le cumul de précipitation et les écarts annuels maximaux de température.
- **Classification de Gaussen** par l'indice Xérothermique et le cumul de mois secs consécutifs. Avec un indice xérothermique X moyen de 99 ± 35 et 3 mois secs consécutifs, le climat moyen de Bastia correspond à un *climat mésoméditerranéen* (trait noir sur la figure 8.b).
 - Cette classification tient compte principalement du nombre de jours sans pluie parmi les mois considérés secs consécutifs au cours de l'année.

Les résultats obtenus pour chacune des deux classifications montrent une importante variabilité interannuelle du microclimat local. Le climat de Bastia évolue entre le climat subdésertique et le climat subméditerranéen (figure 8.b), ou encore entre le climat semi-aride et humide (figure 8.a). Ainsi la période d'étude [1950-2018] peut être découpée en 3 sous-périodes :

○ [1950 - 1971] :

L'indice xérothermique X dépasse régulièrement la valeur moyenne de 99 (113 en moyenne) culminant à 200 jours et 7 mois secs consécutifs en 1961 (barre rouge sur la figure 8.b).

L'indice de sécheresse estivale S et le quotient pluvio-thermique Q sont faibles et oscillent entre [0.1-6] pour S et [30-110] pour Q avec une moyenne de 84, excepté 1953 et 1968 (en croix rouge sur figure 8.a).

- C'est une période sèche, en moyenne de type **thermoméditerranéen / subhumide**

○ [1970 – 2010]

X plafonne très régulièrement en dessous des 90 jours (91 en moyenne), avec un minimum de 40 jours en 2002.

S et Q sont plus dispersés variant entre [1-7] pour S et [60-165] pour Q avec une moyenne de 98 (en croix bleu sur la figure 8.a).

- C'est une période humide de type **mésoméditerranéen / subhumide.**

○ [2011 – 2018]

L'indice xérothermique X atteint un unique pic de climat xérothermoméditerranéen en 2017, mais pas de tendance générale à l'augmentation de X n'est remarquable.

Par contre les indices d'Emberger, excepté en 2014, sont particulièrement condensés entre [1-3] pour S et [60-85] pour Q avec une moyenne de 76 (en violet sur la figure 8.a). Contrairement à la période [1950-1970], les dernières années subissent des saisons estivales très sèches ainsi que de faibles précipitations annuelles corrélées à un écart de température plus important entre hiver et été (voir figure 7.c)

- C'est une nouvelle période sèche, cette fois-ci centrée sur l'été, avec un climat de type **mésoméditerranéen / à la limite du semi-aride.**

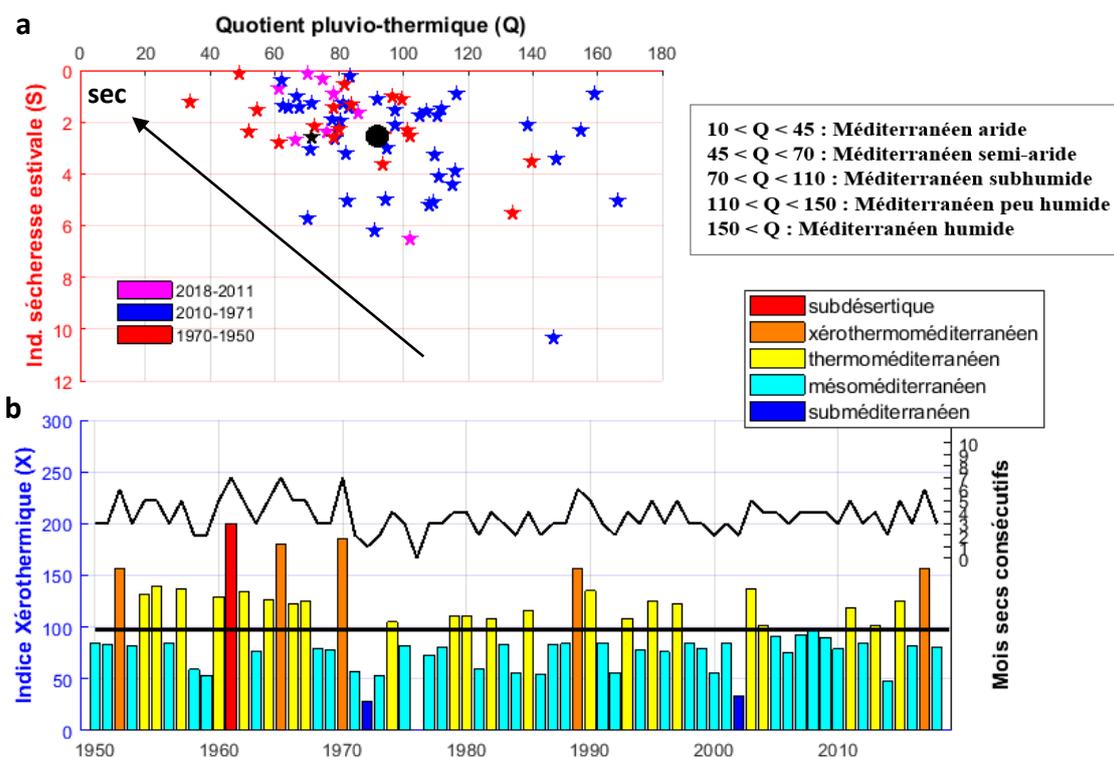


Figure 8 : Variations interannuelles du climat à Bastia selon les indices de sécheresse estivale et de quotient pluvio-thermique d'Emberger en haut (a) et l'indice xérothermique de Gaussen ainsi que le nombre de mois secs consécutifs dans l'année en bas (b).

3.1.4 HPE et période de sécheresse

La dernière variable climatique étudiée figure 9 est l'occurrence des événements de précipitation extrême de type HPE (high precipitation event) et la période de sécheresse annuelle moyenne et maximale obtenues à Bastia depuis 1950.

Entre [1950-1977 & 2012-2018] les HPE sont rares avec une fréquence moyenne de 0.14, soit 1 événement tous les 7 ans.

Entre [1978- 2011] la fréquence augmente à 0.5, soit un événement tous les 2 ans avec une forte concentration entre 2006-2011.

Sur 21 HPE supérieur à 100 mm (HPE supérieur à 150 mm inclus), dont 50% au seul mois d'octobre, 25% en septembre et 15% en novembre.

La période de sécheresse annuelle oscille aux alentours de 300 jours secs/an et de 43 jours secs consécutifs /an. On remarque que le cumul de jours secs consécutifs n'atteint jamais deux pics consécutifs, avec des records de plus de 70 et une moyenne de 56 jours secs consécutifs depuis 2008. Les extrema de jours secs consécutifs et non consécutifs ne semblent pas corrélés, comme le montre l'année 1985, 2008 et 2012 qui enregistrent les maximums de jours secs consécutifs (environ 60) depuis 1950 sans pour autant changer significativement le total annuel de jours secs annuels.

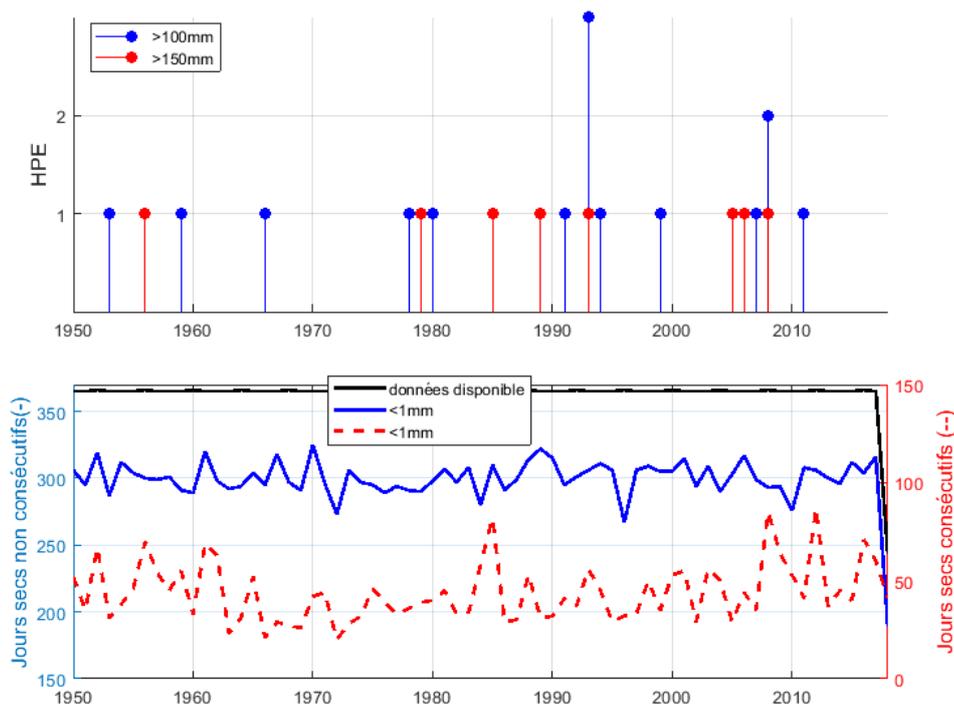


Figure 9 : En haut, Identification des HPE (High precipitation event) de plus de 100 mm (point bleu) et 150 mm (point rouge) depuis 1950. En bas, décompte des jours secs consécutifs (trait rouge) et non-consécutifs (trait bleu) par année ainsi que du nombre de données disponibles par an depuis 1950 (trait noir).

3.1.5 Bilan

Le climat moyen à Bastia est de type mésoméditerranéen / subhumide avec des particularités périodiques:

- [1950-1970] le climat moyen annuel est particulièrement sec avec un climat de type subdésertique en 1961, les indices de sécheresse S et Q particulièrement faibles et un cumul de précipitation annuel aux alentours de 500mm
- [1970-2010] est une période plus humide avec un climat mésoméditerranéen moins variable et des indices de sécheresse beaucoup plus réparties entre années sèches et années très humides atteignant jusqu'à S=10 et Q=150 en 1976
- [2011-2018] le climat est à nouveau sec mais cette fois centré sur l'été avec les indices d'Emberger S et Q très peu variables et régulièrement significatifs d'un climat de type semi-aride (figure 4 et figure 8). Les valeurs de l'indice Xérothermique sont moins percutantes, sauf par l'alternance régulière des années en-dessous et au-dessus de la valeur moyenne à 99 jours secs.

Sur les 10 dernières années, les périodes de sécheresse durent 56 jours en moyenne et atteignent jusqu'à 80 jours secs consécutifs contre 44 jours en moyenne depuis 1950 (figure 9).

Sur la période [1950-2018], la tendance globale est à l'augmentation de la température annuelle et principalement sur la saison d'été avec un seuil de dépassement de la normale sur 69 ans atteint en 1981. Seul le mois de février semble échapper à la tendance, enregistrant régulièrement des moyennes mensuelles inférieures à la normale (figure 7).

Les précipitations sont réparties de manière cyclique entre l'hiver et l'automne, avec une importante ascendance de pluie d'automne entre 1990 et 2010 (figure 5), période où les HPE sont particulièrement plus fréquents (figure 9). Plus de 90% des HPE sont générés en automne et presque 50% pour le seul mois d'octobre, ce qui semble confirmer son importance dans le cumul de précipitation annuel d'année en année (figure 6).

3.2 Sète – Etang de Thau

❖ Climat moyen

D'après la définition du climat de Gaussen, avec un indice xérothermique moyen de 104 et 3.8 mois secs consécutifs, le climat de Sète relève d'un climat de **type thermoméditerranéen**, à la limite du mésoméditerranéen (figure 10.a)

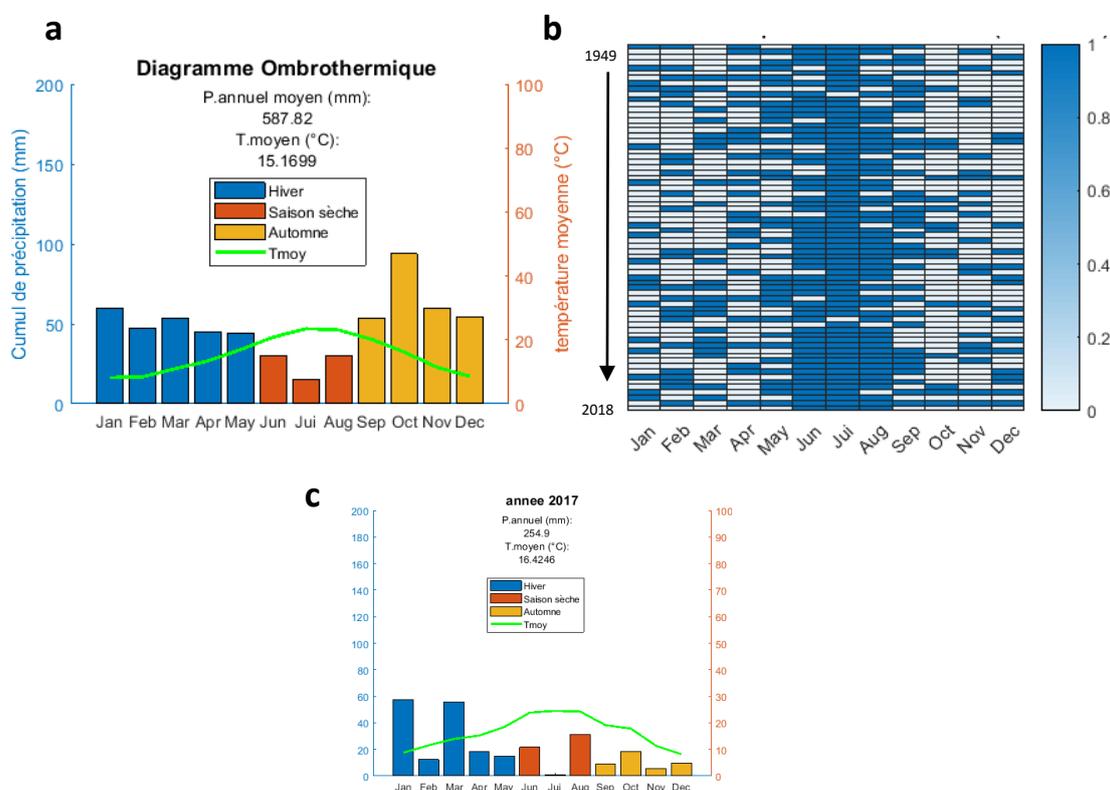


Figure 10 : Diagramme ombrothermique moyen de Sète sur l'échantillon [1949-2018] (a), répartition mensuelle et annuelle des mois secs en bleu foncé depuis 1949 (b) et diagramme ombrothermique de l'année 2017 (c).

La sécheresse est répartie sur l'ensemble des 12 mois de l'année, avec en moyenne 5.7 +/-1.6 mois secs par an (figure 10.b). L'année 2017 fût particulièrement sèche, avec 9 mois secs entre avril et décembre (figure 10.c).

❖ Précipitations et températures

On remarque sur la figure 11 que les pourcentages de précipitation saisonniers d'hiver et d'automne sont majoritaires mais que la saison sèche atteint régulièrement 30% de cumul de précipitation annuelle (cases vertes sur le heatmap). Une ascendance des cumuls automnaux (courbe jaune) est remarquable sur la période [1992-2008] atteignant régulièrement 50% des pluies annuelles. Le cumul de précipitation annuel est très fluctuant et évolue autour de la valeur moyenne 584 +/- 190 mm.

