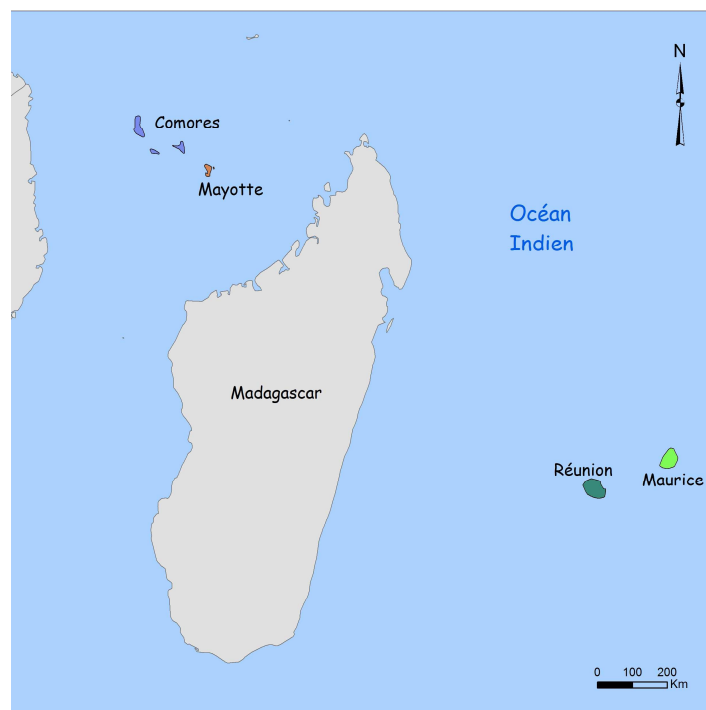


**Tendances et chocs climatiques à La Réunion :
utilisation de la base CRU TS version 3.21 – University of East Anglia**

Sosso Feindouno[‡], Michaël Goujon^{†‡} et Olivier Santoni[†]

[†]Cerdi-UdA-CNRS [‡]Ferdi

Cette version : 28 octobre 2014



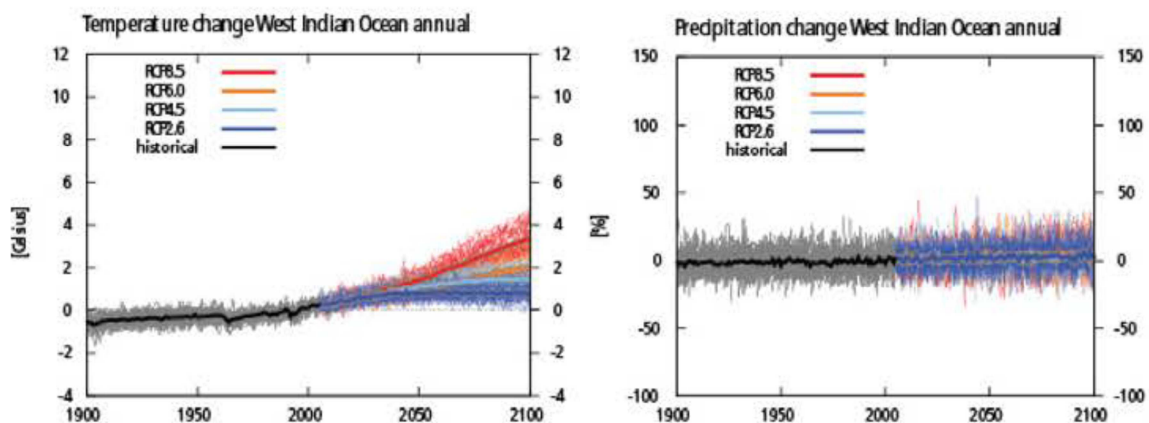
Résumé

Nous proposons une analyse statistique de séries mensuelles de précipitations et températures géolocalisées couvrant la période 1950-2012 (base Climate Research Unit version 3 – University of East Anglia). Cette analyse porte sur la Réunion, et sur trois comparateurs, Maurice, Mayotte et les Comores. Il s'agit de tenter de dater, de mesurer les chocs climatiques et leur amplification. Différents indicateurs statistiques sont utilisés pour mesurer les tendances, les chocs, l'asymétrie de la distribution, l'occurrence des valeurs extrêmes, les tendances dans l'instabilité.

Nos résultats montrent l'existence d'une tendance positive et significative dans les températures. En revanche, aucune tendance significative dans les précipitations n'est observée, exceptée pour Maurice où la tendance semble négative. L'instabilité des températures et de précipitations connaît quant à elle une tendance à la baisse, particulièrement ces dernières années. Une analyse par mois de l'année confirme ces résultats globaux mais met en évidence une forte instabilité des précipitations et des températures pour certains mois.

Introduction

Les rapports internationaux sur l'évolution du climat soulignent que les petites îles sont trop petites pour que les modèles globaux en simulent les évolutions climatiques détaillées. Ces rapports relèvent également que les études locales restent rares. Cependant, il est généralement admis que ces îles ont connu une hausse significative des températures, bien qu'elle ait été, au niveau global, plus élevée sur les continents que sur les océans (GIEC, 2007). Si la hausse des températures ne fait aucun doute, une grande incertitude demeure sur la tendance des précipitations, bien qu'il soit attendu que les schémas ou régimes pluviométriques ainsi que les aléas cycloniques soient affectés. Ces résultats valent aussi au niveau régional dans l'Ouest de l'Océan Indien (GIEC, 2014).



Source : GIEC (2014)

Dans les petites îles de l'Océan Indien situées en zone tropicale, les températures moyennes et les précipitations sont élevées avec des variations saisonnières importantes. La géographie et le relief affectent considérablement les régimes climatiques de ces îles même si d'une île à une autre (et même dans les régions d'une même île) des différences peuvent être observées. De même, ces îles font souvent face à des événements climatiques extrêmes saisonniers (tels que les cyclones), qui peuvent subir des évolutions interannuelles (MEDDE, 2012)¹. Si des tendances climatiques apparaissent (augmentation des températures, chocs de précipitations plus importants), ces rapports relèvent que le manque de données historiques fiables limite l'analyse statistique de ces évolutions.²

Pour La Réunion par exemple, en utilisant des données issues de six stations sur la période 1969-2008, Météo-France (2009) trouve une tendance à la hausse de la température moyenne de l'île de +0,62°C avec une hausse plus marquée sur les mois de mars-avril-mai. Le MEDDE (2012) souligne qu'en

¹ S'agissant des travaux nationaux portant sur les Départements et Collectivités d'Outre-Mer, un certain nombre d'éléments, tirés notamment de Météo-France, sont repris par l'ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique, 2012 et 2014), et le MEDDE (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012 et 2014).

² Les données brutes de températures et de précipitations aux stations peuvent être affectées de ruptures méthodologiques. Ces données doivent être homogénéisées et corrigées, et certaines peuvent aussi être écartées, voir discussion dans MEDDE (2012).

tenant compte des années 2009 à 2011 et d'un nouveau travail d'homogénéisation des données, la hausse semble être plus marquée encore (pouvant dépasser + 1 °C dans certaines zones). La baisse des précipitations (données issues d'une cinquantaine de stations) est constatée à La Réunion sur les régions de l'ouest, du sud-ouest et du sud de l'île. Les mois d'hiver austral ont connu une baisse généralisée des précipitations. Enfin, aucune tendance robuste n'apparaît sur la fréquence des épisodes de précipitations extrêmes (Météo-France, 2009).

Goujon et al. (2013) utilisent des données tirées d'une base internationale de données géolocalisées de températures et de précipitations couvrant la période 1950-2011, dont nous utilisons la version actualisée ici. L'étude porte sur un ensemble de 80 petites îles et les résultats, basés sur des moyennes à l'échelle du territoire, sont présentés pour une vingtaine d'entre elles dont les Départements et Collectivités d'Outre-Mer. Les principaux résultats sont les suivants.

Ces îles ont toutes subi une montée des températures moyennes dans les soixante dernières années, mais l'amplitude est variable, de 0,3°C (Wallis et Futuna) à 2,2°C (Martinique). Les territoires des Antilles sont les plus touchés avec une hausse d'au moins 1°C. Saint-Pierre-et-Miquelon, territoire le plus froid, est celui qui subit le plus fort réchauffement en termes relatifs (+12% de la température moyenne). Les Comores et Mayotte font partie des îles qui connaissent une augmentation des températures faible (+0,3-0,4°C) et la Réunion et Maurice une augmentation moyenne (+0,9 et 1,2°C respectivement). Les territoires diffèrent également en termes de chocs de température subis, mais les résultats ne montrent pas d'évolution évidente de l'instabilité.

Les DCOM et leurs comparateurs diffèrent quant à la tendance des précipitations sur les 60 dernières années. Les Antilles, qui pour rappel ont subi une hausse importante de températures, apparaissent également parmi les territoires ayant connu les plus importantes augmentations de précipitations. À la différence des Comores, de Mayotte et de la Réunion, Maurice présente une baisse des précipitations significative. Si la Réunion a des résultats modérés en termes de moyenne et de tendance (positive mais non significative) des précipitations, elle présente de loin l'instabilité la plus forte (avec accessoirement un record mensuel au-delà du mètre). La tendance dans l'instabilité des précipitations est plutôt croissante dans les Antilles. Elle apparaît plutôt décroissante tout en étant non significative dans les quatre îles qui font l'objet de notre étude.

Le travail présenté ci-après se limite à des questions simples, d'observation historique plutôt que de prospective ou de prévisions, visant à compléter les analyses existantes utilisant des données nationales (comme celles de Météo-France notamment pour La Réunion). Nous n'avons pas l'ambition de trouver le modèle générant les données de températures et de précipitations. Les questions auxquelles nous tentons de répondre sont usuelles : constate-t-on dans la zone une dégradation des conditions climatiques, sous la forme d'une tendance à la hausse des températures, ou

d'une baisse des précipitations, ou d'une amplification de l'instabilité ? Les évolutions constatées pour la Réunion sont-elles semblables ou différentes de celles des autres petites îles de la région ?

Nous voyons deux avantages à l'utilisation de ces données internationales : elles sont disponibles en accès libre (à la différence des données historiques de Météo-France) et sont comparables internationalement. La question est alors de savoir si les conclusions tirées de l'analyse de ces données sont similaires à celles des travaux basés sur des données nationales, pour la Réunion par exemple. En effet, si tel était le cas, cela nous rassurerait sur la fiabilité et la pertinence de ces données internationales, et nous amènerait à les considérer avec intérêt pour des territoires moins couverts historiquement par les données nationales, comme Mayotte par exemple.

Les indicateurs statistiques utilisés et les données sont discutés dans Guillaumont et Simonet (2011, 2013) et Goujon et al. (2013). Alors que ces données couvrent la période 1901-2012, nous calculons les statistiques sur la période 1950-2012, 1950 étant considéré comme le début du changement climatique.

Dans une première section, nous présentons les données de la base CRU TS et leur traitement. Dans la seconde section, nous détaillons les indicateurs permettant de calculer les tendances et les chocs. Dans une troisième section nous exposons et commentons les résultats obtenus.

1. Les données

Dans notre étude nous utilisons des données mensuelles de précipitations et de températures provenant de la base Climate Research Unit (CRU TS version 3.21 – University of East Anglia ; voir Harris et al., 2014, Mitchell et al, 2002 et 2004, Mitchell et Jones, 2005). Cette base de données est l'une des plus utilisées à l'heure actuelle, notamment pour les travaux sur le changement climatique et leurs conséquences économiques (Dell et al. 2014)³.

Les données brutes géolocalisées de CRU TS se rapportent à un quadrillage de 0,5° latitude et longitude (environ 50X50 km à l'Equateur). Chaque cellule du quadrillage a une donnée pour chaque mois sur la période 1901-2012 générée par interpolation. Chacune de ces données correspond à une moyenne pondérée des observations de stations situées dans la cellule, et d'observations de stations en dehors mais proches de la cellule. Les poids dans la moyenne des données de stations sont fonctions

³ Le CRU travaille étroitement avec le GIEC. Les rapports du GIEC font référence à ces données comme faisant partie de celles utilisées. Le GIEC utilise aussi une autre version de la base CRU (CRUTEM). CRU TS et CRU TM utilisent les mêmes données brutes. La base CRUTEM a une résolution de 5X5 ° (500X500 km environ). Les cellules ne sont renseignées que si au moins une station est physiquement présente pour le mois étudié. Ainsi, il y a moins d'interpolations mais le nombre de cellules et leur répartition changent chaque mois. Si cette base est utilisable pour étudier les tendances au niveau global, elle ne peut l'être au niveau des pays. Les précipitations ne sont disponibles que jusqu'en 1998. L'occurrence de *Climate Research Unit (CRU) version 3 – University of East Anglia* est d'environ 3400 résultats dans Google Scholar au 29 septembre 2014.

de la corrélation observée en général entre les données des stations, corrélation qui est une fonction inverse de la distance entre ces stations. Il est défini un seuil (le correlation decay distance⁴) au-delà duquel le poids de la station est nul (car elle est trop distante et n'a plus de corrélation significative avec les stations de la cellule). Ce seuil est différent pour les précipitations (450kms) et les températures (1200kms).

A partir de ces données par cellule, nous calculons des moyennes pondérées pour obtenir des données par pays ou territoires. Une double pondération est appliquée :

1- La surface des quadrillages diminuant à mesure que l'on s'éloigne de l'Equateur (Fig .1), les données brutes sont pondérées par le cosinus de la latitude :

$$\langle \Delta T_k \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N \cos(\text{lat } i) \Delta T_{ik}}{\sum_{i=1}^N \cos(\text{lat } i)}$$

2- Pour tenir compte précisément des frontières des pays (Fig. 2), les données sont également pondérées par la proportion occupée par le territoire de l'île au sein de chaque cellule.



Fig. 1 : quadrillage 0,5°x0,5° en Europe



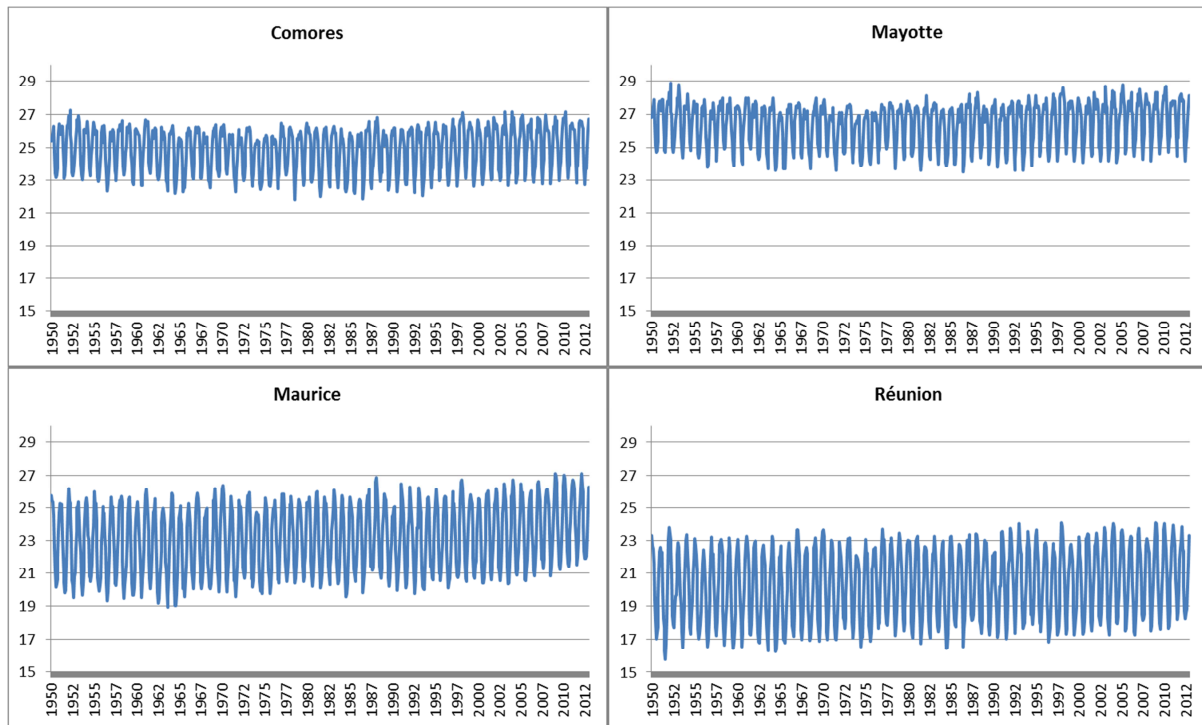
Fig.2 : découpage du quadrillage par les frontières

Ces données étant des moyennes mensuelles et par territoire, elles ne rendent pas compte des évènements climatiques infra-mensuels et/ou à une échelle plus petite (sous-régions d'une île).

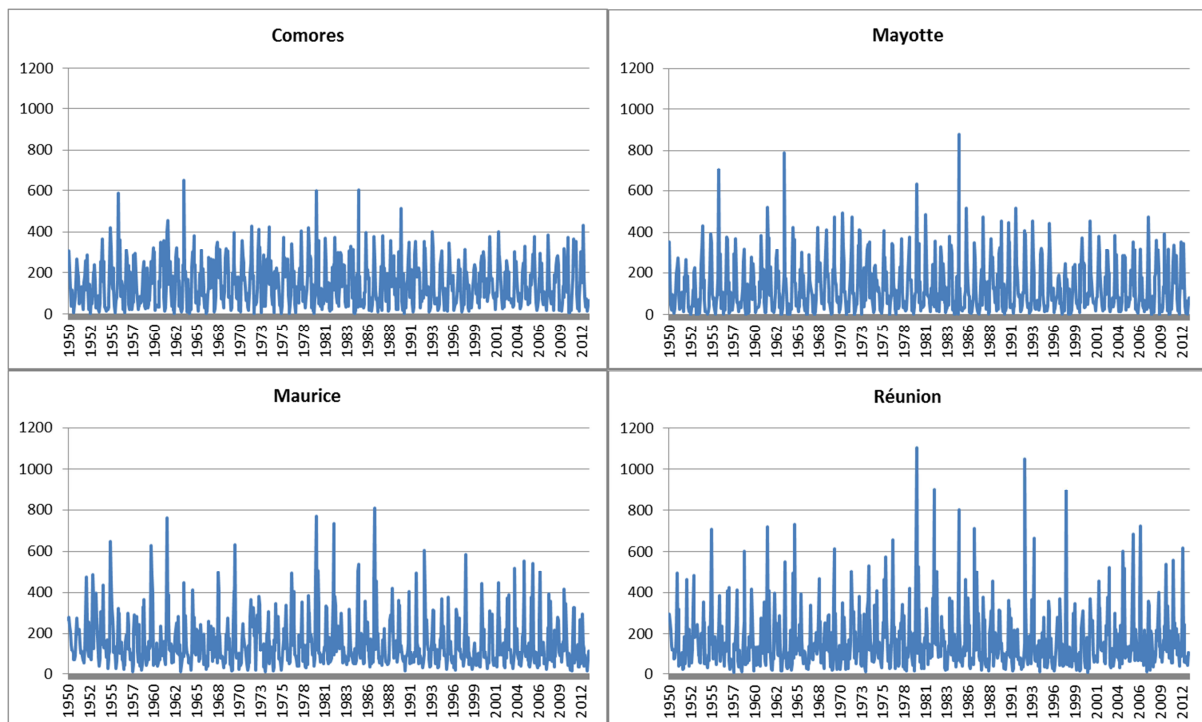
⁴ La distance pour laquelle la corrélation estimée entre une station et toutes les autres stations décroît en-dessous de 1/e (0,368) est appelée la correlation decay distance (Briffa and Jones,1993 ; Jones et al.,1997).

Graphique 1. Séries mensuelles températures et précipitations, 1950-2012

Températures en °C



Précipitations en millimètres



Sources : Auteurs à partir des données CRU TS version 3.21 – University of East Anglia

2. Les indicateurs

Les indicateurs statistiques utilisés sont discutés dans Guillaumont et Simonet (2011, 2013) et Goujon et al. (2013). Alors que les données CRU TS couvrent la période 1901-2012, nous calculons les statistiques sur la période 1950-2012, 1950 étant considéré comme le début du changement climatique (même si une accélération plus marquée du changement climatique observée à partir des années 1970, pourrait susciter un intérêt pour des calculs sur la période 1970-2012).