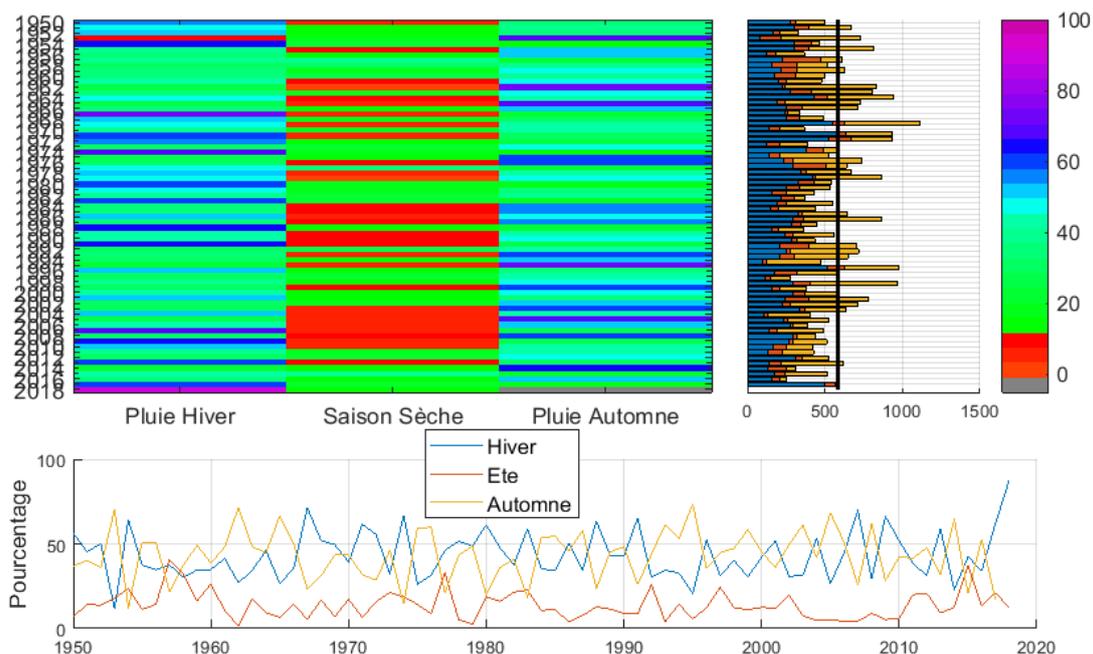


Figure 11 : Pourcentage saisonnier de précipitation annuelle depuis 1949 sous la forme d'un heat-map (en haut à gauche) et de fonctions linéaires (en bas). Le cumul de précipitation annuel et saisonnier ainsi que la moyenne sur 70 ans de données est présentée à droite

Sur la figure 12, les variations de précipitation mensuelles montrent une diminution des précipitations du mois de février et une augmentation au mois de septembre depuis 1990. Les variations interannuelles sont très importantes, comme par exemple l'année 1998 très sèche (courbe rouge) et l'année 1999 très pluvieuse (courbe bleue) avec une précipitation accrue principalement pour les mois de mai, septembre et novembre (barres orange). Nous remarquons également la longue période sèche de 2017 qui n'a pas dépassé les 60 mm de pluie pendant 14 mois, jusqu'en décembre 2017 inclus.

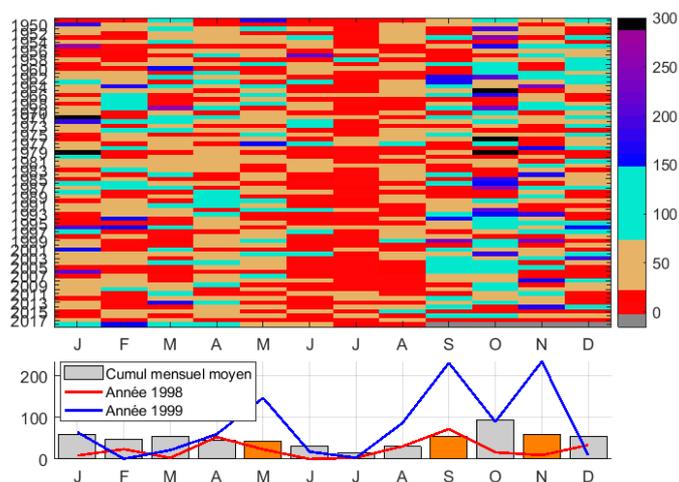


Figure 12 : Distribution des cumuls de précipitation mensuels depuis 1949 à aujourd'hui

Les températures moyennes annuelles ont augmenté de manière significative depuis 1951, avec un écart maximal de + 3°C à la normale de 15.2°C calculée sur la période [1949-2018], ne prenant pas en compte l'année 2018 encore inachevée (figure 13.a). L'année 1988 enregistre le premier dépassement à la normale, qui sera ensuite suivi presque chaque année par un écart positif à la moyenne annuelle. A partir de 2014, la température moyenne annuelle de Sète enregistre chaque année un nouveau record de +1°C d'écart à la normale (figure 13.b). Les mois de l'été sont les plus affectés par l'augmentation de la température, avec par exemple l'année 2003 marquée par 3 mois de canicule à plus de 4°C au-dessus des normales (figure 13.c).

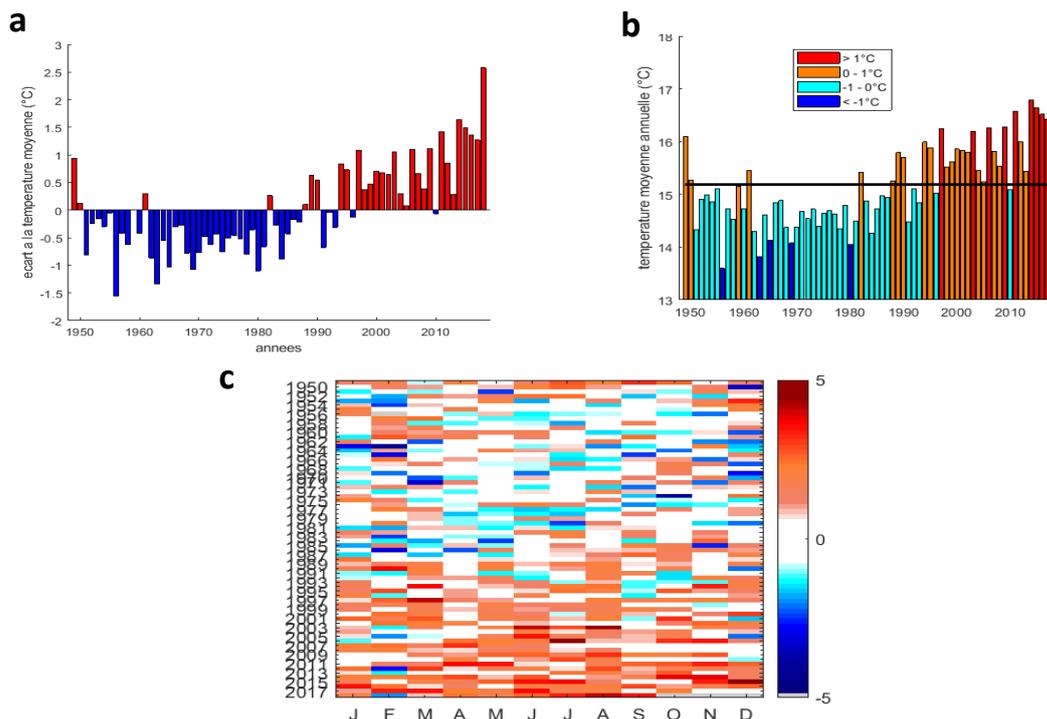


Figure 13 : Ecart à la température moyenne annuelle (a) ; Température moyenne annuelle colorié en fonction de l'écart à la température moyenne annuelle représentée en trait noir (b) ; Répartition des écarts à la température moyenne mensuelle. La moyenne est calculée sur la période [1949-2018].

❖ Variabilité interannuelle du climat

La figure 14 propose les deux méthodes de classification de climats d'Emberger et de Gaussen :

- **Classification d'Emberger**

Avec un indice de sécheresse estivale S moyen de 2.7 ± 1.8 et un quotient pluvio-thermique Q moyen de 78 ± 28 , le climat moyen de Sète correspond à un *climat subhumide*, à la limite du semi-aride (gros point noir sur la figure 15.a).

- **Classification de Gaussen :**

Avec un indice xérothermique X moyen de 104 ± 40 et 3.8 mois secs consécutifs, le climat moyen de Bastia correspond à un *climat thermoméditerranéen* (trait noir sur la figure 8.b).

Les résultats obtenus pour chacune des deux classifications montrent une très importante variabilité interannuelle du microclimat local, évoluant entre le climat subdésertique et mésoméditerranéen (figure 14.b), ou encore du climat semi-aride au climat peu humide (figure 14.a)

Depuis 1949, en moyenne l'indice de sécheresse estivale et l'indice pluvio-thermique diminuent, comme le montre la figure 14.a où l'on remarque que la variabilité interannuelle de ces deux indices diminue considérablement, représentés par les croix de couleur allant du bleu au magenta en passant par le rouge. L'indice xérothermique X est à 60% au-dessus de la moyenne des 101 jours secs dont 20% dépassent le seuil des 150 jours secs pendant la saison sèche.

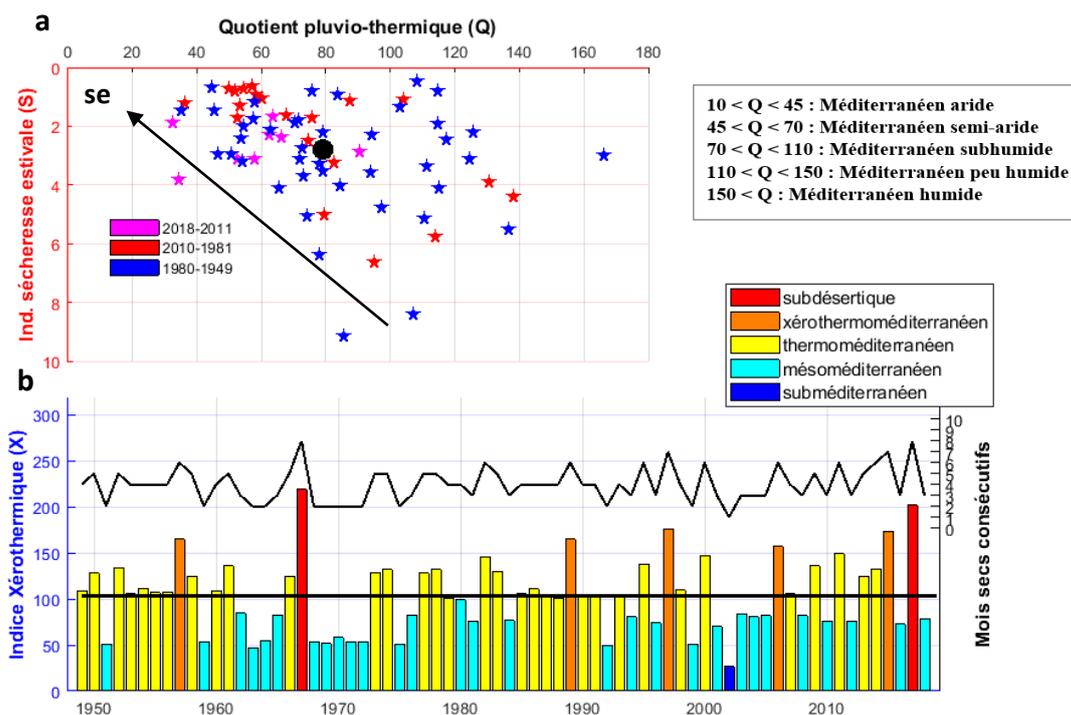


Figure 14 : Variations interannuelles du climat à Sète selon les indices de sécheresse estivale et de quotient pluvio-thermique d'Emberger en haut (a) et l'indice xérothermique de Gaussen ainsi que le nombre de mois secs consécutifs dans l'année en bas (b).

❖ HPE et période de sécheresse

Les évènements de précipitation extrêmes sont rares, 4 seulement ont été enregistrés depuis 1986 sur 13 depuis 1949 (figure 15). Ils sont répartis à 80 % entre hiver et automne et se raréfient ces dernières années.

Le nombre de jours secs consécutifs augmente depuis 1990 sans pour autant faire varier le nombre de jours secs à l'année.

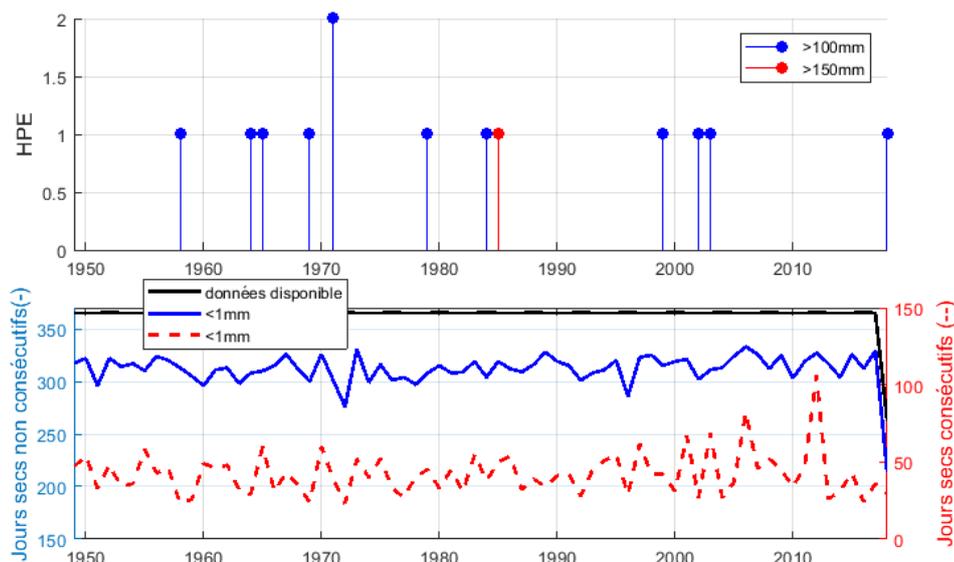


Figure 15 : En haut, Identification des HPE (High precipitation event) de plus de 100 mm (point bleu) et 150 mm (point rouge) depuis 1949. En bas, décompte des jours secs consécutifs (trait rouge) et non-consécutifs (trait bleu) par année ainsi que du nombre de données disponibles par an depuis 1949 (trait noir).

❖ Bilan

Le climat moyen à Sète est de type thermoméditerranéen / subhumide à la limite du semi-aride. De manière générale, à l'exception de quelques années particulières, les étés sont plus secs et le quotient pluvio-thermique diminue depuis 1949 (figure 10 et 14). Les HPE se raréfient et le nombre de jours secs consécutifs augmente significativement depuis 1990 jusqu'à 100 jours secs consécutifs en 2012, très loin devant la moyenne à 50 jours (figure 15).

La température moyenne annuelle augmente significativement depuis 1949, atteignant depuis 2015 des écarts de +1.5°C à la normale sur 70 ans, et +3°C par rapport aux années 50. Les mois de février et décembre sont les seuls à conserver parfois un écart négatif de température aux normales mensuelles, l'ensemble des autres mois de l'année sont se réchauffement globalement (figure 13).