Tendance, Ordonnées à l'origine et à la fin

Nous isolons la tendance (supposée linéaire) dans les températures et précipitations suivant la formule (sans muette saisonnière dans un premier temps) :

$$y_t = \alpha + \beta \cdot t + \varepsilon_t$$

Avec y la variable d'intérêt (températures ou précipitations mensuelles), α la constante, le trend déterministe $t = 0, 1, \dots, 755$ (janvier 1950 à décembre 2012), ε le terme d'erreur.

La Tendance est le paramètre $\hat{\beta}$ estimé du trend (la variation mensuelle moyenne de y)

L'Ordonnée à l'origine est \hat{y}_0 la valeur de y estimée quand $t=0$, soit $\hat{\alpha}$ (valeur moyenne en début de période, compte tenu de la tendance).

L'Ordonnée en fin de période est la valeur estimée \widehat{y}_{755} quand $t=755$ (valeur moyenne en fin de période, compte tenu de la tendance)

La Différence = $\widehat{y}_{755} - \hat{y}_0 = \hat{\beta} \times 755$ est la variation de y moyen sur la période.

Ampleur de l'instabilité

L'écart type est une mesure de la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne (valeur moyenne) :

$$s = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}}$$

Asymétrie de l'instabilité

Le coefficient d'asymétrie caractérise le degré d'asymétrie d'une distribution par rapport à sa moyenne. Une asymétrie positive indique une distribution unilatérale décalée vers les valeurs les plus positives (la plupart des chocs sont positifs). Une asymétrie négative indique une distribution unilatérale décalée vers les valeurs les plus négatives (la plupart des chocs sont négatifs).

$$\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{y_i - \bar{y}}{s} \right)^3$$

Occurrence des valeurs extrêmes

Le kurtosis caractérise la forme de pic ou l'aplatissement relatif d'une distribution comparée à une distribution normale (le kurtosis d'une loi normale étant égal à 3). Un excès de kurtosis positif indique une distribution relativement pointue (beaucoup d'observations proches de la moyenne), tandis qu'un coefficient d'excès de kurtosis négatif signale une distribution relativement aplatie (observations relativement éloignées de part et d'autre de la moyenne).

$$\left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{y_i - \bar{y}}{s} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

Chocs et tendances dans l'instabilité

Suivant Guillaumont et Simonet (2011) et Goujon et al. (2013)

La tendance est calculée sur une série mensuelle, en prenant en compte la saisonnalité :

$$y_t = \alpha + \beta \cdot t + \gamma \cdot S_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Avec y_t les données mensuelles (précipitations ou températures), t la tendance déterministe, S un vecteur de muettes saisonnières (γ le vecteur de leurs coefficients), ε_t les résidus.

NB : Pour les séries par mois, le terme $\gamma \cdot S_t$ n'apparaît pas dans la régression

Les chocs sont définis comme les écarts (en valeur absolue) entre la valeur observée et la valeur attendue selon la régression (1), soit $\hat{\varepsilon}_t = y_t - \hat{y}_t$, s'écartant d'au moins deux écart-types de la moyenne de la série $\hat{\varepsilon}_t$:⁵

$$\text{Choc} = 1 \text{ si valeur absolue } (\hat{\varepsilon}_t) > \text{moyenne } (\hat{\varepsilon}_t) + 2 \text{ écarts-types } (\hat{\varepsilon}_t) \quad (2)$$

Il est ainsi détecté un nombre de chocs pour chaque série.

L'instabilité de la série y_t est mesurée par la série des résidus $\hat{\varepsilon}_t$ en valeur absolue.

La tendance dans l'instabilité est la tendance dans la série des résidus $\hat{\varepsilon}_t$ en valeur absolue issus de la régression (1), suivant la régression suivante⁶ :

$$\text{Valeur absolue } (\hat{\varepsilon}_t) = \mu + \pi \cdot t + \varepsilon_t \quad (3)$$

⁵ Par définition la moyenne est égale 0

⁶ Guillaumont et Simonet (2011, 2013) se focalisent sur les pays africains pour lesquels le problème principal est celui de la désertification. Ils ne prennent en compte que les chocs négatifs pour les précipitations et positifs pour les températures. Dans notre étude, suivant Goujon et al. (2013), nous faisons un choix différent en reprenant la formule plus générale ci-dessus où la tendance est calculée sur l'ensemble des chocs (écarts absolus), positifs et négatifs.

3. Résultats

Températures

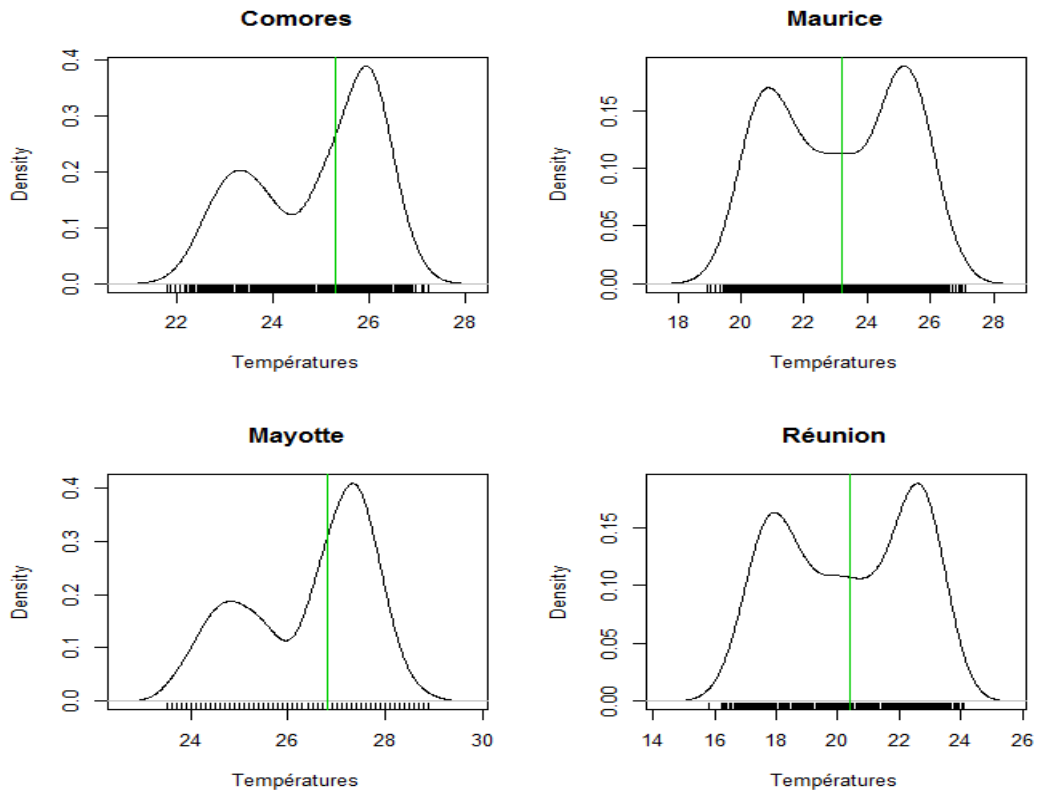
Les températures sont en moyenne plus élevées à Mayotte et aux Comores, mais sont plus variables à Maurice et à la Réunion. Pour les quatre îles, on distingue une distribution des températures en « double-cloche » traduisant les deux saisons typiques en milieu tropical (graphique 2). Le coefficient d'asymétrie est négatif (et la médiane supérieure à la moyenne) signalant la dominance de chocs négatifs, et est plus élevé à Mayotte et aux Comores (tableau 1). Les séries présentent un kurtosis négatif signalant une distribution relativement aplatie (observations relativement éloignées de part et d'autre de la moyenne, voir graphiques suivants sur les distributions).

Globalement, nous notons la présence d'une tendance positive et significative des températures dans les soixante dernières années pour les quatre îles (tableau 1 et 3). L'amplitude de l'augmentation des températures moyennes est cependant variable, de 0,3°C à Mayotte et aux Comores, de 0,9°C à La Réunion et de 1,2°C à Maurice. Ces résultats sont expliqués principalement par l'augmentation rapide des températures enregistrées depuis le milieu des années 1980. Sur 63 ans, les quatre îles enregistrent à peu près le même nombre de chocs de températures, avec un peu moins de chocs pour Maurice (tableau 4). De façon générale, les tendances dans l'instabilité sont négatives et significatives pour la Réunion et Mayotte. Ces îles subissent moins de chocs ces dernières années (graphique 3). Depuis le début des années 2000, la Réunion n'a en fait connu aucun choc, tels qu'ils sont définis ici.

Précipitations

Les précipitations mensuelles sont en moyenne plus fortes à Maurice et à la Réunion (tableau 2). Cette dernière présente la variabilité la plus forte et un record à 1100mm en janvier 1980. Le coefficient d'asymétrie est positif (et la médiane est inférieure à la moyenne), révélant des chocs plutôt positifs. Le kurtosis des précipitations est positif ce qui indique une distribution relativement pointue, particulièrement à la Réunion et à Maurice (beaucoup d'observations proches de la moyenne, graphique 2 et tableau 2). Contrairement aux températures, les précipitations mensuelles sont dépourvues de tendance significative, exception faite de Maurice qui connaît une tendance négative des précipitations, surtout marquée à partir du début des années 1990. Quant aux chocs de pluviométrie, tels que nous les définissons, ils sont moins nombreux à la Réunion par rapport aux trois autres îles (tableau 4 et graphique 3). En outre, les tendances dans l'instabilité des précipitations ne sont significatives pour aucune des quatre îles.

Graphique 2. Distribution des températures mensuelles de 1950 à 2012



Distribution des précipitations mensuelles de 1950 à 2012

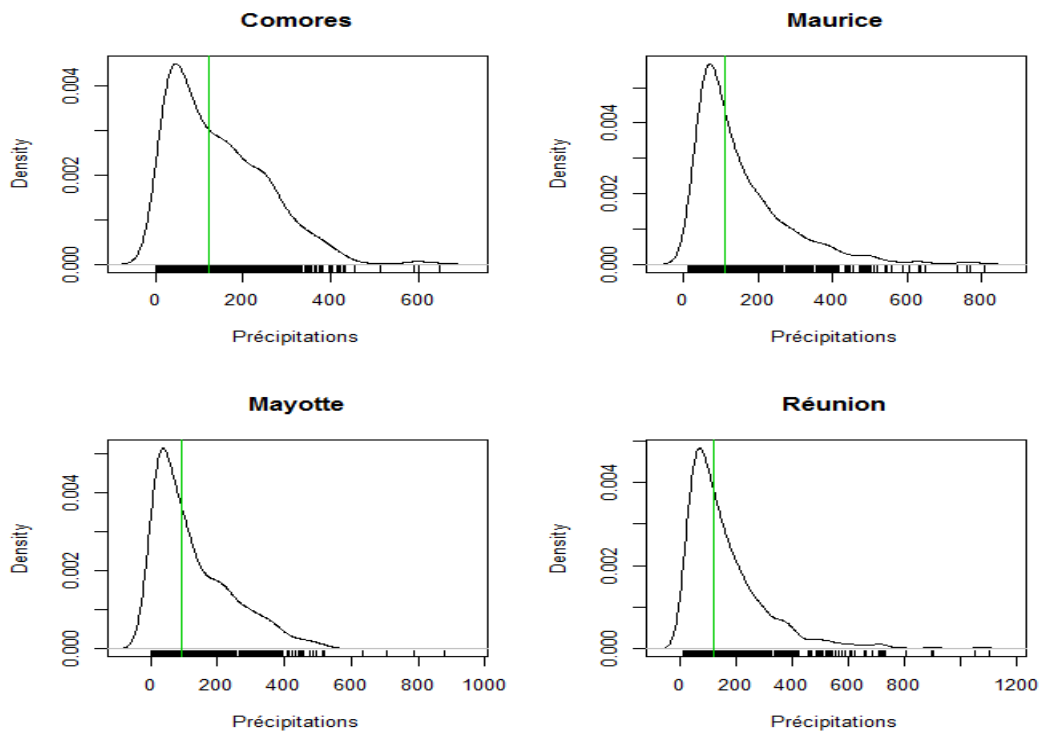


Tableau 1. Températures – statistiques simples, 756 observations

	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion
pente	0,00038	0,00050	0,00166	0,00122
moyenne	24,90	26,43	23,13	20,34
écart-type	1,31	1,28	2,07	2,17
max	27,24	28,90	27,10	24,11
min	21,81	23,50	18,93	15,79
mediane	25,30	26,80	23,19	20,41
asymetrie	-0,44	-0,51	-0,05	-0,08
kurtosis	-1,10	-0,97	-1,33	-1,37
origine	24,76	26,24	22,50	19,88
fin	25,05	26,62	23,75	20,80
différence	0,29	0,38	1,25	0,92
diff%	1,15	1,45	5,57	4,63

Tableau 2. Précipitations – statistiques simples, 756 observations

	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion
pente	-0,00358	0,00259	-0,04523	0,00574
moyenne	144,63	130,04	153,56	163,80
écart-type	109,26	123,94	123,84	145,55
max	648,10	878,90	808,86	1103,48
min	2,06	0,10	10,93	7,57
mediane	122,16	90,81	113,44	119,26
asymetrie	0,97	1,55	1,81	2,23
kurtosis	0,97	3,39	4,15	7,24
origine	145,98	129,06	170,68	161,62
fin	143,33	130,99	137,08	165,89
différence	-2,66	1,93	-33,61	4,26
diff%	-1,82	1,49	-19,69	2,64

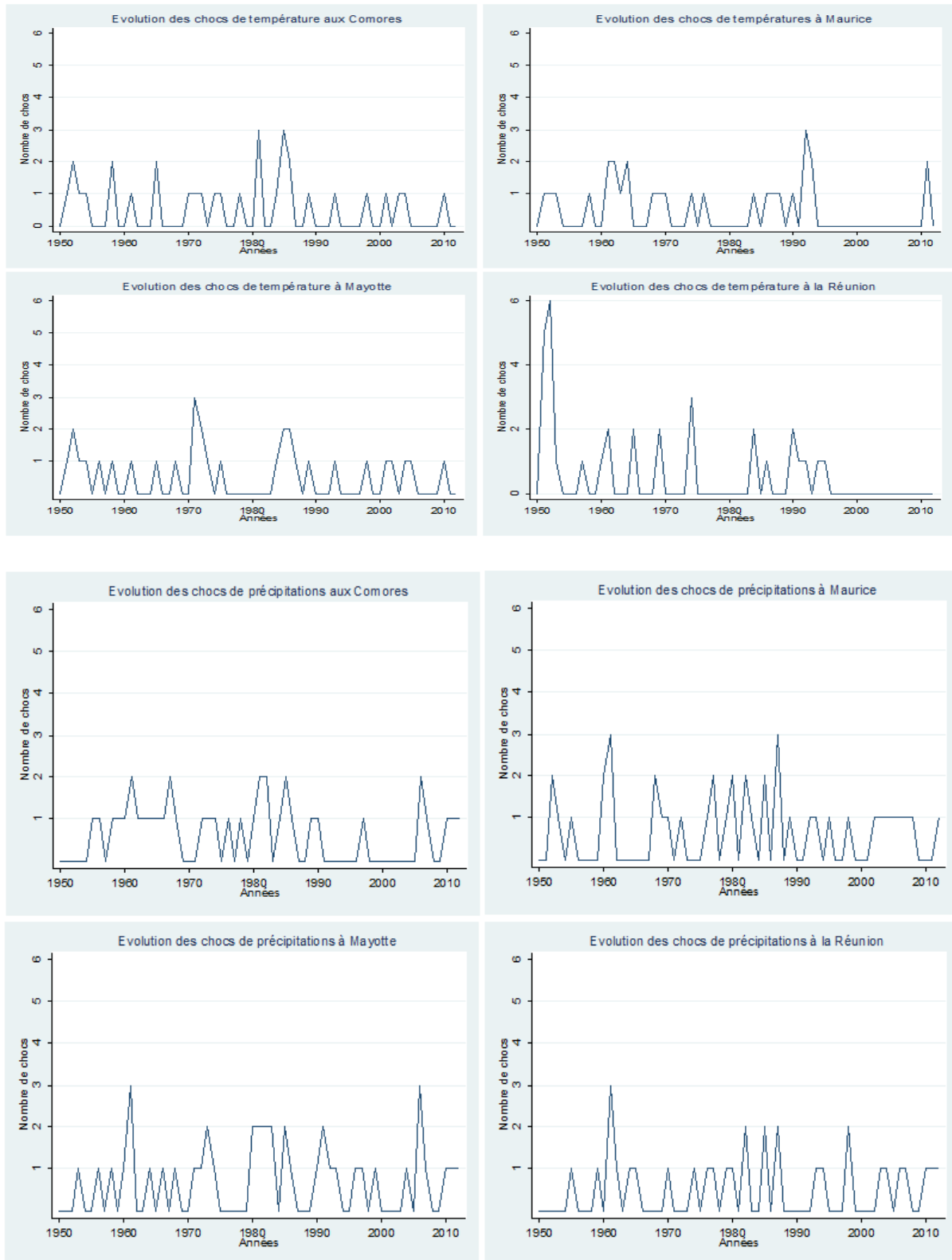
Tableau 3. Tendances (avec S) – 756 observations

Températures	Tend	t-Student	p-value	R ²	Précipitations	Tend	t-Student	p-value	R ²
	Comores	0,0004	5,83	8,35E-09		0,90	Comores	0,0008	0,07
Mayotte	0,0005	7,19	1,59E-12	0,89	Mayotte	0,0071	0,56	0,576	0,58
Maurice	0,0017	20,63	3,96E-75	0,95	Maurice	-0,0408	2,71	0,007	0,40
Réunion	0,0013	15,40	1,19E-46	0,95	Réunion	0,0100	0,53	0,594	0,31

Tableau 4. Chocs et tendances dans l'instabilité – 756 observations

Températures	Chocs nombre	Instabilité		Précipitations	Chocs nombre	Instabilité	
		Tendance	p-value			Tendance	p-value
Comores	32	-0,0001	0,067	Comores	38	-0,0083	0,33
Mayotte	31	-0,0001	0,012	Mayotte	42	-0,0029	0,77
Maurice	28	0,0000	0,381	Maurice	41	-0,0117	0,31
Réunion	32	-0,0002	0,000	Réunion	31	0,0020	0,89

Graphique 3. Nombre des chocs de températures et de précipitations par année (sur série mensuelle à 756 observations)



4. Résultats par mois

Les études utilisant des données nationales (Météo-France, 2009, MEDDE, 2012) ont identifié des différences notables de résultats selon les mois de l'année, ce que nous cherchons à vérifier ici sur les données CRU par mois (graphique 5).

Températures

Les courbes des températures selon les mois de l'année transcrivent les variations saisonnières connues en zone tropicale, avec des températures élevées d'octobre à mars, et plus faible en juin, juillet, août (graphique 6). Il semble apparaître une plus forte instabilité des températures pendant les premiers mois et au milieu de l'année (une amplitude en moyenne de 2°C). Comme le montre le tableau 5, Maurice présente la plus forte instabilité sur tous les mois avec en moyenne un écart-type de 0,60°C, quelque fois surpassée par la Réunion (en mai-juin, les autres mois l'écart-type est d'environ 0,55°C). Les Comores et Mayotte présentent un écart-type plus faible, de l'ordre de 0,35 à 0,50°C. Les coefficients d'asymétrie sont relativement faibles, ne révélant donc pas de dominance de chocs positifs ou négatifs. Les coefficients d'excès de kurtosis sont la plupart du temps faibles et négatifs, traduisant des distributions (faiblement) aplaties. Les Comores et Mayotte ont des distributions semblables de même que la Réunion et Maurice.