Variation précipitations saisonnières globale automne/printemps

Cumul en plusieurs jours

Le pourcentage de précipitation estivale peut atteindre plus de 25% du cumul annuel, mais la majorité des pluies se produisent entre l'hiver et l'automne plus ou moins de manière cyclique, comme par exemple l'ascendance des pluies d'automne entre 1990 et 2010 précédés par des pluies principalement d'hiver entre 1970 et 1990 (figure 12). Les HPE sont réparties principalement entre les mois d'octobre et mars.

3.3 Oletta - Estuaire de Fiume Santu

❖ Climat moyen

D'après la définition du climat de Gaussen, avec un indice xérothermique moyen de 93 et 3.4 mois secs consécutifs, le climat de Sète relève d'un climat de **type mésoméditerranéen** (figure 16.a)

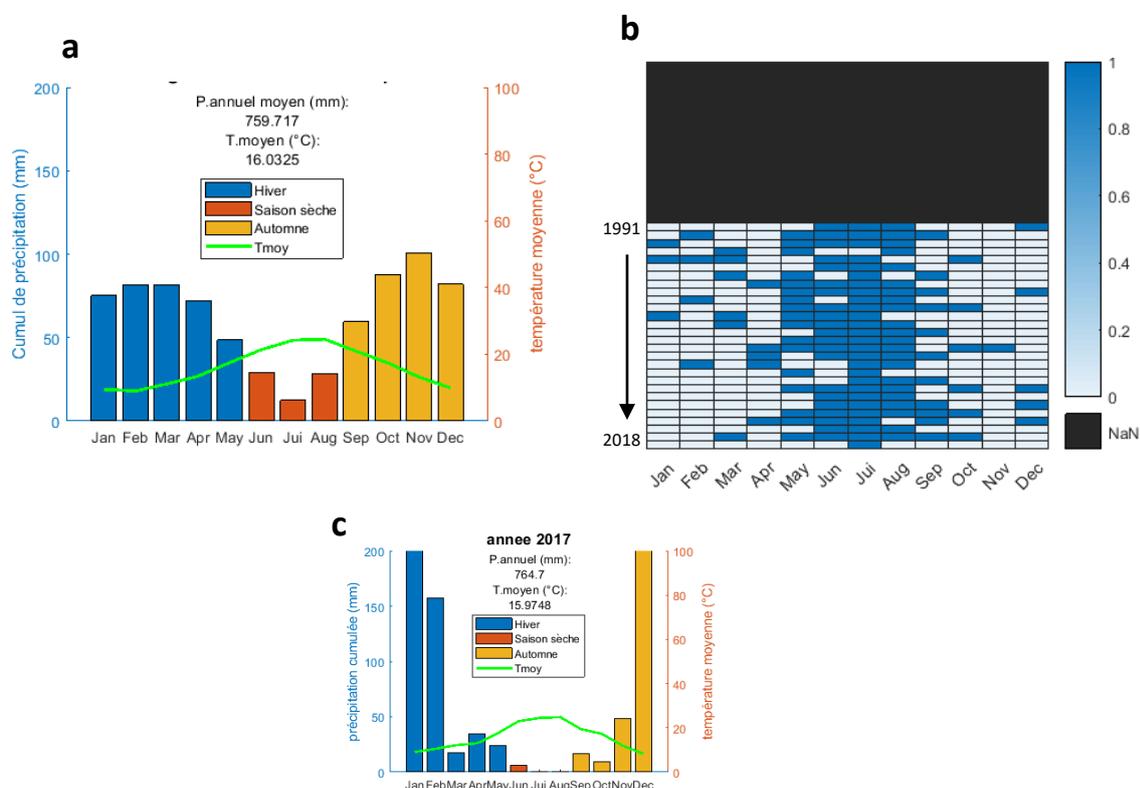


Figure 16 : Diagramme ombrothermique moyen d'Oletta sur l'échantillon [1991-2018] (a), répartition mensuelle et annuelle des mois secs en bleu foncé depuis 1991 (b) et diagramme ombrothermique de l'année 2017 (c).

La sécheresse est répartie entre mai et septembre avec en moyenne 4.5 +/-1.5 mois secs par an (figure 16.b). L'année 2017 fût particulièrement sèche, avec presque 8 mois secs consécutifs entre mars et octobre inclus (figure 16.c).

❖ Précipitations et températures

On remarque sur la figure 17 que le pourcentage de précipitations d'hiver et d'automne se répartissent plus de 80% du cumul annuel, ceci de manière cyclique. Effectivement, après une prédominance des pluies d'hiver de 1971 à 1991, ce sont les pluies d'automne qui prennent l'ascendance à plus de 50% du cumul annuel et ceci jusqu'en 2010 (courbe orange), puis à nouveau les pluies d'hiver (courbe bleue). Les précipitations d'été sont également de plus en plus faibles en se rapprochant de 2018. Le cumul de précipitation annuel est très fluctuant et évolue autour de la valeur moyenne 732 +/- 217 mm.

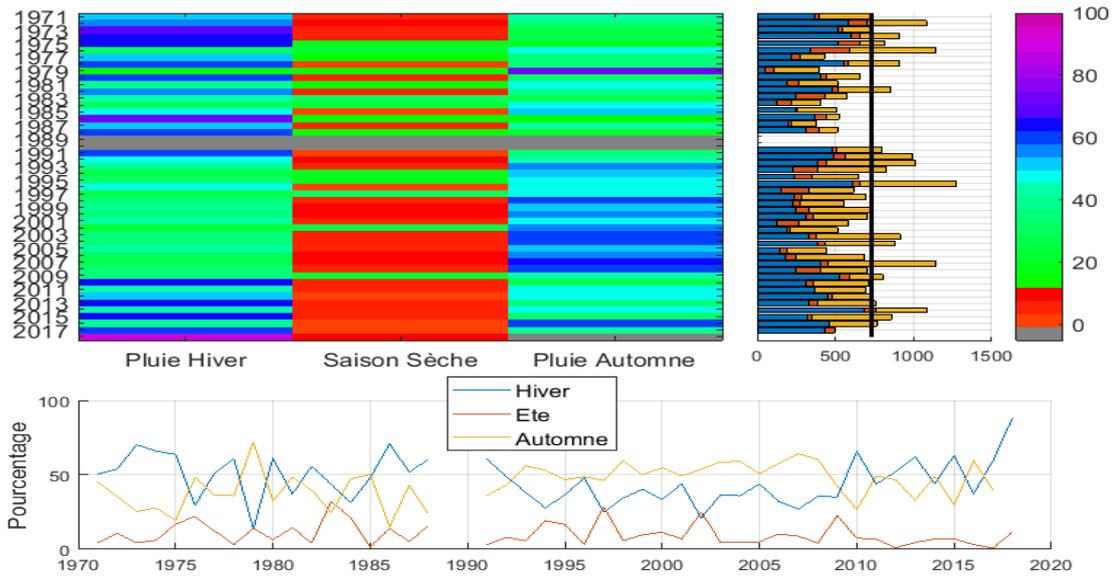


Figure 17 : Pourcentage saisonnier de précipitation annuelle depuis 1971 sous la forme d'un heat-map (en haut à gauche) et de fonctions linéaires (en bas). Le cumul de précipitation annuel et saisonnier ainsi que la moyenne sur 48 ans de données est présentée à droite

La figure 18 montre les variations de précipitation mensuelles à Oletta, notamment la diminution des précipitations sur les 3 mois de l'été depuis 1971. Nous remarquons également la longue période sèche de 2017 (courbe rouge) qui n'a pas dépassé les 35 mm de pluie pendant de mars à octobre. Les campagnes de prélèvement du projet FLUME réalisées en mars et septembre 2017 sur l'estuaire de Fiume Santu correspondent à une période particulièrement sèche de l'estuaire.

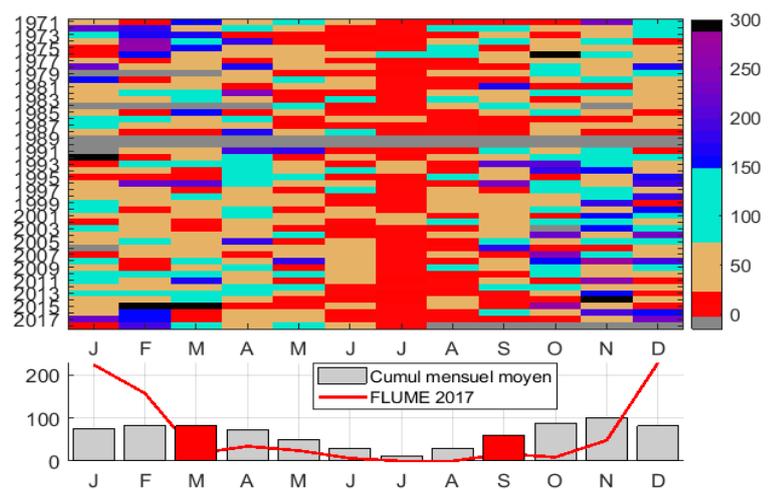


Figure 18 : Distribution des cumuls de précipitation mensuels (en haut) ainsi que les moyennes mensuelles (en bas) depuis 1971 à aujourd'hui. La coloration rouge permet de mettre en lumière les précipitations de l'année 2017 et des mois de prélèvements sur site lors de la campagne FLUME 2017.

Les températures moyennes annuelles à Oletta ne montrent pas de tendance à l'augmentation, la moyenne étant calculée sur seulement 28 ans de données (figure 19.a). La température moyenne à Oletta est de 16 °C pouvant atteindre des pics à 17.2°C en 2003 contre seulement 14.8°C en 2010 (figure 19.b). Le mois de février se refroidit atteignant -3°C d'écart par rapport à la moyenne mensuelle sur 28 ans (figure 19.c)

Si l'on calcule l'écart à la normale sur 28 ans seulement à Bastia, on retrouve la même période [2005-2015] avec une température moyenne annuelle inférieure à la normale contrairement aux résultats obtenus avec une normale sur 69 ans (figure 20).

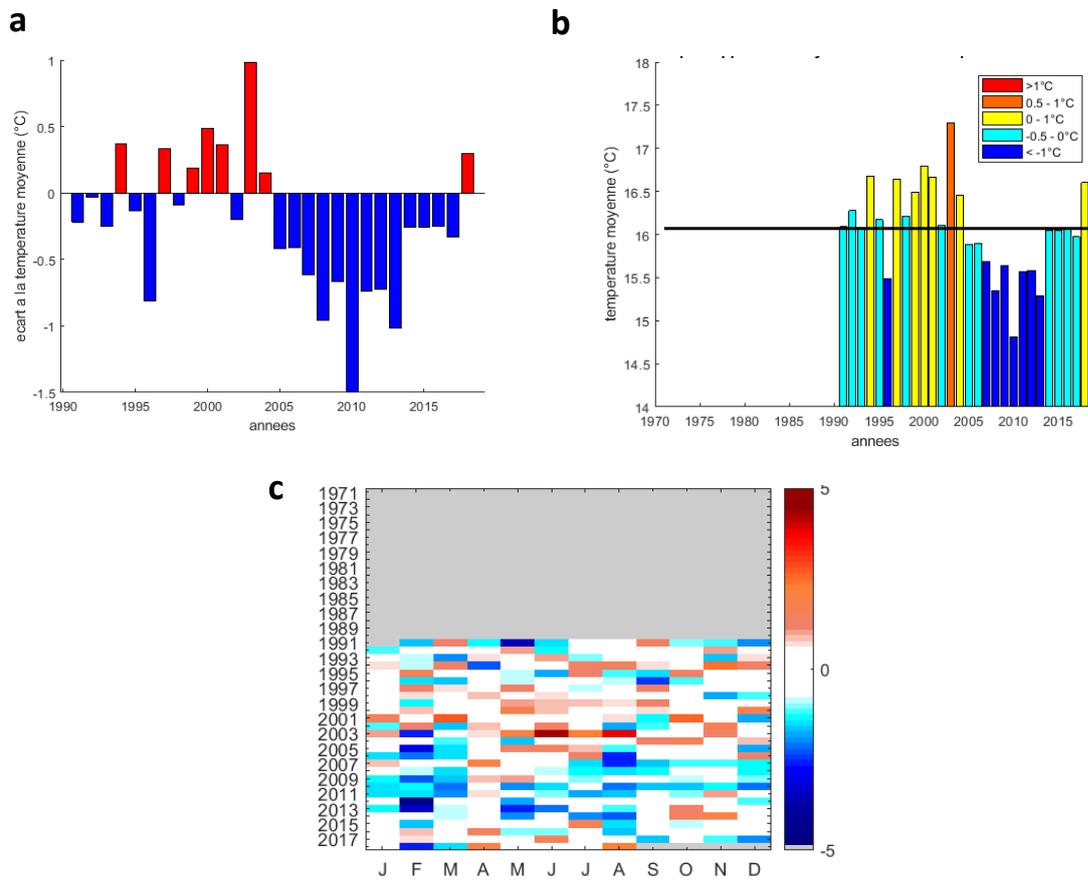


Figure 19 : Ecart à la température moyenne annuelle (a) ; Température moyenne annuelle colorié en fonction de l'écart à la température moyenne annuelle représentée en trait noir (b) ; Répartition des écarts à la température moyenne mensuelle. La moyenne est calculée sur la période [1991-2018].

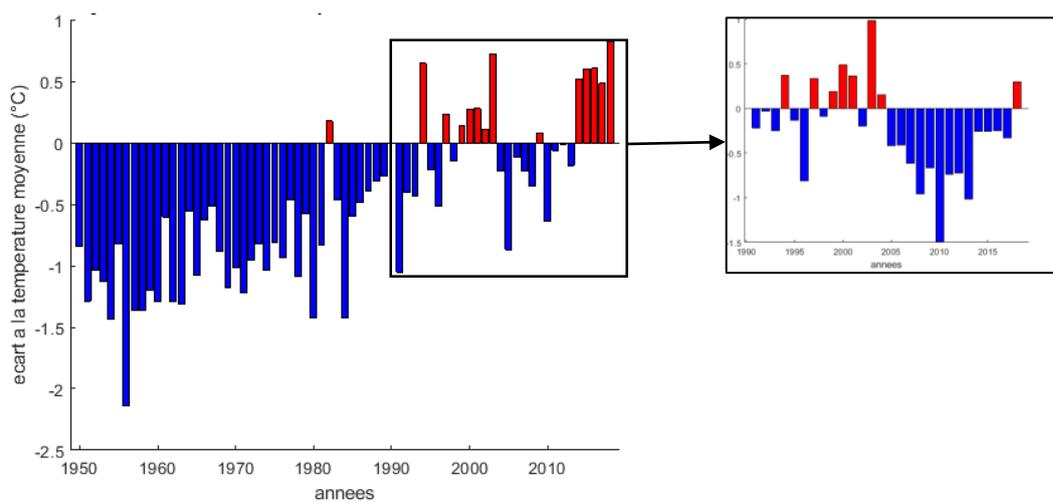


Figure 20 : Ecart à la température moyenne à Bastia à gauche calculé sur la même période [1991-2018] qu'à Oletta à droite.

❖ Variabilité interannuelle du climat

● **Classification d'Emberger**

Avec un indice de sécheresse estivale S moyen de 2.1 ± 1.5 et un quotient pluvio-thermique Q moyen de 82 ± 23 , le climat moyen de Sète correspond à un *climat subhumide* (gros point noir sur la figure 21.a).