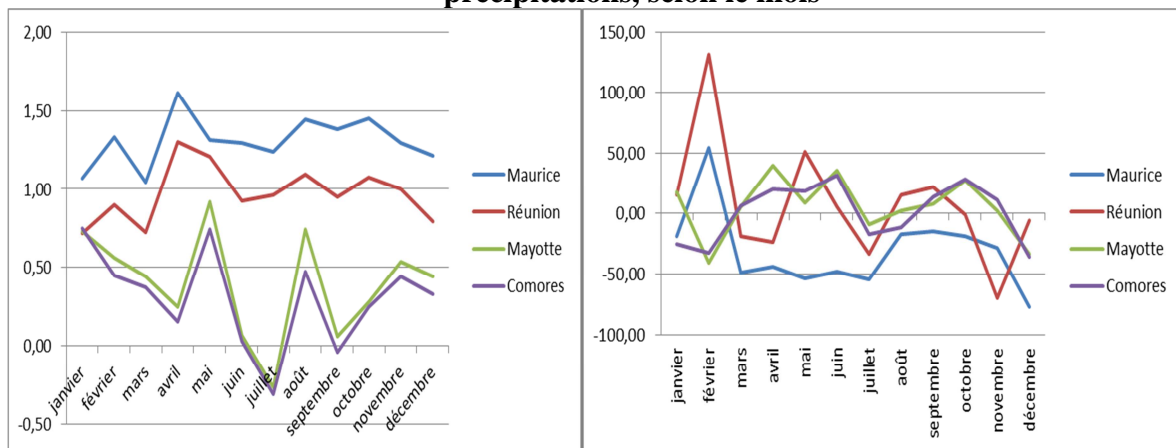
Pour La Réunion et Maurice, la hausse des températures est significative pour l'ensemble des mois de l'année (particulièrement en avril-mai pour La Réunion) alors que pour les Comores et Mayotte, cette hausse n'est clairement significative que dans les mois de novembre à février, ainsi qu'en mai et août. Le tableau 7 montre que les chocs sont globalement peu nombreux dans ces îles avec des fréquences relativement plus élevées à la Réunion (mois de Juin) et à Mayotte (mois de Mars) et plus faibles pour Maurice et Comores (aucun choc durant les mois d'Août et Octobre pour les deux îles ; 1 seul choc pour les mois de Juillet à Maurice). Toutefois, les tendances dans l'instabilité sont significativement négatives à la Réunion pendant le mois d'avril; et aux Comores, à Mayotte en Mai, Juillet et Septembre.

Précipitations

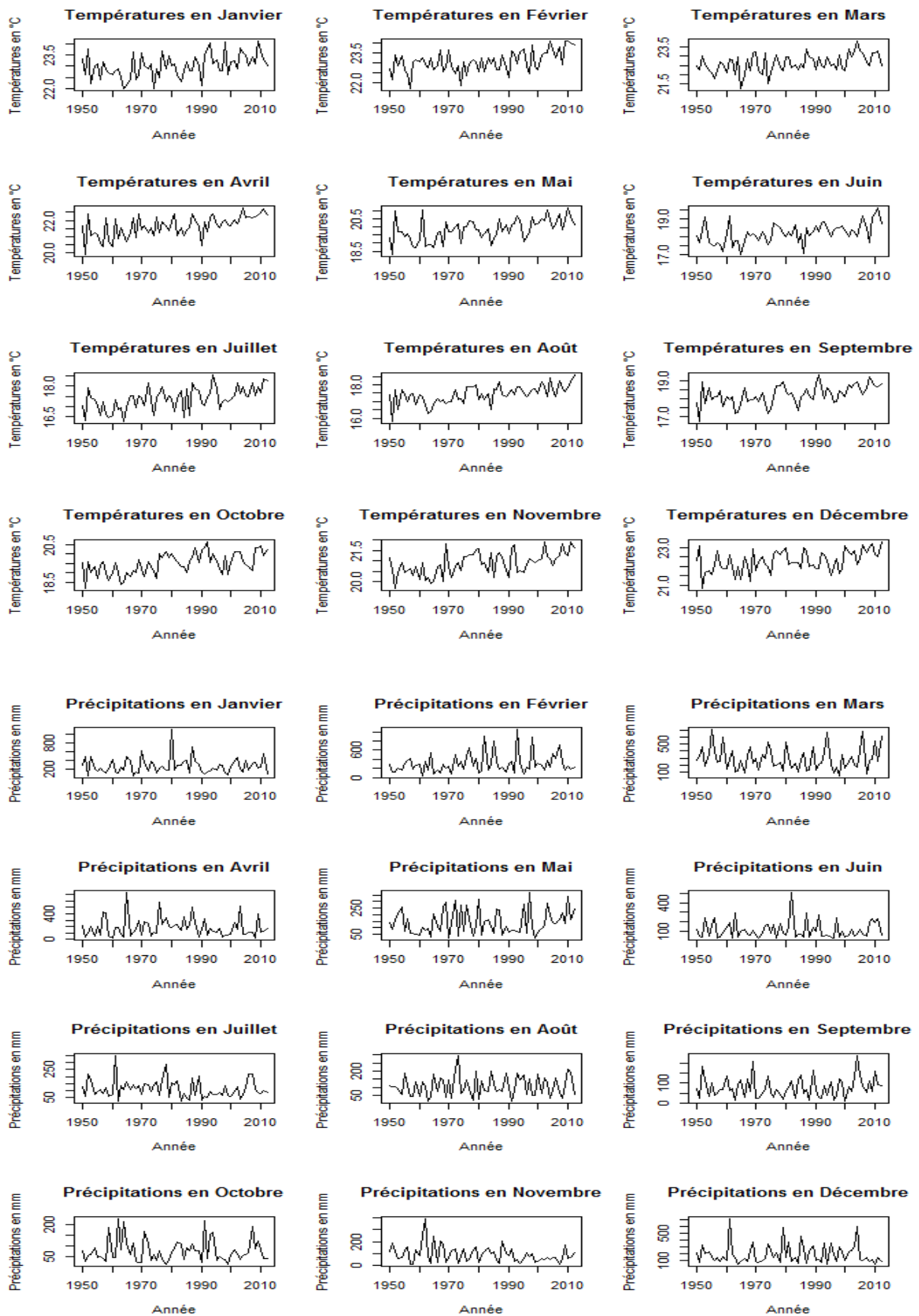
Les précipitations présentent une variabilité relativement forte, particulièrement dans les premiers mois de l'année. Presque systématiquement, la Réunion présente les écart-types les plus élevés (excepté sur le mois de juillet). Les coefficients d'asymétrie sont positifs quel que soit le mois, mais les mois de juillet, octobre et novembre présentent des coefficients d'asymétrie les plus élevés. La Réunion connaît relativement plus de mois à coefficient d'asymétrie élevé. Les excès de kurtosis sont quant à eux positifs dans la majorité des cas. En outre, la Réunion présente des excès de kurtosis particulièrement élevés pour les mois de janvier, février, avril, juin, juillet, novembre et décembre, signalant des chocs peu fréquents mais extrêmes.

Aucune tendance significative n'apparaît pour les Comores et Mayotte, quel que soit le mois. On note une baisse significative de la tendance dans les précipitations à Maurice pour les mois de juin et juillet. A la Réunion, la baisse des précipitations est significative dans les soixante dernières années au mois de novembre, alors que le mois de février est marqué par une hausse significative. Les tendances dans l'instabilité sont significativement en baisse aux Comores (Juillet, Septembre, Octobre), à Maurice (de Juin à Octobre), et à Mayotte (Août, Septembre, Octobre).

Graphique 4. Variations moyennes entre 1950 et 2012 des températures et précipitations, selon le mois



Graphique 5. Températures et précipitations à la Réunion selon les mois de l'année



Graphique 6. Variations saisonnières des températures et des précipitations

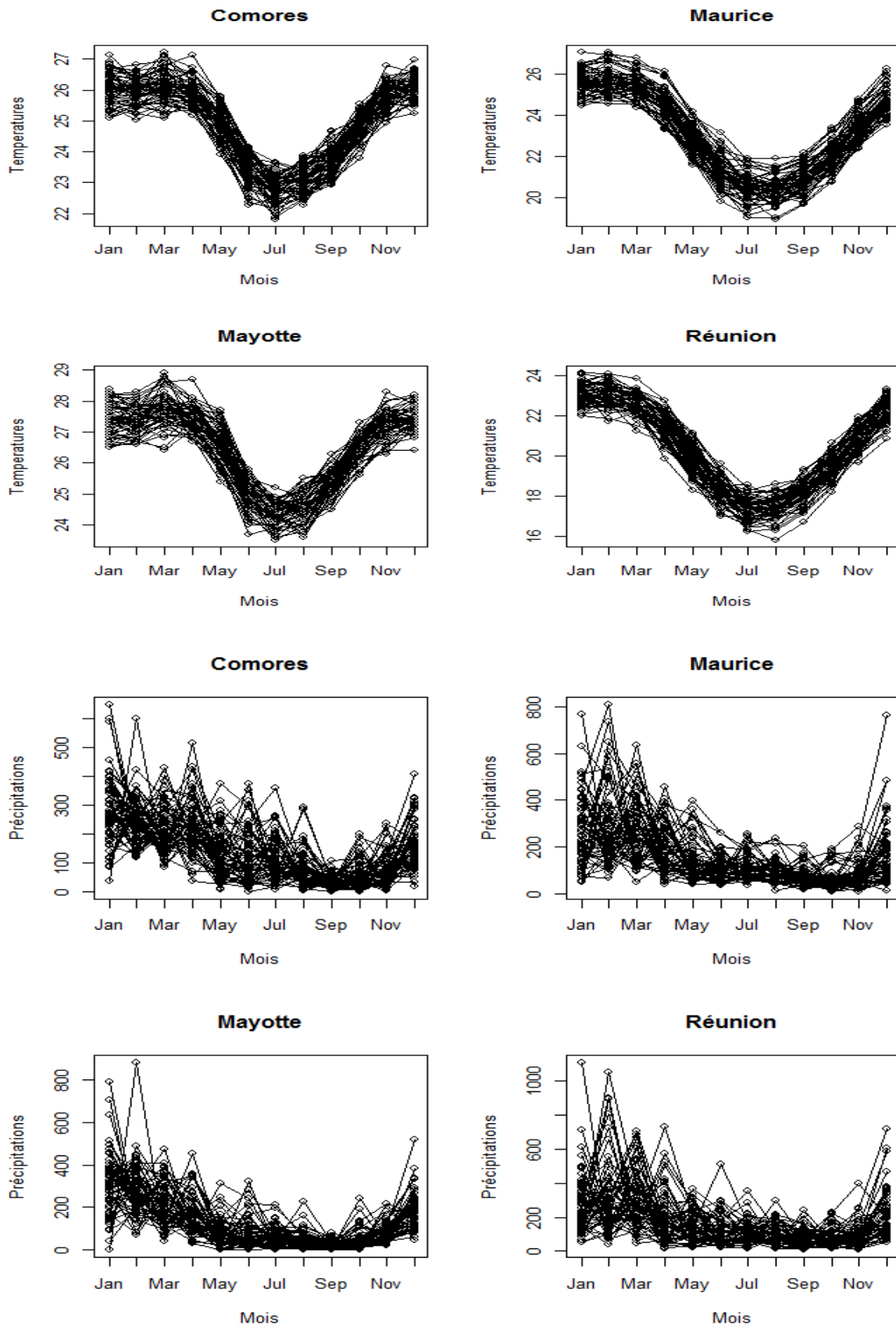


Tableau 5. Températures, statistiques simples selon le mois
 (*significatifs à 10%, ** : 5% ; *** :1%)

janvier	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion	février	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion	mars	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion
pente	0,012***	0,012***	0,017***	0,011***	pente	0,007***	0,009***	0,021***	0,014***	pente	0,006	0,007	0,017***	0,011***
moyenne	26,06	27,44	25,61	23,02	moyenne	25,95	27,36	25,66	23,06	moyenne	26,16	27,75	25,48	22,62
écart-type	0,49	0,51	0,58	0,51	écart-type	0,39	0,41	0,59	0,52	écart-type	0,47	0,52	0,54	0,50
max	27,14	28,40	27,10	24,11	max	26,83	28,30	27,10	24,06	max	27,24	28,90	26,81	23,82
min	25,08	26,50	24,50	22,00	min	25,04	26,60	24,58	21,72	min	25,09	26,40	24,37	21,24
mediane	26,08	27,40	25,59	23,00	mediane	25,93	27,40	25,50	23,06	mediane	26,20	27,70	25,46	22,58
asymetrie	-0,02	0,04	0,10	0,09	asymetrie	-0,09	0,02	0,64	-0,09	asymetrie	0,06	-0,05	0,13	-0,18
kurtosis	-0,71	-0,83	-0,45	-0,39	kurtosis	-0,52	-0,46	-0,08	-0,20	kurtosis	-0,15	0,29	-0,27	-0,09
origine	25,68	27,07	25,07	22,65	origine	25,72	27,07	24,99	22,60	origine	25,97	27,53	24,95	22,25
fin	26,43	27,80	26,14	23,37	fin	26,17	27,64	26,32	23,50	fin	26,34	27,97	26,00	22,97
différence	0,75	0,73	1,07	0,72	différence	0,45	0,56	1,33	0,90	différence	0,37	0,44	1,05	0,72
avril	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion	mai	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion	juin	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion
pente	0,002	0,004	0,026***	0,021***	pente	0,012***	0,015***	0,021***	0,019***	pente	0,000	0,001	0,020***	0,015***
moyenne	25,91	27,44	24,58	21,63	moyenne	24,94	26,62	22,88	19,81	moyenne	23,44	24,97	21,28	18,22
écart-type	0,39	0,39	0,65	0,64	écart-type	0,46	0,52	0,62	0,66	écart-type	0,46	0,46	0,66	0,54
max	27,15	28,70	26,15	22,77	max	25,79	27,70	24,22	21,15	max	24,18	25,80	23,16	19,61
min	25,17	26,70	23,29	19,83	min	23,91	25,40	21,59	18,26	min	22,27	23,70	19,80	17,00
mediane	25,89	27,40	24,62	21,63	mediane	25,00	26,60	22,85	19,79	mediane	23,43	25,00	21,23	18,20
asymetrie	0,61	0,44	0,06	-0,52	asymetrie	-0,15	-0,10	0,00	-0,11	asymetrie	-0,46	-0,47	0,38	0,13
kurtosis	0,62	0,26	-0,04	-0,19	kurtosis	-0,56	-0,39	-0,55	-0,49	kurtosis	-0,33	-0,24	0,45	0,06
origine	25,83	27,32	23,76	20,97	origine	24,57	26,15	22,22	19,20	origine	23,42	24,94	20,62	17,75
fin	25,98	27,57	25,38	22,27	fin	25,31	27,07	23,53	20,41	fin	23,45	25,00	21,91	18,68
différence	0,15	0,25	1,61	1,30	différence	0,74	0,92	1,31	1,21	différence	0,03	0,07	1,29	0,92

juillet	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion		août	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion		septembre	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion
pente	-0,005**	-0,004*	0,020***	0,015***		pente	0,007***	0,012***	0,023***	0,017***		pente	-0,001	0,001	0,022***	0,015***
moyenne	22,81	24,34	20,52	17,38		moyenne	23,11	24,58	20,36	17,42		moyenne	23,72	25,37	20,92	18,21
écart-type	0,42	0,40	0,62	0,53		écart-type	0,42	0,48	0,58	0,53		écart-type	0,40	0,39	0,59	0,53
max	23,65	25,20	21,91	18,56		max	23,87	25,50	21,90	18,60		max	24,68	26,30	22,18	19,34
min	21,81	23,50	19,03	16,25		min	22,28	23,60	18,93	15,79		min	22,93	24,50	19,66	16,68
mediane	22,84	24,30	20,57	17,45		mediane	23,11	24,60	20,38	17,49		mediane	23,75	25,40	20,85	18,22
asymetrie	-0,31	-0,21	-0,03	-0,14		asymetrie	-0,05	-0,08	0,14	-0,47		asymetrie	0,13	-0,02	0,05	-0,40
kurtosis	-0,19	-0,62	0,26	-0,44		kurtosis	-0,99	-0,68	0,25	0,66		kurtosis	-0,27	-0,17	-0,47	0,13
origine	22,97	24,47	19,89	16,89		origine	22,87	24,20	19,63	16,86		origine	23,74	25,34	20,22	17,73
fin	22,66	24,21	21,13	17,85		fin	23,34	24,94	21,07	17,96		fin	23,70	25,40	21,60	18,67
différence	-0,31	-0,26	1,24	0,96		différence	0,47	0,74	1,44	1,09		différence	-0,04	0,06	1,38	0,95
octobre	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion		novembre	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion		décembre	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion
pente	0,004	0,004*	0,023***	0,017***		pente	0,007***	0,009***	0,021***	0,016***		pente	0,005**	0,007**	0,019***	0,013***
moyenne	24,83	26,56	22,00	19,50		moyenne	25,84	27,30	23,47	20,89		moyenne	26,08	27,39	24,75	22,28
écart-type	0,36	0,37	0,61	0,55		écart-type	0,38	0,41	0,59	0,54		écart-type	0,36	0,37	0,59	0,54
max	25,55	27,30	23,38	20,66		max	26,81	28,30	24,81	21,94		max	26,98	28,20	26,30	23,31
min	23,79	25,60	20,74	18,19		min	24,94	26,30	22,39	19,68		min	25,24	26,40	23,57	20,85
mediane	24,93	26,60	22,03	19,52		mediane	25,88	27,40	23,47	20,92		mediane	26,08	27,40	24,70	22,20
asymetrie	-0,56	-0,58	0,16	-0,08		asymetrie	-0,23	-0,38	0,36	-0,02		asymetrie	-0,07	0,14	0,48	-0,24
kurtosis	0,02	0,02	-0,45	-0,59		kurtosis	-0,16	-0,03	-0,39	-0,66		kurtosis	-0,11	0,11	0,19	-0,36
origine	24,70	26,42	21,26	18,95		origine	25,61	27,02	22,81	20,38		origine	25,91	27,17	24,13	21,88
fin	24,95	26,70	22,71	20,02		fin	26,05	27,56	24,10	21,38		fin	26,24	27,61	25,35	22,67
différence	0,25	0,28	1,45	1,07		différence	0,44	0,54	1,29	1,00		différence	0,33	0,44	1,21	0,79

Tableau 6. Précipitations, statistiques simples selon le mois
 (*significatifs à 10%, ** : 5% ; *** :1%)

janvier	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion	février	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion	mars	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion
penne	-0,400	0,281	-0,294	0,248	penne	-0,517	-0,645	0,861	2,092*	penne	0,097	0,085	-0,779	-0,295
moyenne	285,41	317,31	263,33	270,27	moyenne	244,38	275,61	281,91	304,80	moyenne	220,26	214,19	268,21	289,46
écart-type	118,27	146,07	148,84	177,79	écart-type	82,50	122,21	160,87	210,88	écart-type	79,02	96,16	130,65	160,81
max	648,10	789,09	768,22	1103,48	max	600,83	878,90	808,86	1049,61	max	428,17	473,45	635,70	706,62
min	36,62	2,70	51,66	50,07	min	120,51	73,61	68,50	39,07	min	87,57	39,90	52,92	47,90
mediane	272,26	308,23	245,67	218,98	mediane	241,94	272,23	229,01	247,45	mediane	218,49	205,42	255,18	260,19
asymetrie	0,66	0,63	0,90	2,01	asymetrie	1,28	1,84	1,34	1,68	asymetrie	0,50	0,48	0,62	0,85
kurtosis	1,18	1,28	0,94	6,61	kurtosis	4,24	8,12	1,53	2,92	kurtosis	-0,27	-0,37	-0,15	0,17
origine	298,22	308,32	272,75	262,33	origine	260,91	296,23	254,36	237,85	origine	217,15	211,47	293,15	298,91
fin	273,01	326,03	254,20	277,95	fin	228,37	255,62	308,60	369,65	fin	223,28	216,82	244,04	280,31
différence	-25,21	17,71	-18,55	15,62	différence	-32,54	-40,61	54,25	131,80	différence	6,13	5,36	-49,10	-18,60
avril	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion	mai	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion	juin	Comores	Mayotte	Maurice	Réunion
penne	0,321	0,634	-0,701	-0,370	penne	0,291	0,136	-0,851	0,813	penne	0,504	0,568	-0,761**	0,093
moyenne	221,29	160,82	194,90	185,92	moyenne	127,55	76,54	141,11	142,66	moyenne	119,52	72,62	110,08	110,81
écart-type	89,73	88,67	96,57	145,21	écart-type	80,72	63,06	83,69	90,38	écart-type	89,38	69,06	50,29	89,77
max	513,04	453,25	455,81	730,25	max	375,43	314,23	398,39	368,50	max	374,05	320,64	260,67	507,28
min	39,40	31,40	42,81	15,16	min	9,26	0,80	42,64	18,52	min	2,42	0,50	39,28	21,60
mediane	211,69	129,11	164,25	154,01	mediane	106,77	59,91	112,24	114,75	mediane	96,85	51,11	103,77	72,72
asymetrie	0,79	1,24	0,63	1,54	asymetrie	0,82	1,48	1,40	0,71	asymetrie	0,96	1,65	0,90	1,82
kurtosis	1,09	1,31	-0,27	2,67	kurtosis	0,22	2,78	1,33	-0,56	kurtosis	0,37	2,79	0,88	4,73
origine	211,01	140,55	217,32	197,76	origine	118,24	72,21	168,35	116,63	origine	103,40	54,44	134,43	107,85
fin	231,26	180,46	173,17	174,45	fin	136,57	80,75	114,73	167,87	fin	135,14	90,23	86,49	113,68
différence	20,25	39,91	-44,15	-23,31	différence	18,33	8,54	-53,61	51,24	différence	31,73	35,78	-47,95	5,83