● **Classification de Gaussen :**

Avec un indice xérothermique X moyen de 92 ± 24 et 3.4 mois secs consécutifs, le climat moyen de Bastia correspond à un *climat mésoméditerranéen* (trait noir sur la figure 21.b).

Les résultats obtenus pour chacune des deux classifications montrent une faible variabilité interannuelle de l'indice xérothermique mais tout de même importante pour les indices d'Emberger, évoluant du climat aride au climat peu humide (figure 15.a).

Depuis 1991 la variabilité interannuelle de l'indice de sécheresse estivale et l'indice pluvio-thermique diminuent considérablement (figure 15.a), avec depuis 2011 une forte concentration autour des faibles valeurs de S et Q (croix magenta) se rapprochant ainsi du climat semi-aride. L'indice xérothermique varie entre 30 et 150 et les mois secs consécutifs varient de 1 à 6 (figure 21.b).

Le climat à Oletta se transforme petit à petit vers un climat sec en été (S) avec une faible pluviométrie et d'importants écarts de température annuels (Q) tout en conservant environ 100 jours secs parmi les mois secs consécutifs à l'année (X).

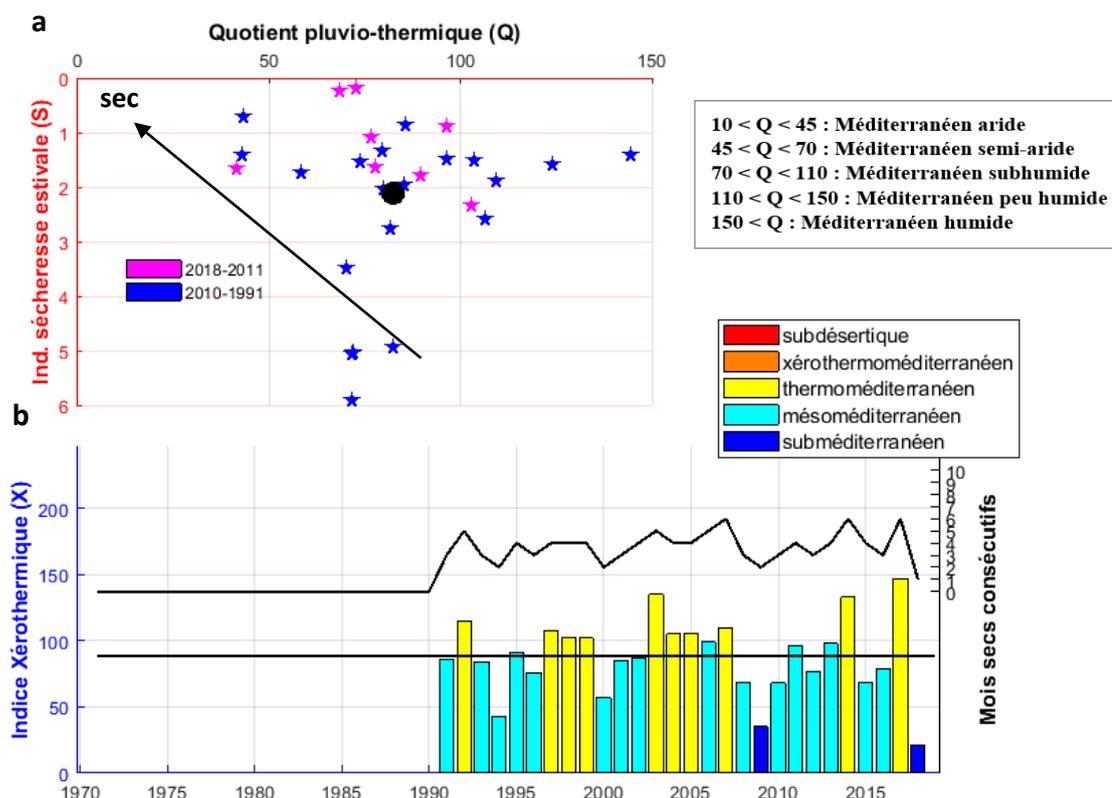


Figure 21 : Variations interannuelles du climat à Oletta selon les indices de sécheresse estivale et de quotient pluvio-thermique d'Emberger en haut (a) et l'indice xérothermique de Gaussen ainsi que le nombre de mois secs consécutifs dans l'année en bas (b).

❖ HPE et période de sécheresse

Les évènements de précipitation extrêmes s'intensifient depuis 2005 avec environ un HPE supérieur à 100mm par an, dont 4 HPE supérieurs à 150 mm en 10 ans seulement (figure 22).

Le nombre de jours secs consécutifs augmente depuis 1995, avec des pics réguliers au-dessus de 70 jours atteignant le record jamais enregistré de 99 jours en 2017 (figure 22). Le nombre de jours secs à l'année reste quant à lui assez constant avec des minimums atteints les années où de nombreuses données étaient manquantes (trait noir)

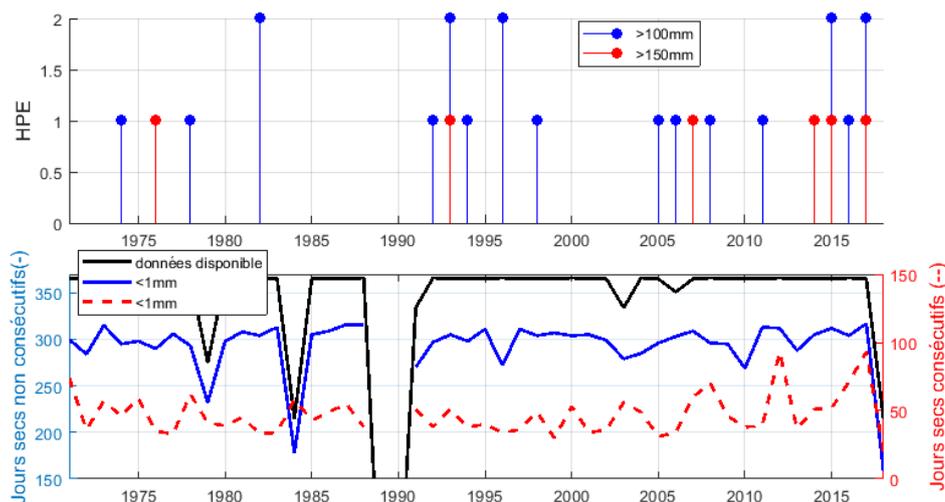


Figure 22 : En haut, Identification des HPE (High precipitation event) de plus de 100 mm (point bleu) et 150 mm (point rouge) depuis 1971. En bas, décompte des jours secs consécutifs (trait rouge) et non-consécutifs (trait bleu) par année ainsi que du nombre de données disponibles par an depuis 1971 (trait noir).

❖ Bilan

Le climat moyen à Oletta est de type mésoméditerranéen / subhumide (figure 16), mais depuis 20 ans les indices d'Emberger (figure 21) indiquent une intensification des sécheresses estivales S avec une augmentation des écarts de température entre hiver et été avec une diminution du cumul de précipitation annuel Q. Les premières conséquences sont l'augmentation des périodes de sécheresses, avec seulement 48 jours de pluie répartis dans l'année 2017 dont 100 jours de sécheresse consécutifs. Cette même année a connu les records de sécheresse et de pluviométrie extrême avec 8 mois à tendance sèche consécutifs mais également 2 HPE de plus de 100 mm dont un dépassant les 150 mm le 02/12/2017 (figure 22).

La température moyenne annuelle est calculée seulement depuis 1991, ce qui ne permet pas de déceler de tendance à l'augmentation, tout comme à Bastia si l'on se limite seulement aux années 1991 à 2018 (figure 19 et figure 20). Il est donc important de bien prendre connaissance des données disponibles et des normales calculées afin de pouvoir comparer différentes stations entre elles.

Les précipitations sont majoritairement présentes en automne et hiver, avec une dominance cyclique d'une saison ou de l'autre comme sur la période [1971-2010] (figure 17).

4 Synthèse

4.1 Méthodologie

La délimitation des saisons peut être sujet à discussion au vu des diverses définitions possibles. La définition de Gaussen & Bagnouls est très largement utilisée pour définir les mois secs mais il existe également une classification développée par Walter (1955) délimitant également les mois à **tendance sèche** vérifiant $P < 3 * T$. Cela explique les nuances apportées aux observations faites sur la limite des mois secs et des mois humides.

Les indices de sécheresse d’Emberger et de Gaussen, sécheresse estivale S et pluvio-thermique Q et xérothermique X, sont calculés en méditerranée afin de rendre compte du développement biologique local en fonction des conditions climatiques, couramment appelé le bioclimat (Lebourgeois 2006). Afin de vérifier la bonne cohérence des 3 indices, un graphique regroupant les résultats pour chacun des trois indices a été établi pour Bastia chaque année depuis 1950 (figure 23).

S et Q semblent évoluer avec une certaine proportionnalité jusqu’à $Q=140$, à partir de quoi la tendance ne se vérifie plus. Ceci peut s’expliquer par une occurrence importante de HPE supérieurs à 100 et 150 mm, à 80% en automne, affectant ainsi le coefficient pluvio-thermique Q qui augmente considérablement sans affecter l’indice de sécheresse estivale S.

L’indice xérothermique suit les mêmes tendances que les deux indices d’Emberger S et Q. En effet, les années de sécheresse selon Emberger, représentées par les minimas de Q et S (en bas à gauche du graphique), correspondent à $X > 150$ soit un climat aride/subdésertique. A l’inverse, les années humides selon Emberger (en haut à droite du graphique) correspondent à $X < 60$ soit un climat peu humide/mésoméditerranéen. Enfin les valeurs intermédiaires d’Emberger cohabitent avec un indice Xérothermique intermédiaire également, en vert et bleu sur le graphique.

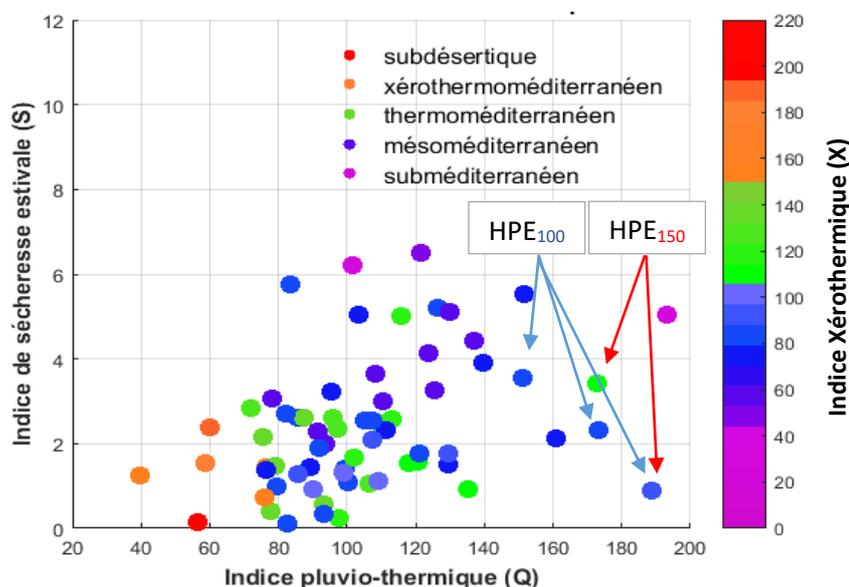


Figure 23 : Corrélation entre les 3 indices bioclimatiques S, Q et X obtenus à Bastia sur la période [1950-2018]. Les HPE supérieurs à 100 mm (flèche bleue) et supérieurs à 150 mm (flèche rouge) sont mentionnés pour $Q > 140$.

En prenant en compte l’occurrence des HPE comme présentée ci-dessus, la corrélation entre les trois indices obtenue semble satisfaisante, comme le montre la figure 23. La complémentarité

d'information fournie par les trois indices bioclimatiques, ainsi que la bonne corrélation des résultats obtenus entre eux, permet une caractérisation complète de la microrégion du point de vue du microclimat et de la complexité du système biologique étudié.

Les HPE ne sont pas le seul indicateur de forte pluie puisqu'ils ne prennent pas en compte le cumul de pluie sur plusieurs jours consécutifs. Le cumul de pluie sur 2 ou 3 jours consécutifs permettrait d'obtenir des résultats plus précis sur le lien entre précipitation et indices de sécheresse tels que S ou Q. Afin d'en obtenir une première approximation, il est possible d'analyser les graphiques « heat-map » de cumul de précipitation mensuelle (figure 6, 12, 18)

D'autres indicateurs de sécheresse existent (SWI, SPI, et peuvent être calculés selon des indicateurs climatique, hydrologique, d'humidité du sol (OMM 2016) mais n'ont pas été traités ici étant donné l'objectif initial de proposer une méthodologie simple, transposable et rapide de caractérisation du contexte hydro-climatique affectant les écosystèmes locaux.

4.2 Résultats

Par souci de simplicité, seuls les résultats généraux sur l'ensemble des données disponibles ont été présentés ci-dessus, cependant d'autres graphiques et variables sont disponibles et peuvent aider à obtenir des résultats plus spécifiques (voir annexe 6.5). Par exemple, les écarts de cumul de précipitation et de température à la moyenne peuvent être calculés selon des normales à X années et pour Y mois déterminés par l'utilisateur.

La comparaison des résultats obtenus sur les trois stations de Bastia, Sète et Oletta permet de montrer des tendances globales ou des exceptions locales en méditerranée. Chacune des 3 microrégions est unique de par ses spécificités environnementales :

La microrégion de Bastia est orientée Est, entourée par les montagnes étroites du cap Corse au Nord et celles plus hautes et imposantes à l'Ouest avec une plaine dite « orientale » au Sud comprenant la lagune de Biguglia.

La microrégion d'Oletta est orientée Nord-Ouest, entourée intégralement de montagnes entre le cap Corse et le désert des agriates et débouche sur l'important et profond golfe de Saint-Florent. La microrégion de Sète est orientée Sud-Est, entourée au Sud par la mer et par un mélange de plaine continentale, lagunes et le début du Massif-Central.

- On remarque des tendances communes aux 3 microrégions.

Depuis les années 2010 les indices de sécheresse estivale S et de quotient pluvio-thermique Q des trois stations étudiés obtiennent des valeurs particulièrement faibles typiques des climats semi-arides et une très faible variation interannuelle. Ceci qui indique une tendance actuelle d'amplification de la sécheresse estivale et de l'amplitude thermique entre hiver et été ainsi qu'une baisse du cumul de précipitations annuel. L'indice xéothermique X quant à lui ne montre pas de tendance aussi marquée pour ces dernières années, mais montre l'importante variabilité des climats dits méditerranéens au sein d'une même microrégion. L'ensemble des sous-climats méditerranéens défini selon Bagnouls et Gaussen (1952) ont été recensés à Bastia sur la période [1950-2018], allant du climat subdésertique au climat subméditerranéen.

L'augmentation constante de la température moyenne annuelle, atteignant +1.5°C d'écart à la normale à 70 ans depuis 2015, est remarquable sur les stations ayant plus de 60 années de données (Bastia et Sète), contrairement à Oletta où seulement 28 ans sont disponibles. Les variations de température à Bastia et Oletta sont cohérentes en prenant cette fois-ci une

normale à 28 ans pour les deux stations, ce qui souligne l'importance du jeu de données utilisé.