juillet	Comores	Maurice	Mayotte	Réunion		août	Comores	Maurice	Mayotte	Réunion		septembre	Comores	Maurice	Mayotte	Réunion
pente	-0,266	-0,865**	-0,141	-0,527		pente	-0,185	-0,268	0,034	0,244		pente	0,215	-0,237	0,128	0,347
moyenne	104,43	108,74	61,91	109,17		moyenne	77,60	94,84	43,13	107,38		moyenne	34,23	71,64	24,62	78,48
écart-type	71,13	51,14	45,28	63,70		écart-type	58,75	44,44	40,29	61,11		écart-type	23,61	39,93	19,64	49,78
max	358,00	257,32	210,92	353,48		max	294,24	236,20	225,02	296,93		max	106,85	205,48	81,21	240,21
min	8,13	36,29	0,50	17,92		min	5,77	13,07	0,80	13,60		min	2,33	17,93	0,10	7,94
mediane	85,33	93,31	54,01	91,50		mediane	68,31	84,77	32,90	96,19		mediane	29,31	59,89	17,80	67,87
asymetrie	1,24	1,17	1,07	1,34		asymetrie	1,71	1,30	1,98	0,58		asymetrie	0,93	1,32	0,97	0,96
kurtosis	1,64	0,72	1,53	2,66		kurtosis	3,74	2,15	5,93	-0,08		kurtosis	0,36	1,68	0,15	0,90
origine	112,95	136,44	66,41	126,04		origine	83,53	103,40	42,04	99,58		origine	27,36	79,22	20,51	67,39
fin	96,17	81,91	57,55	92,81		fin	71,86	86,54	44,19	114,94		fin	40,88	64,30	28,60	89,23
différence	-16,79	-54,52	-8,86	-33,23		différence	-11,67	-16,86	2,14	15,36		différence	13,52	-14,92	8,09	21,84
octobre	Comores	Maurice	Mayotte	Réunion		novembre	Comores	Maurice	Mayotte	Réunion		décembre	Comores	Maurice	Mayotte	Réunion
pente	0,453	-0,301	0,439	-0,011		pente	0,179	-0,452	0,036	-1,102**		pente	-0,571	-1,227	-0,533	-0,094
moyenne	56,84	59,70	45,56	76,56		moyenne	75,75	78,17	78,77	93,13		moyenne	168,30	170,12	189,44	196,92
écart-type	44,29	41,86	45,74	52,61		écart-type	53,67	55,48	46,88	70,09		écart-type	78,35	129,21	82,58	138,19
max	199,58	192,66	240,83	230,26		max	237,05	289,66	219,22	397,03		max	405,70	761,56	519,16	718,88
min	2,06	10,97	1,20	13,82		min	5,40	10,93	20,00	7,57		min	19,25	16,49	45,10	50,17
mediane	40,35	51,14	31,30	59,80		mediane	56,70	65,06	67,91	73,32		mediane	158,35	148,33	191,72	149,37
asymetrie	1,45	1,73	2,19	1,36		asymetrie	1,18	1,78	1,22	1,65		asymetrie	0,71	2,02	1,09	1,74
kurtosis	1,81	2,68	5,55	1,29		kurtosis	1,10	3,48	1,29	4,46		kurtosis	0,41	6,17	2,85	3,41
origine	42,34	69,33	31,50	76,89		origine	70,00	92,63	77,63	128,40		origine	186,58	209,40	206,49	199,93
fin	70,89	50,38	59,17	76,23		fin	81,31	64,17	79,87	58,97		fin	150,60	132,08	172,92	194,01
différence	28,55	-18,95	27,67	-0,67		différence	11,31	-28,46	2,25	-69,43		différence	-35,98	-77,32	-33,57	-5,91

Tableau 7. Températures, chocs et tendance dans l'instabilité selon le mois

Janvier				Février				Mars			
Pays	Chocs			Pays	Chocs			Pays	Chocs		
	nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value
Comores	4	-0,0006	0,778	Comores	2	-0,0002	0,916	Comores	4	-0,0008	0,684
Maurice	2	-0,0020	0,553	Maurice	3	0,0018	0,58	Maurice	2	-0,0024	0,41
Mayotte	3	0,0010	0,62	Mayotte	1	0,0002	0,90	Mayotte	5	-0,0018	0,50
Réunion	2	-0,0011	0,72	Réunion	2	0,0010	0,72	Réunion	2	-0,0015	0,54
Avril				Mai				Juin			
Pays	Chocs			Pays	Chocs			Pays	Chocs		
	nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value
Comores	3	0,0005	0,776	Comores	2	-0,0065	0,026	Comores	3	0,0048	0,149
Maurice	3	-0,0035	0,09	Maurice	2	-0,0015	0,66	Maurice	4	-0,0012	0,75
Mayotte	2	-0,0015	0,38	Mayotte	2	-0,0071	0,02	Mayotte	3	0,0060	0,07
Réunion	3	-0,0097	0,00	Réunion	3	-0,0066	0,10	Réunion	5	-0,0021	0,53
Juillet				Août				Septembre			
Pays	Chocs			Pays	Chocs			Pays	Chocs		
	nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value
Comores	3	0,0101	0,001	Comores	0	-0,0022	0,435	Comores	2	0,0059	0,041
Maurice	1	-0,0004	0,92	Maurice	3	-0,0036	0,22	Maurice	4	-0,0026	0,40
Mayotte	1	0,0112	0,00	Mayotte	1	-0,0048	0,12	Mayotte	3	0,0060	0,03
Réunion	3	-0,0026	0,41	Réunion	3	-0,0048	0,11	Réunion	4	-0,0025	0,44
Octobre				Novembre				Décembre			
Pays	Chocs			Pays	Chocs			Pays	Chocs		
	nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value
Comores	2	0,0013	0,620	Comores	3	-0,0014	0,493	Comores	3	0,0000	0,981
Maurice	0	-0,0038	0,24	Maurice	2	-0,0013	0,70	Maurice	1	0,0014	0,45
Mayotte	3	0,0022	0,38	Mayotte	4	-0,0028	0,11	Mayotte	2	0,0007	0,65
Réunion	2	-0,0045	0,16	Réunion	1	-0,0033	0,30	Réunion	2	-0,0017	0,40

Tableau 8. Précipitations, chocs et tendance dans l'instabilité selon le mois

Janvier				Février				Mars			
Pays	Chocs			Pays	Chocs			Pays	Chocs		
	nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value
Comores	4	0,1574	0,83	Comores	1	-0,1783	0,72	Comores	2	0,1297	0,76
Maurice	2	0,4610	0,58	Maurice	4	1,3763	0,18	Maurice	3	0,5334	0,49
Mayotte	4	0,3180	0,71	Mayotte	1	-0,5143	0,48	Mayotte	1	-0,0805	0,85
Réunion	2	-0,0523	0,96	Réunion	4	1,2393	0,33	Réunion	4	0,1665	0,85
Avril				Mai				Juin			
Pays	Chocs			Pays	Chocs			Pays	Chocs		
	nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value
Comores	4	0,3008	0,55	Comores	2	-0,3410	0,32	Comores	4	0,1560	0,67
Maurice	3	0,2132	0,63	Maurice	5	-0,5277	0,11	Maurice	2	-0,5860	0,02
Mayotte	6	-0,1146	0,76	Mayotte	3	-0,4682	0,17	Mayotte	3	-0,2638	0,44
Réunion	4	-0,2819	0,67	Réunion	2	-0,2411	0,47	Réunion	2	-0,1489	0,71
Juillet				Août				Septembre			
Pays	Chocs			Pays	Chocs			Pays	Chocs		
	nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value
Comores	4	-0,8197	0,01	Comores	3	-0,4188	0,15	Comores	3	-0,7858	0,00
Maurice	3	-0,7074	0,01	Maurice	4	-0,9365	0,00	Maurice	3	-0,9724	0,00
Mayotte	3	-0,4168	0,18	Mayotte	2	-0,5909	0,02	Mayotte	4	-0,6611	0,00
Réunion	2	0,1797	0,58	Réunion	1	-0,3682	0,34	Réunion	3	-0,3513	0,27
Octobre				Novembre				Décembre			
Pays	Chocs			Pays	Chocs			Pays	Chocs		
	nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value		nbre	Tend	p-value
Comores	3	-0,8556	0,00	Comores	4	-0,7508	0,01	Comores	2	-0,4253	0,21
Maurice	5	-0,9351	0,00	Maurice	4	-0,6790	0,02	Maurice	3	-0,8153	0,19
Mayotte	2	-0,8601	0,00	Mayotte	5	-0,5439	0,07	Mayotte	2	-0,1818	0,62
Réunion	5	-0,1476	0,66	Réunion	3	0,4686	0,20	Réunion	3	0,1932	0,76

Conclusion

Nos résultats sont similaires à ceux trouvés avec les données nationales, notamment pour la Réunion (hausse certaine des températures, inégalement réparties dans l'année ; incertitude s'agissant de l'évolution des précipitations). Nous pourrions donc considérer que l'analyse des données internationales CRU TS (renseignées sur une plus longue période que les données nationales disponibles) peut venir compléter les analyses relatives au climat à l'échelle de ces petits territoires. Ceci est particulièrement intéressant pour les petites îles moins couvertes par les données nationales, comme Mayotte.

Les résultats sont différents selon les îles, même si on observe d'évidentes similitudes entre les couples Comores-Mayotte et Réunion-Maurice. Ces différences portent sur les tendances, les chocs et les tendances dans l'instabilité.

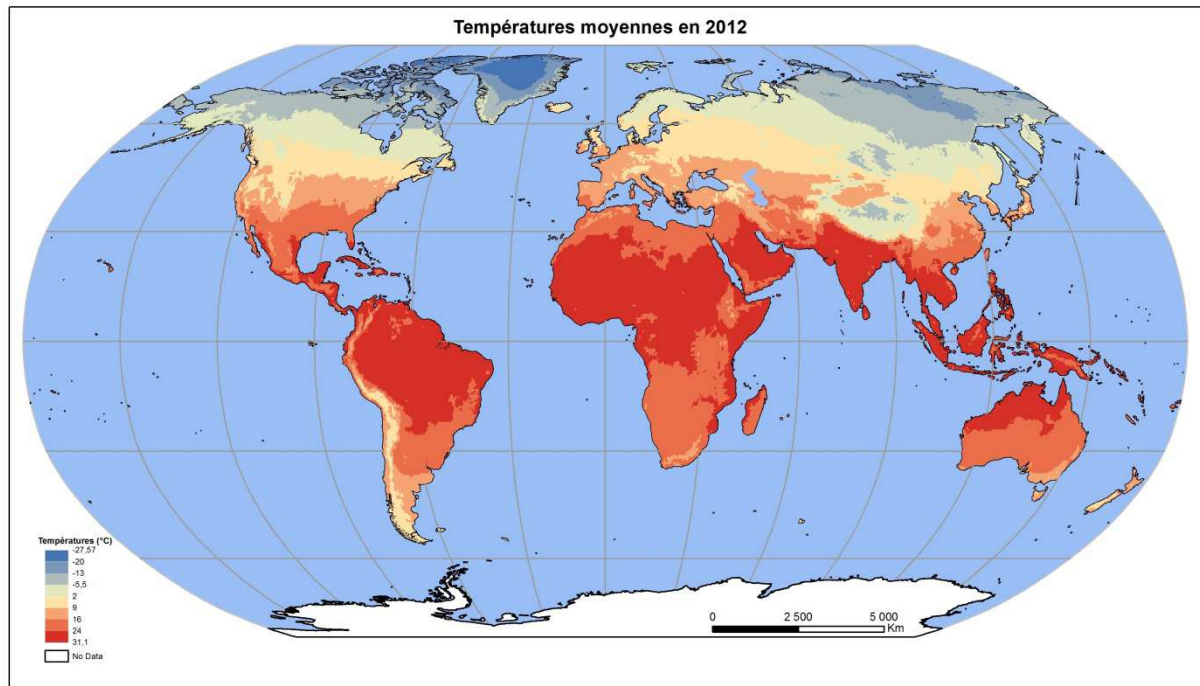
Tout en continuant à limiter notre ambition à l'exploration des séries historiques (en écartant toute tentative de prévision), les réflexions à venir pourraient porter sur les estimations de la tendance, qui est ici supposée linéaire, alors que les données, notamment sur les températures, laissent entrevoir des formes plus complexes. En effet, différentes estimations de la tendance peuvent amener à différents résultats sur la mesure de l'instabilité, de l'asymétrie et des chocs extrêmes (Cariolle et Goujon, 2014). La définition des chocs pourrait aussi assez simplement être revue en choisissant un autre seuil, comme par exemple un écart-type (le seuil pouvant être différent entre la série globale et les séries saisonnières). Une analyse de la sensibilité des résultats à ces différents choix pourrait être menée. Certains de nos résultats pouvant être influencés par l'existence de deux saisons distinctes, nous pourrions effectuer des calculs sur des séries constituées de données sur ces deux saisons.

Références :

- Briffa R., Jones P.D. (1993), Global surface air temperature variations during the twentieth century: Part 2, implications for large-scale high-frequency paleoclimatic studies, *Holocene* 3: 77-88.
- Cariolle J. et Goujon M. (2014), Measuring macroeconomic instability: a critical survey illustrated with export series, *Journal of Economic Surveys* (forthc)
- CRU - University of East Anglia Climatic Research Unit. [Phil Jones, Ian Harris]. CRU TS3.21: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 3.21 of High Resolution Gridded Data of Month-by-month Variation in Climate (Jan. 1901 - Dec. 2012), [Internet]. NCAS British Atmospheric Data Centre, 2013. Available from http://badc.nerc.ac.uk/view/badc.nerc.ac.uk__ATOM__ACTIVITY_0c08abfc-f2d5-11e2-a948-00163e251233; doi: 10.5285/D0E1585D-3417-485F-87AE-4FCECF10A992
- Dell M., Jones B. F. and Olken B. A. (2014), What Do We Learn from the Weather? The New Climate–Economy Literature, *Journal of Economic Literature*, 52(3), pp.740–798, <http://dx.doi.org/10.1257/jel.52.3.740>
- Harris I., Jones P.D., Osborn T.J. and Lister D.H. (2014), Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, 34: 623–642. doi: 10.1002/joc.3711
- GIEC (2007), Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, ..., 103 pages.
- GIEC (2007), Résumé à l'intention des décideurs. In: Bilan 2007 des changements climatiques: Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation. Rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-spm-fr.pdf>
- GIEC (2007), Chapt 16 : Small Islands. Mimura, N., L. Nurse, R.F. McLean, J. Agard, L. Briguglio, P. Lefale, R. Payet and G. Sem, In : *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch16.html
- GIEC (2014), GIEC IPCC Final Draft Report of the Working Group II contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Chapter 29. Small Islands.
- Goujon M., Hoarau J-F. et Rivière F. (2014), Vulnérabilités économique et environnementale comparées des économies ultramarines françaises. Document de Travail (à paraître).
- Guillaumont P. (2013), Measuring Structural Vulnerability to Allocate Development Assistance and Adaptation Resources, FERDI Working Paper 68.
- Guillaumont P et Simonet C. (2011a), Designing an index of structural vulnerability to climate change, FERDI Working Paper / I08 - Mars 2011
- Guillaumont P et Simonet C. (2011b), To What Extent Are African Countries Vulnerable to Climate Change? Lessons from a New Indicator of Physical Vulnerability to Climate Change. FERDI Working Paper / I08 Revised Version - November 2011
- Jones PD, Osborn TJ, Briffa KR (1997), Estimating sampling errors in large-scale temperature averages. *Journal of Climate* 10:2548-2568.

- MEDDE - Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (2014) Le climat de la France au XXI^e siècle - Volume 4 - Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. Rapport, Sous la direction de Jean JOUZEL.
- MEDDE - Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (2012), Explore 2070 – Eau et changement climatique, Hydrologie de surface, B3 – Hydrologie DOM, Octobre 2012
- Météo-France (2009), Étude pour l'identification des évolutions du changement climatique à La Réunion, Direction interrégionale de La Réunion, 78 p.
- Mitchell, T.D., M. Hulme, and M. New (2002): 'Climate Data for Political Areas', Area, 34(1), 109-112.
- Mitchell, T.D., T.R. Carter, P.D. Jones, M. Hulme, and M. New (2004): A Comprehensive Set of High-Resolution Grids of Monthly Climate for Europe and the Globe: the observed record 1901-2000 and 16 scenarios 2001-2100' , Technical Report Tyndall Working Paper 55, Tyndall Centre for Climate Change Research, UEA, Norwich.
- Mitchell, T.D. and Jones, P.D. (2005), An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. International Journal of Climatology 25, 693-712
- ONERC-Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique en France métropolitaine et dans les départements et territoires d'Outre-mer (2012), Le Climat de la France au XXI^e siècle.
- Volume 1 : Scénarios régionalisés - janvier 2011, Chapitre 8 sur l'Outre-Mer (cas de La Réunion).<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Scenarios-regionalisés-janvier.html>
- ONERC Les outre-mer face au défi du changement climatique, Rapport au Premier ministre et au Parlement, décembre 2012
- UICN et ONERC (2010), Changement climatique et biodiversité dans l'outre-mer européen. dir. Petit J. et Prudent G.. Gland, Suisse et Bruxelles, Belgique : UICN, 192 pages. <http://www.cbd.int/islands/doc/idr/Climate%20Change%20and%20Biodiversity%20in%20EU%20overseas%20entities/Reunion%20publication-fr.pdf>

La base CRU-TS v3.21 Historic Climate Database for GIS



Description⁷

In September 2013, the University of East Anglia officially released the CRU-TS 3.21 Climate Database (See the official data release at <http://badc.nerc.ac.uk/data/cru>). This new version of database covers from 1901 to 2012, globally at 0.5 degree spatial resolution on land areas.

The database contains following ten variables. Each variable was scaled by the factor described in the table to store as integer.

cld	cloud cover (%)
dtr	diurnal temperature range (degree Celcius)
frs	frost day frequency (days)
per	Potential Evapo-Transpiration (Millimetres)
pre	precipitation (mm)
tmp	daily mean temperature (degree Celcius)
tmn	monthly average daily minimum temperature (degree Celcius)
tmx	monthly average daily maximum temperature (degree Celcius)
vap	vapour pressure (hecta-Pascals)
wet	wet day frequency (days)

This work was supported by the Integrated Pest Management Collaborative Research Support Program (IPM CRSP), an initiative of the U.S. Agency for International Development (USAID).

⁷ In July 2012, UEA issued a patch on the PRE variable (precipitation) of the v3.10, noting: “A systematic error was discovered in the CRUTS v3.10 process generating the precipitation, wet days and frost frequency data files. New precipitation data files (version 3.10.01) have been generated and are now available in the archive.” The PRE raster layers in the [Download] has been updated accordingly.