Les cumuls de précipitation les plus importants apparaissent en hiver et automne, avec une prédominance marquée à Bastia, Sète et Oletta pour la saison d'automne entre 1990 et 2010. Nous remarquons également l'augmentation des périodes de sécheresse annuelles avec un maximum de jours secs consécutifs se rapprochant régulièrement des 100 jours secs alors que la moyenne est de 50 jours seulement et que le cumul de jours secs annuels varie très peu entre 300 et 320 jours secs par an pour l'ensemble des 3 stations. Les HPE sont plus fréquents (sauf à Sète) et apparaissent majoritairement en automne.

Sous couvert de nouveaux résultats similaires, nous pouvons hypothétiser d'une tendance cyclique des précipitations en Méditerranée avec une augmentation de la température moyenne annuelle ainsi que l'augmentation des périodes de sécheresse et de la hausse de l'amplitude thermique entre hiver et été au sein d'une année où le climat moyen reste plus ou moins constant.

- Pourtant chacune des microrégions a ses propres spécificités.

A Sète, la sécheresse est précoce et affecte régulièrement les mois d'hiver avec des saisons moins bien marquée qu'en Corse, notamment en saison sèche où le cumul de précipitation dépasse facilement les 20%. A Oletta les HPE sont très fréquents depuis 2011, presque chaque année tandis que Bastia n'en a subi aucun sur cette même période bien qu'à seulement 18 km à l'Est, derrière le col de Teghime à 536 m d'altitude. Attention cependant à ne pas prendre de conclusion précoce, sachant que le cumul de précipitation sur 2 ou 3 jours n'a pas été traité ici mais pourrait certainement apporter de précieuses informations. A Bastia le climat est plus sec avec un indice Xérothermique maximal de 200 jours secs et un indice de sécheresse estivale régulièrement en dessous de 1, faisant du climat bastiais un climat parfois aride mais surtout très variable.

Tout comme le prévoit le rapport de synthèse de 2007 du GIEC (GIEC 2007) les événements extrêmes sont exacerbés, les températures moyennent augmentent mais le climat moyen reste constant. Il serait intéressant d'étudier un plus large panel de variables climatiques tels que le vent, l'ensoleillement, l'évapotranspiration afin de pouvoir complexifier les résultats et ainsi affiner les recherches. Pour aller plus loin il serait intéressant d'étudier les liens entre les courants atmosphériques (NAO), les courants océaniques (NINO, NINA), et les variables abiotiques locales telles que les précipitations et les températures. Cependant cela relève d'un traitement global qui reste difficile à corrélér avec la climatologie très locale étudiée ici.

4.3 Approche bioclimatique

L'analyse du contexte hydro-climatique et l'application d'indices bioclimatiques pour chaque microrégion permet une meilleure compréhension des variations hydro-biologiques puis du fonctionnement écologique des écosystèmes côtiers.

En milieu terrestre l'étude des climagrammes (figure 24 en annexe) est un excellent outil de caractérisation de la distribution des espèces végétales en fonction du quotient pluvio-thermique Q et des températures moyennes minimales du mois le plus froid par année. Certes on pourrait imaginer une même relation pour les espèces végétales marines (phytoplancton, herbiers de posidonie) mais au vu des nombreux facteurs abiotiques conditionnant à leur développement, l'approche par climagramme ne pourrait pas convenir.

Il est également intéressant de comparer précisément et facilement de façon interannuelle les résultats des cumuls de précipitations et de températures grâce aux graphiques « heatmap ». Ces

traitements permettraient d'accéder à des éléments d'interprétation de l'évolution des fonctions écosystémiques et de ces composantes (cycle de nutriments, biomasse et production primaire, dynamique des communautés d'organismes, réseau trophique). L'approche bioclimatique pourrait être utilisée afin de déterminer la vulnérabilité des systèmes côtiers face aux risques associés aux changements globaux et de pression anthropique : l'eutrophisation et épisodes de malaïgue⁶ (Hamon et al. 2003), les sursalures/dessalures, et la gestion hydrique. Par exemple, en milieu côtier :

- L'eutrophisation est provoquée par un excès d'apport nutritifs qui peut être amplifiée par l'augmentation des pluies intenses lors du lessivage des terres et surface urbaine.
- Les sursalures suite à de fortes chaleurs, de faibles cumuls de précipitation et l'évaporation des plans d'eau, entraînent des changements de communautés végétales marines
- La malaïgue engendrée lors des périodes de forte chaleur et de vent faible

Le traitement des données à l'échelle des microrégions permettrait d'adapter les stratégies de gestion hydrologique et environnementale à petite échelle selon la vulnérabilité et les risques liés à la conservation de la biodiversité, la fonctionnalité des écosystèmes côtiers et en particulier les milieux de transition, le maintien des usages.

⁶ La malaïgue est un phénomène de mortalité d'organismes en milieu lagunaire suite à l'appauvrissement en O₂ dissous de la colonne d'eau, conséquence de la consommation d'O₂ lors de la décomposition de la matière organique en excès. Elle est favorisée par des températures élevées ainsi que le faible renouvellement de la masse d'eau lors de longues périodes sans vent.

5 Bibliographie

- Aidoud, Ahmed. 2000. "Fonctionnement Des Ecosystemes Mediterraneens."
- Bagnouls, F., and H. Gaussen. 1957. "Les Climats Biologiques et Leur Classification." *Annales de Géographie* 66 (355): 193–220. <https://doi.org/10.3406/geo.1957.18273>.
- Barthlott, Christian, Bianca Adler, Norbert Kalthoff, Jan Handwerker, Martin Kohler, and Andreas Wieser. 2016. "The Role of Corsica in Initiating Nocturnal Offshore Convection." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. <https://doi.org/10.1002/qj.2415>.
- Centre climatologique de l'Herault. 2014. "Analyse de L'Évolution Climatique Sur L'Aire Du Pays Cœur D'Hérault," 1–22.
- Daget, Philippe. 1977. "Le Bioclimat Méditerranéen: Caractères Généraux, Modes de Caractérisation." *Vegetatio* 34 (1): 1–20.
- Fillipi, Jean-Baptiste, F. Morandini, Jacques-Henri Balbi, and David Hill. 2009. "Discrete Event Front-Tracking Simulation of a Physical Fire-Spread Model." *SIMULATION, SAGE Publications* 86 (10), p. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/0037549709343117>.
- Gaussen, Henri, and F Bagnouls. 1952. "L'Indice Xérothermique," 10–16.
- GIEC. 2007. *Changements Climatiques ; Rapport de Synthèse 2007*.
- Giorgetti, Gérard, Claude Bruno, Gérard Dupré, and Jean-Paul Giorgetti. 2001. "Chi Tempu Face ?" 2001. <http://www.sudoc.abes.fr/DB=2.1/SRCH?IKT=12&TRM=069087741>.
- Giorgi, Filippo, and Piero Lionello. 2008. "Climate Change Projections for the Mediterranean Region" 63: 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>.
- Guiot, Joël. 1986. "Sur La Détermination de Régions Climatiques Quasi-Homogènes" 2: 15–34.
- Hamon, Pierre-yves, Catherine Vercelli, Yves Pichot, Franck Lagarde, Patrik Le Gall, and Jocelyne Oheix. 2003. "Les Malaïgues de L'étang de Thau."
- Hoff, Corine. 2007. "Les Écosystèmes Forestiers Méditerranéens Face Aux Changements Climatiques," 1–15.
- Houérou, Henri-Noël Le. 1992. "Relations Entre La Variabilité Des Précipitations et Celle Des Productions Primaire et Secondaire En Zone Aride."
- Lambert, Dominique, Sébastien Argence, and Evelyne Richard. 2006. "MOUNTAIN METEOROLOGY IN THE MIDDLE OF THE WESTERN MEDITERRANEAN BASIN: STUDY OF AN INTENSE RAINFALL EPISODE IN CORSICA, 14 SEPTEMBER 2006."
- Lebourgeois, F. 2006. "Les Indices Bioclimatiques," 1–17.
- Martin, E, and F Habets. 2011. "Projet ClimSec Impact Du Changement Climatique En France Sur La Sécheresse et L'Eau Du Sol Rapport Final Du Projet," no. 4: 1–72.
- Mokhtari, N, R Mrabet, P Lebailly, and L Bock. 2013. "Spatialisation Des Bioclimats , de L'Aridité et Des Étages de Végétation Du Maroc," 50–66.
- OMM. 2016. *Manuel Des Indicateurs et Indices de Sécheresse*.
- Ortega-gómez, Tatiana, Miguel A Pérez-martín, and Teodoro Estrela. 2018. "Science of the Total Environment Improvement of the Drought Indicators System in the Júcar River" 611. Elsevier

B.V.: 276–90. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.250>.

Pons, Armand, and Pierre Quézel. 1998. “À Propos De La Mise En Place Du Climat Méditerranéen.” *Comptes Rendus de l’Académie Des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science* 327 (11): 755–60. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S1251-8050\(99\)80047-0](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S1251-8050(99)80047-0).

Rameau, J-C, D Mansion, G Dumé, and C Gauberville. 2008. “Flore Forestière Française, Région Méditerranéenne.” *Institut Pour Le Développement Forestier ; Ministère de L’agriculture et de La Pêche*. <https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=P282nNjQq50C&oi=fnd&pg=PA7&dq=classification+des+bioclimats+mediterranéens&ots=T1yUtouU3u&sig=-d1eoaygYm-k0aDIFEZQFB1yR-w#v=onepage&q=classification+des+bioclimats+mediterranéens&f=false>.

Ricard, Didier, Véronique Ducrocq, and Ludovic Auger. 2012. “A Climatology of the Mesoscale Environment Associated with Heavily Precipitating Events over a Northwestern Mediterranean Area.” *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 51 (3): 468–88. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-017.1>.

Rome, Sandra, and Jean-paul Giorgetti. 2007. “La Montagne Corse et Ses Caractéristiques Climatiques,” 39–50.

Scheffknecht, P., E. Richard, D. Lambert, and inconnu inconnu. 2017. “Climatology of Heavy Precipitation over Corsica in the Period 1985–2015.” *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. <https://doi.org/10.1002/qj.3140>.

Somot, Samuel. 2005. “Modélisation Climatique Du Bassin Méditerranéen: Variabilité et Scénarios de Changement Climatique,” 347.

Thomas, F.Stocker, Qin Dahe, Plattner Gian-Kasper, and M.B Tignor Melinda. 2013. *IPCC: CLIMATE CHANGE 2013*.

Vennetier, M, B Vila, E Y Liang, F Guibal, C Ripert, and O Chandieux. 2011. “Impact Du Changement Climatique Sur La Productivité Forestière et Le Déplacement D’une Limite Bioclimatique En Région Méditerranéenne Française.”

6 Annexes

6.1 Climagramme d'Emberger

La figure 24 nous montre quelques exemples de détermination du type de bioclimat

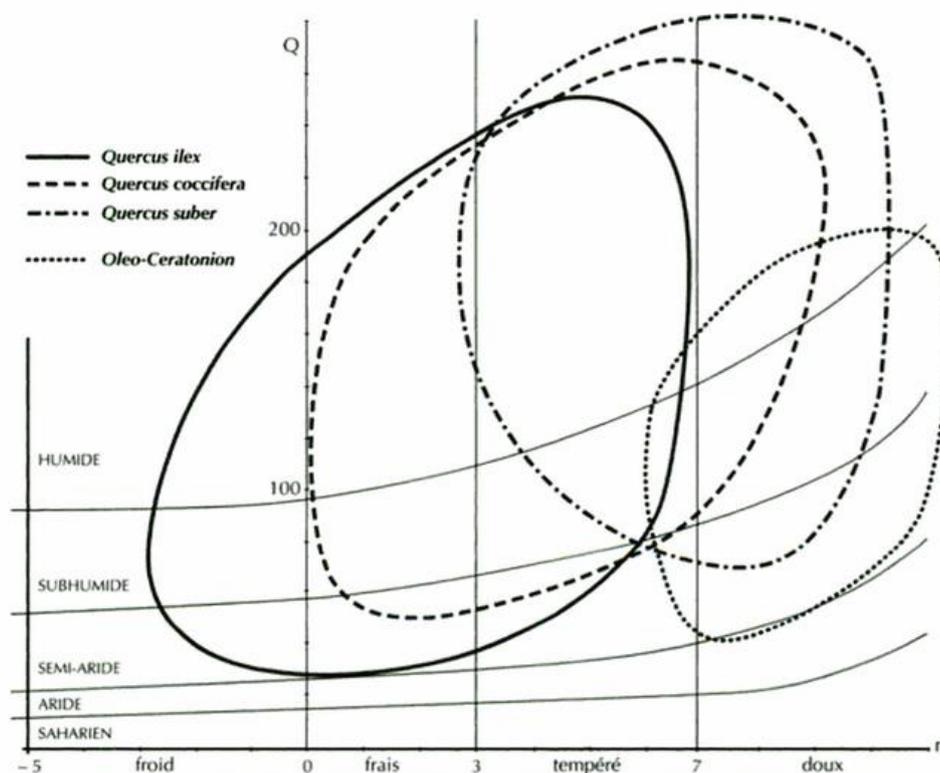


FIG. 1 – Climagramme montrant les différents bioclimats et leurs variantes, ainsi que l'aire de répartition de trois Chênes sclérophylles et de la végétation thermoméditerranéenne de l'*Oleo-Ceratonion* (Quézel, 1976).

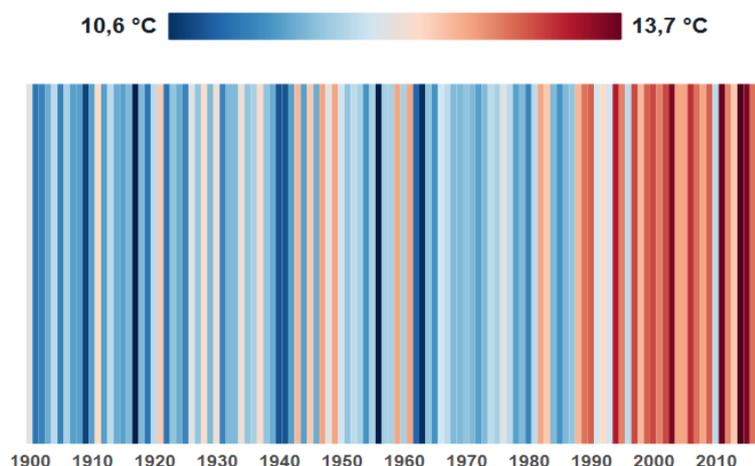
Figure 24 : Climagramme montrant les différents bioclimats ainsi que l'aire de répartition des trois Chênes sclérophylles et de la végétation thermoméditerranéenne de l'*Oleo-Ceratonion* (Hamon et al. 2003)

6.2 Hausse des températures moyennes en France (« Le Monde » 08 septembre 2018)

Données compilées Météo France- Graphiques, « *warming stripes* » (Ed Hawkins climatologue)

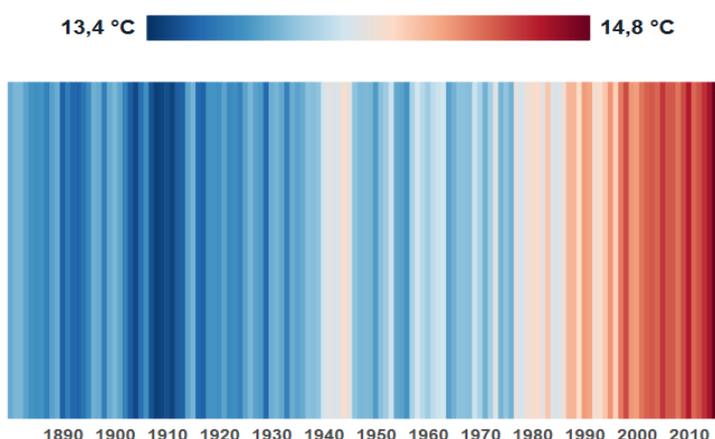
Depuis parfois plus d'un siècle, à partir de ces relevés, Météo France a calculé une moyenne annuelle de température sur tout le territoire. Si elle a le défaut de lisser les relevés quotidiens, l'utilisation de la moyenne permet de faire ressortir des tendances sur le temps long, particulièrement pour les stations météorologiques qui disposent des relevés les plus anciens. 1956 ressort comme une année particulièrement froide.

Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la température moyenne par an en France métropolitaine sur une période de 117 ans, de 1900 à 2017.



A l'échelle de la planète, les travaux des météorologues permettent d'établir l'évolution de la température, fondée sur les travaux de l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA), dont les données remontent jusqu'en 1880.

Ce graphique représente l'évolution de la température moyenne par année à la surface du globe sur une période de 137 ans, de 1880 à 2017.



Pour cette période de cent trente-sept ans, il est également calculé l'écart de la température annuelle avec la moyenne de la température du XX^e siècle entier, de 1901 à 2000. Cette moyenne s'établit à 13,9 °C, et aucune année depuis 1980 ne s'est approchée de cette température, soit depuis 38 ans. A partir des années 2000, la température moyenne la plus faible a été 14,44 °C, soit tout de même 0,54 °C de plus.

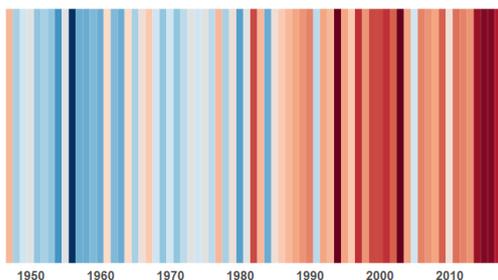
L'année 2017, avec 14,75 °C, est ainsi la troisième année la plus chaude sur Terre depuis que l'on mesure les températures. Elle arrive juste après 2016 — la plus chaude jamais enregistrée, 14,85 °C — et 2015 (14,81 °C). Selon les climatologues de la NOAA, de 1900 à 1980, un nouveau record de chaleur annuel était enregistré tous les treize ans et demi ; depuis 1981, c'est désormais tous les trois ans que la température bat des records.

Cette hausse qui touche tout le globe est visible à l'échelle locale : ci-dessous une sélection de ville testée selon leur situation géographique (littoral, continent, insulaire, Atlantique, Méditerranéen, ...)

Corse

CHOISISSEZ UNE STATION MÉTÉO :

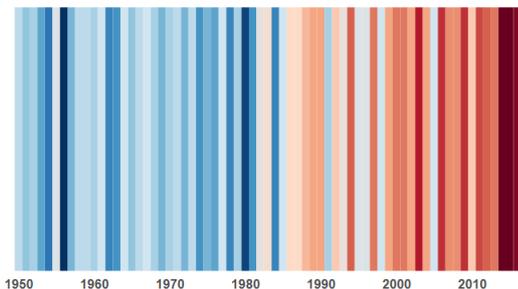
14,1 °C  17 °C



Evolution de la température par année depuis 1947

CHOISISSEZ UNE STATION MÉTÉO :

13,8 °C  16,6 °C

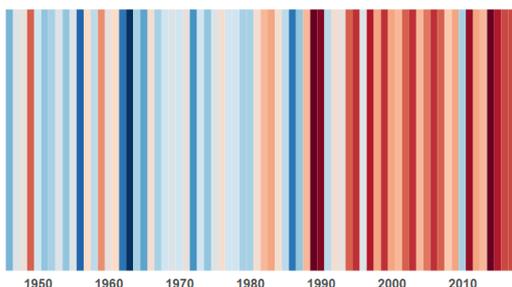


Evolution de la température par année depuis 1950

Littoral atlantique

CHOISISSEZ UNE STATION MÉTÉO :

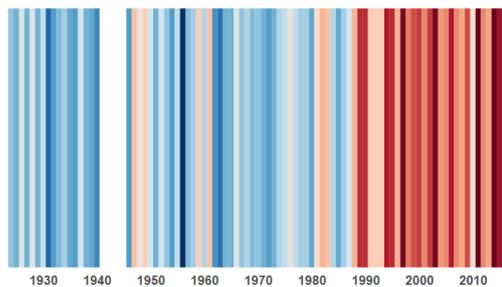
9,7 °C  12,5 °C



Evolution de la température par année depuis 1946

CHOISISSEZ UNE STATION MÉTÉO :

11,2 °C  15 °C

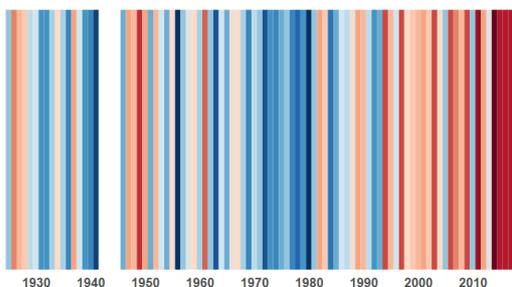


Evolution de la température par année depuis 1924

Littoral méditerranéen

CHOISISSEZ UNE STATION MÉTÉO :

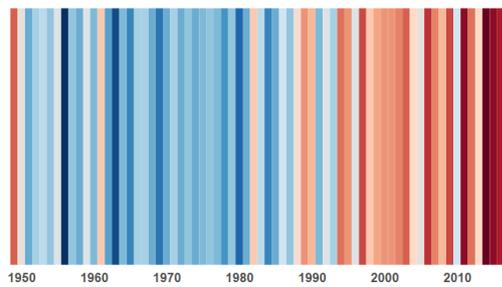
14,4 °C  16,9 °C



Evolution de la température par année depuis 1925

CHOISISSEZ UNE STATION MÉTÉO :

13,6 °C  16,8 °C

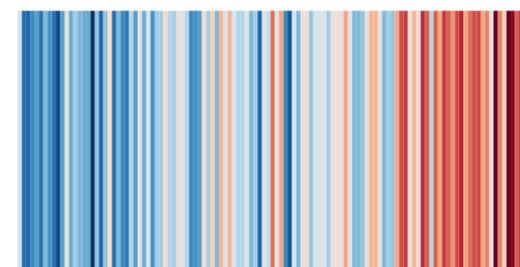


Evolution de la température par année depuis 1949

Continent

CHOISISSEZ UNE STATION MÉTÉO :

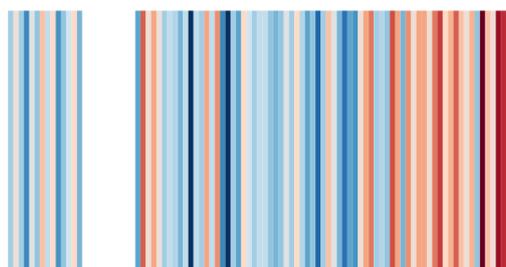
10 °C  13,7 °C



Evolution de la température par année depuis 1900

CHOISISSEZ UNE STATION MÉTÉO :

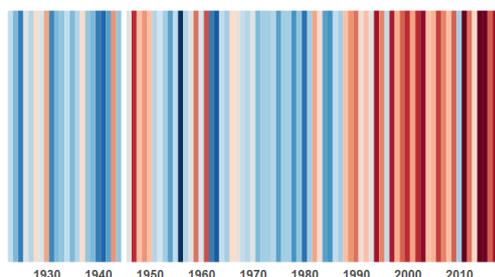
10,1 °C  13,2 °C



Evolution de la température par année depuis 1922

CHOISISSEZ UNE STATION MÉTÉO :

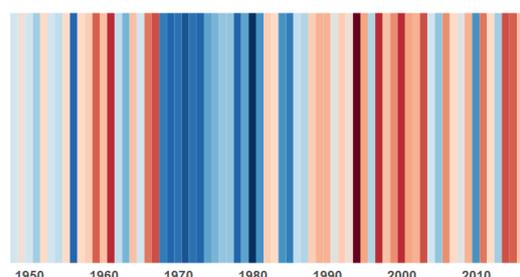
9,5 °C  13 °C



Evolution de la température par année depuis 1923

CHOISISSEZ UNE STATION MÉTÉO :

9,5 °C  12,6 °C

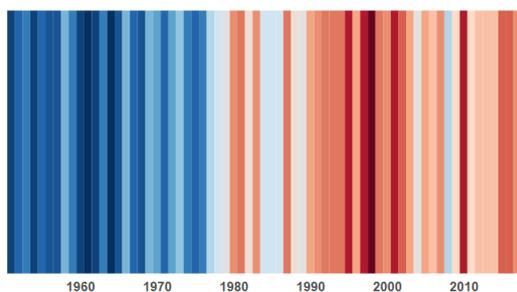


Evolution de la température par année depuis 1948

Guadeloupe

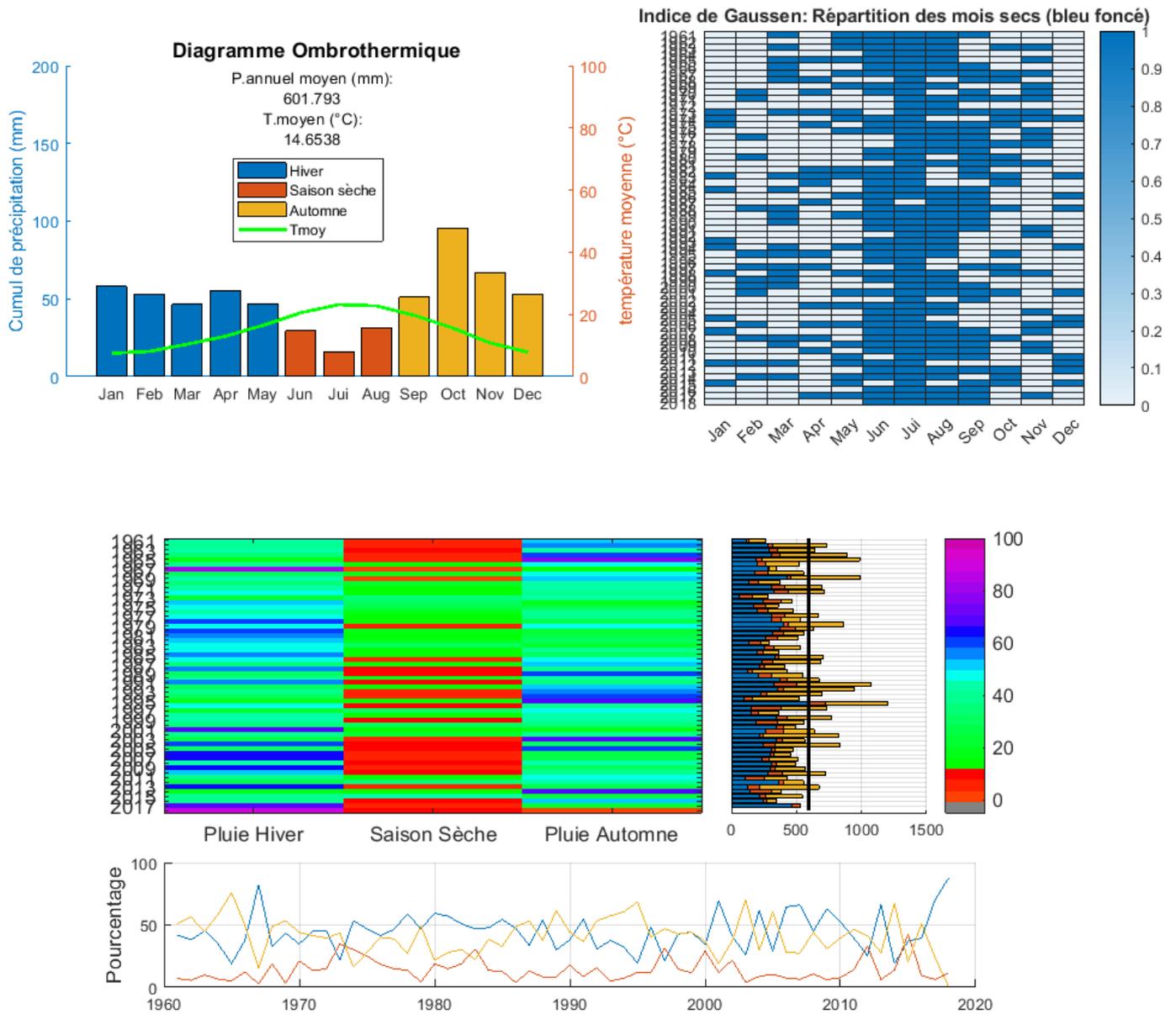
CHOISISSEZ UNE STATION MÉTÉO :

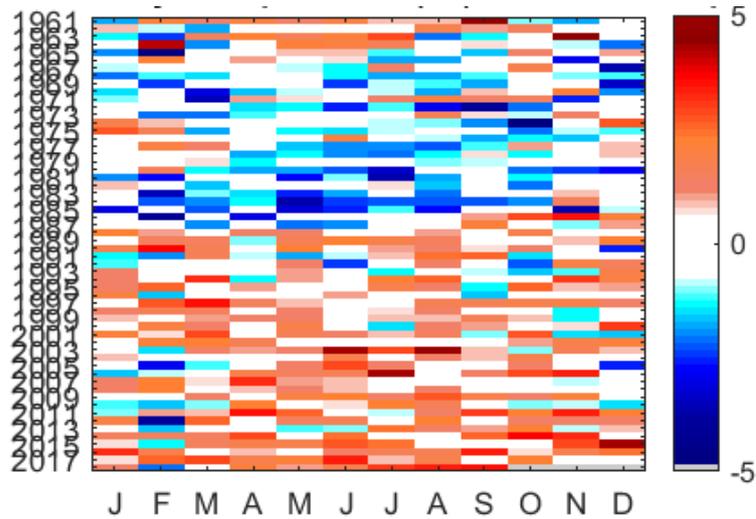
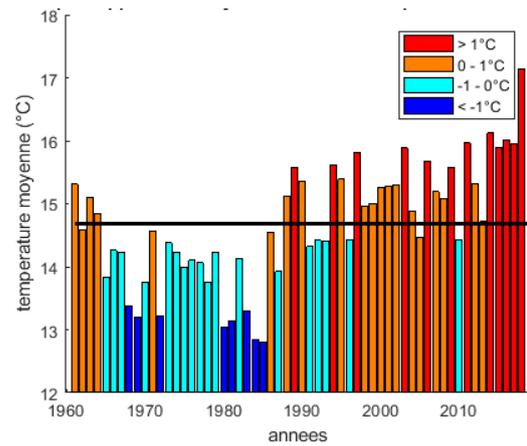
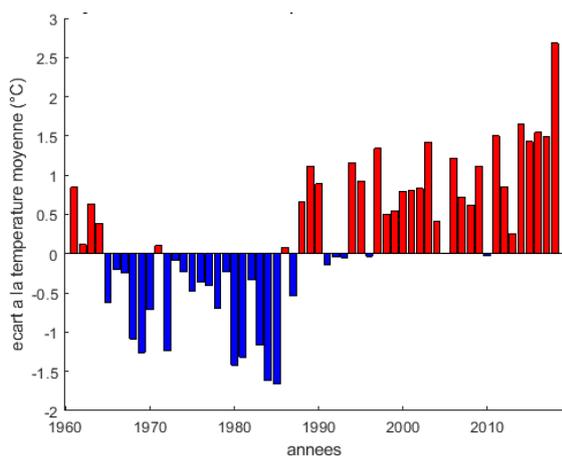
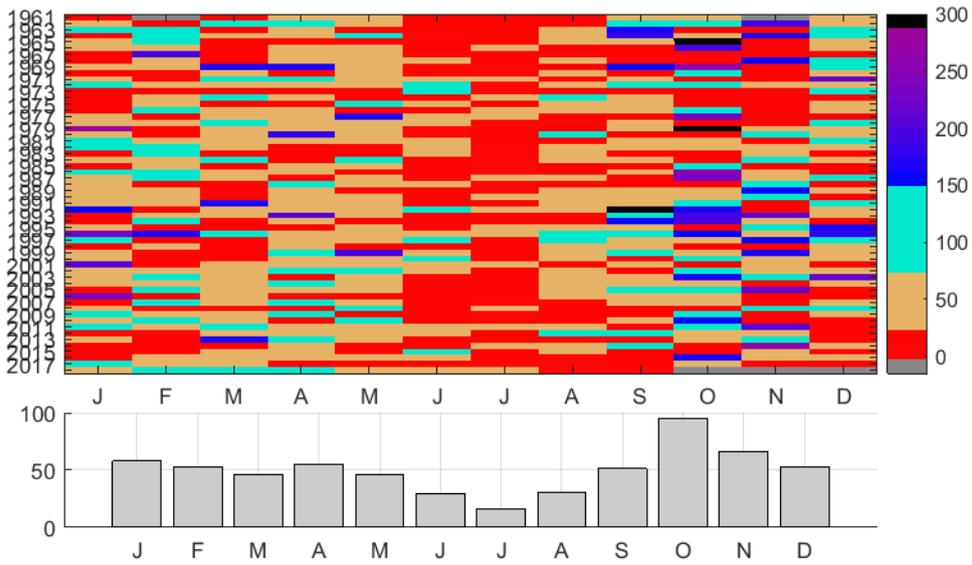
25,1 °C  27,4 °C

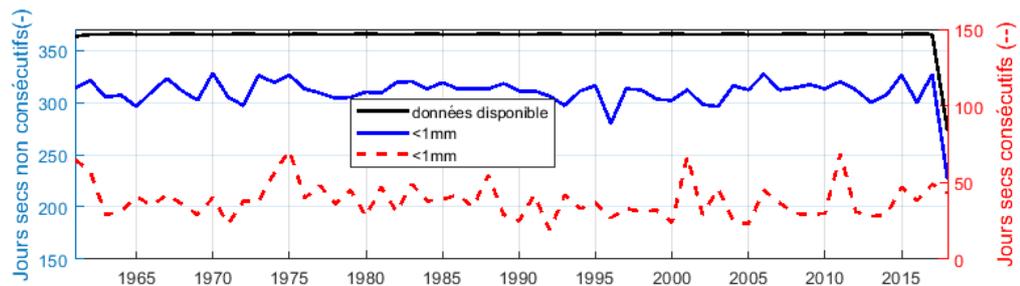
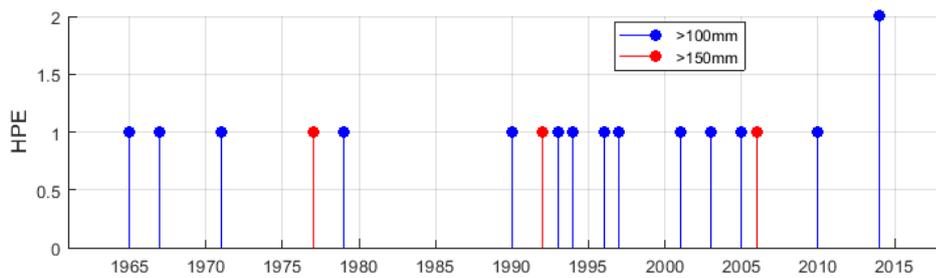
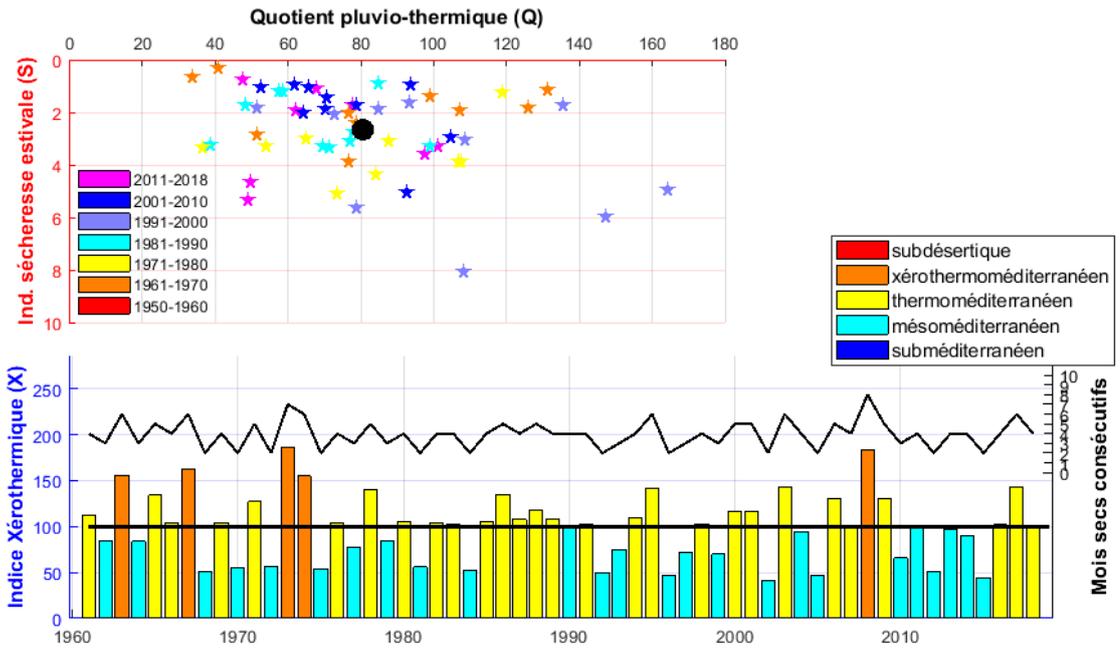


Evolution de la température par année depuis 1951

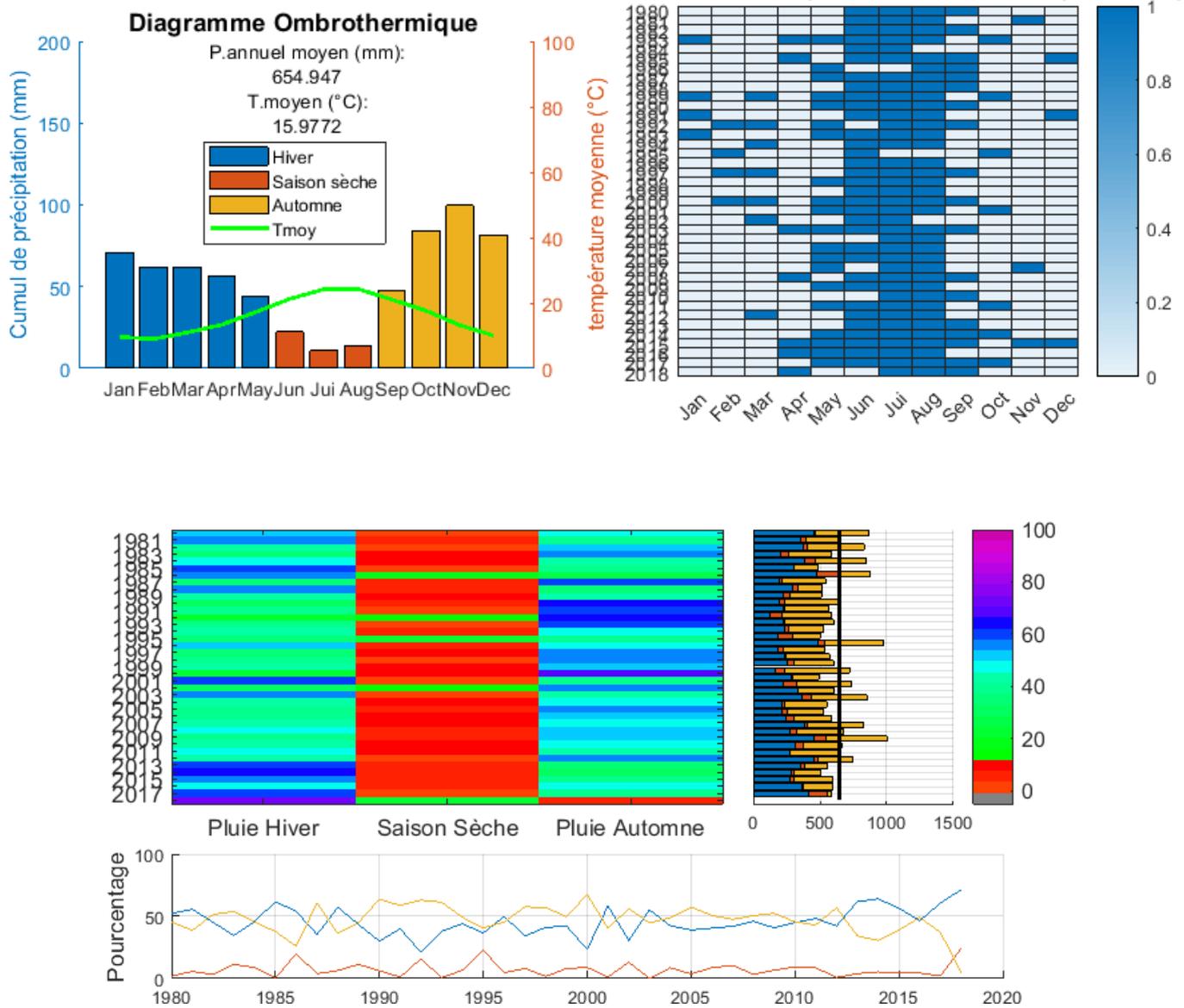
6.3 Contexte hydro-climatique à Narbonne [1961-2018]

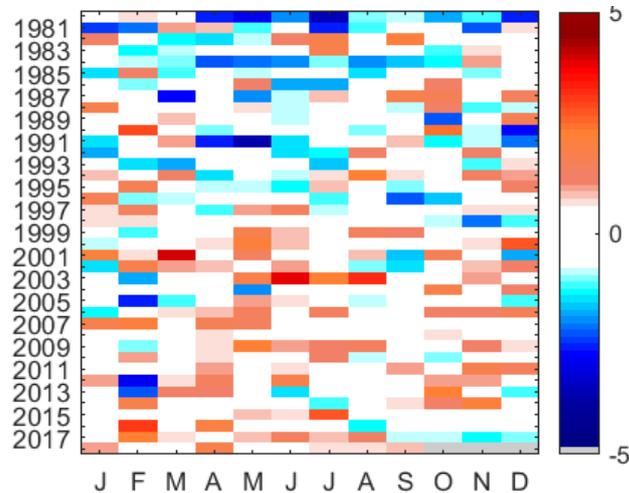
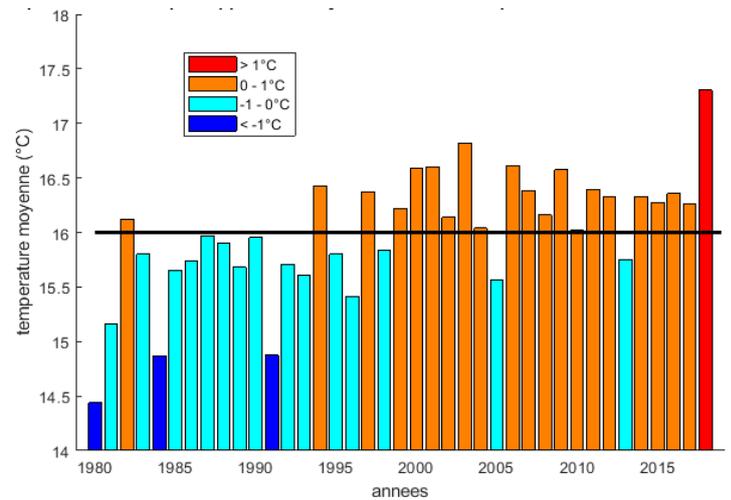
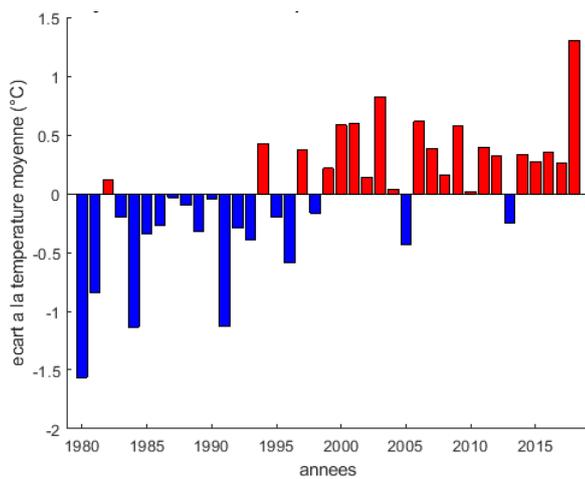
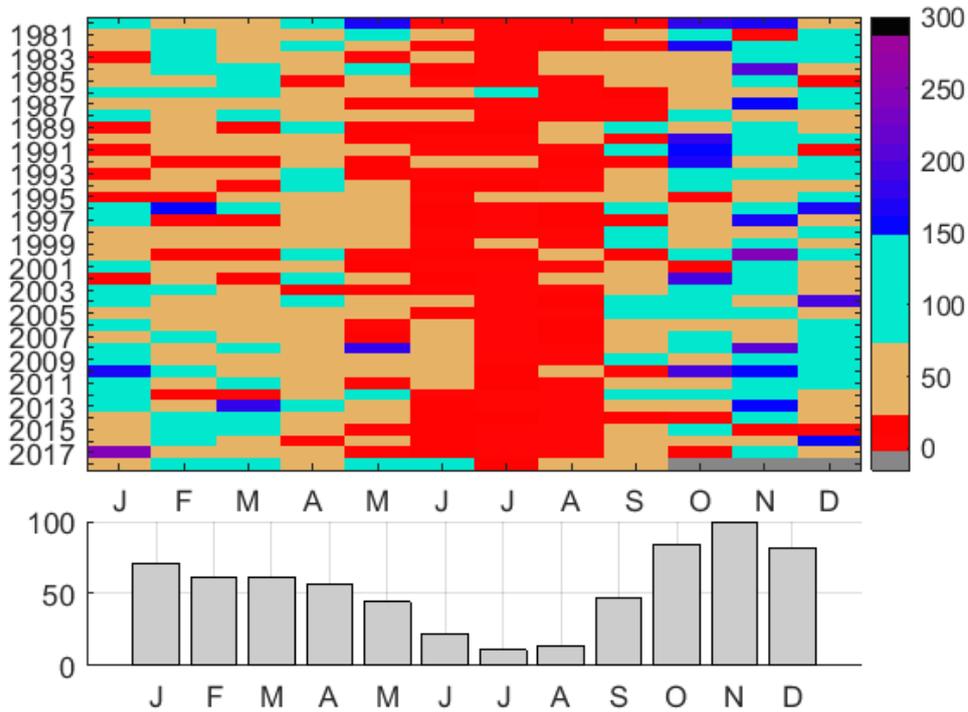


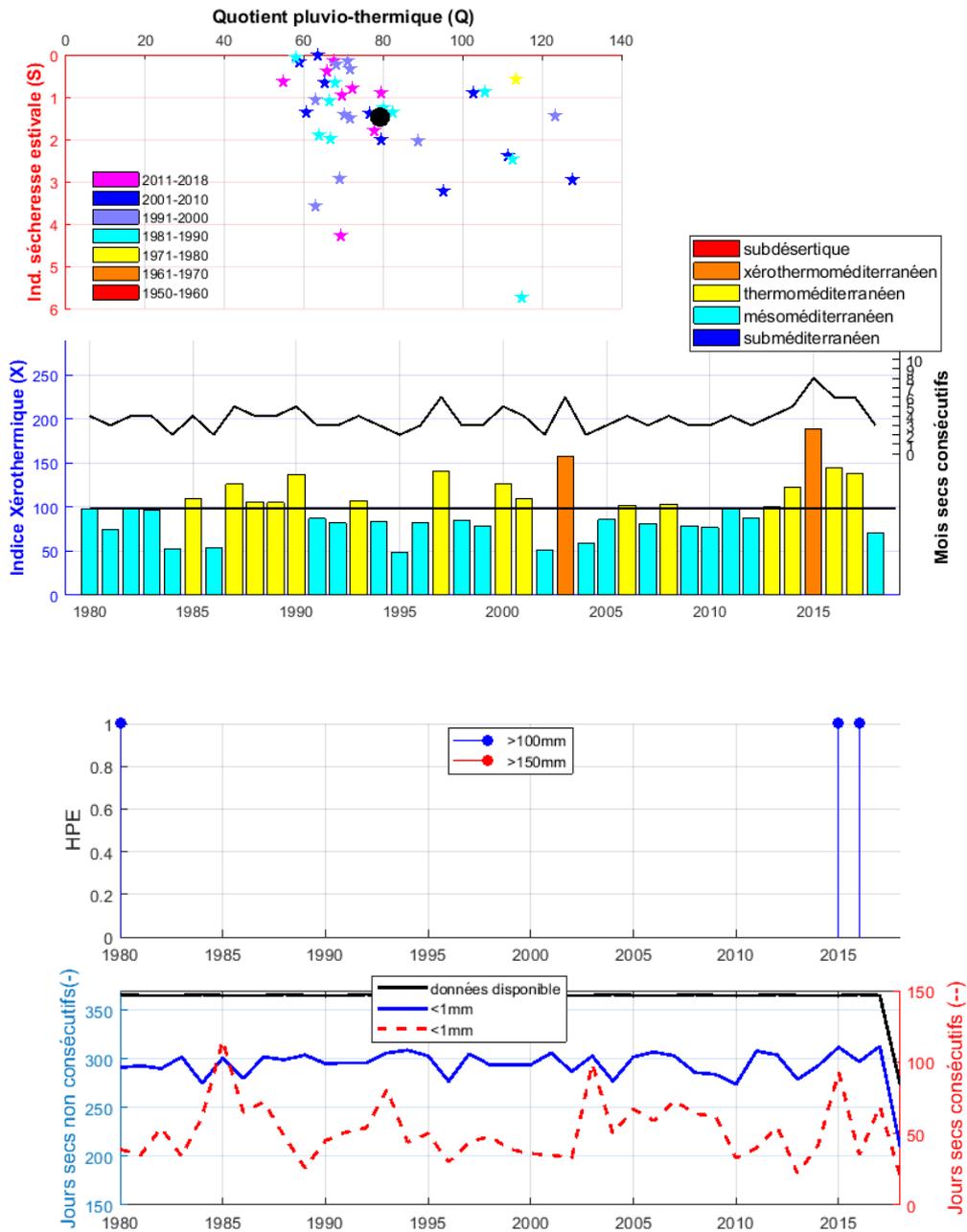




6.4 Contexte hydro-climatique à Figari [1980-2018]



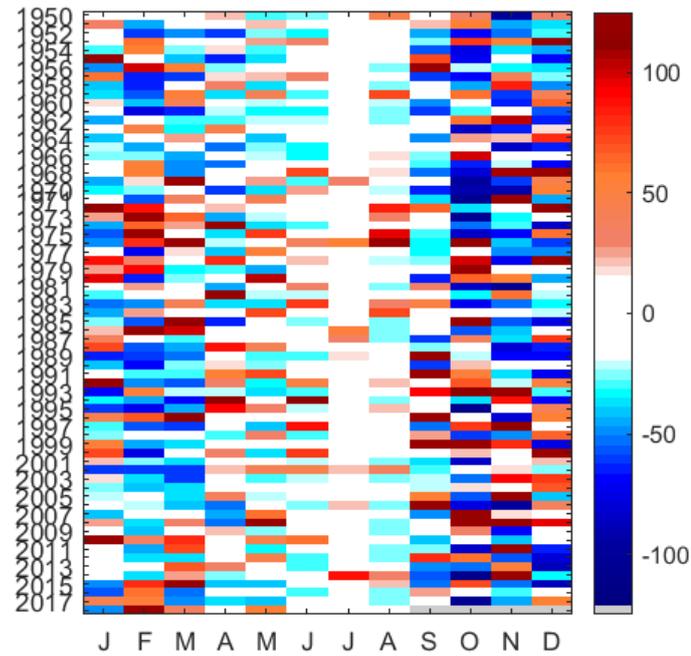
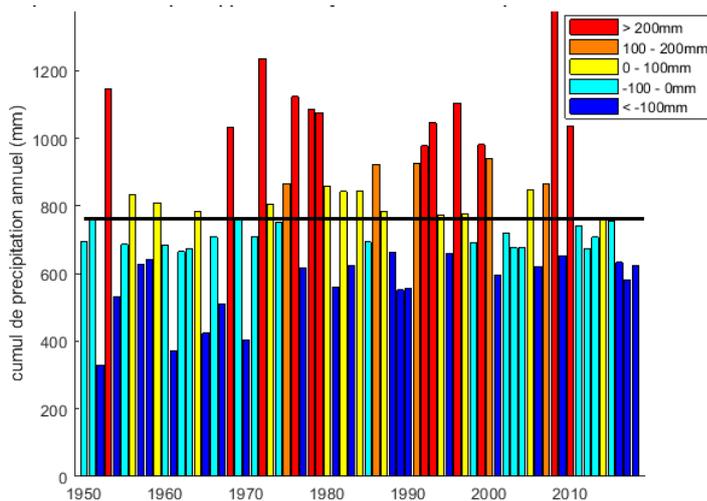
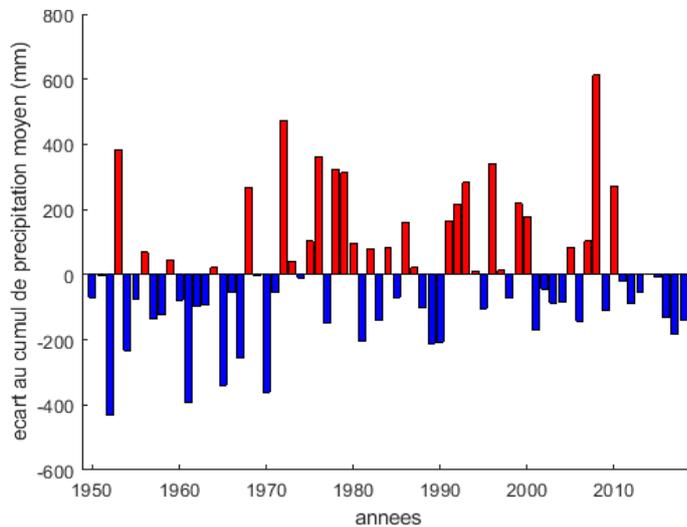




6.5 Autres types de graphique : L'exemple de Bastia

- **Graphiques de précipitation :**

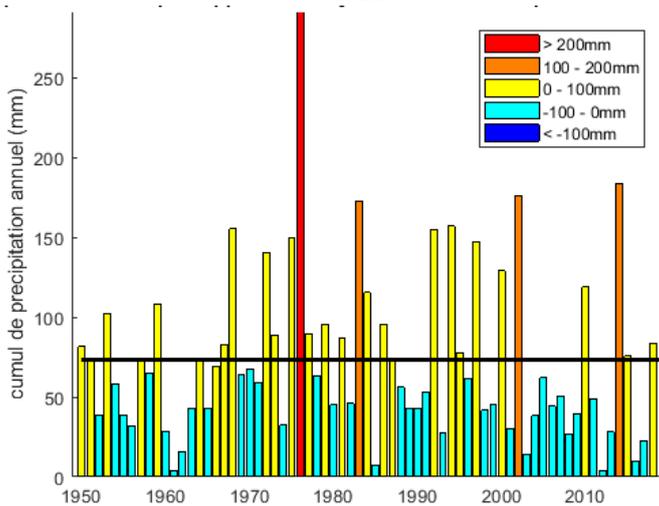
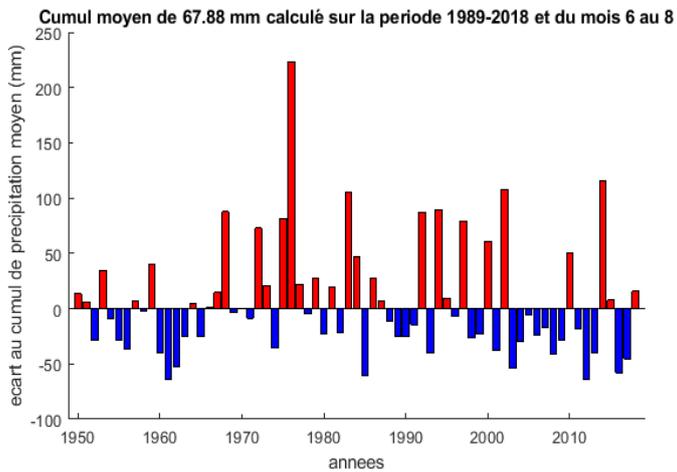
Cumul de pluie et écart par rapport à la moyenne de 763 mm calculé sur la période 1950-2018 sur l'ensemble des 12 mois de l'année



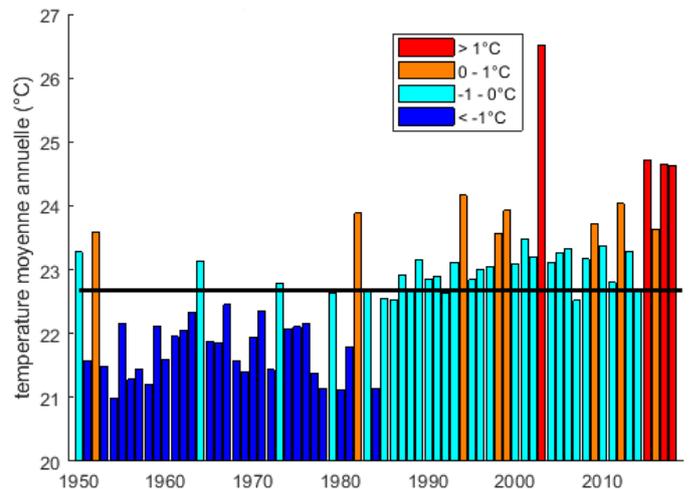
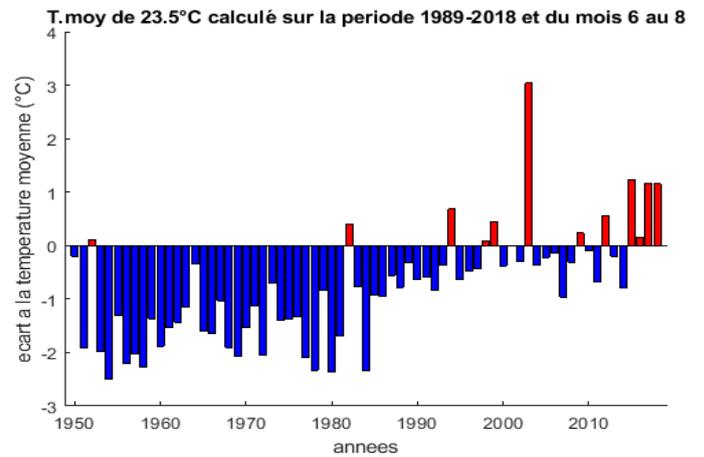
- **Calcul de la moyenne sur une période choisie :**

Moyenne des précipitations et de température calculée sur la période 1989-2019 pour l'ensemble des 3 mois d'été seulement (Juin-Juillet-Aout). Les écarts à la moyenne sont quant à eux toujours calculés sur l'ensemble du jeu de données, soit de 1950 à 2018.

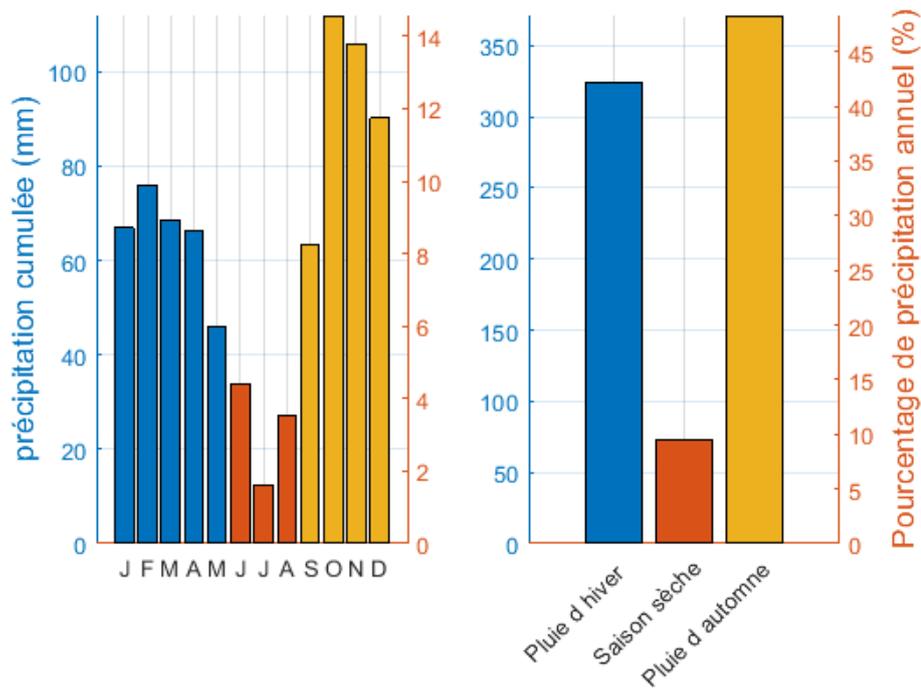
PRECIPTATIONS



TEMPERATURE



- **Cumul et pourcentage de précipitation**



- Température moyenne annuelle et journalière

