



# Analyse environnement et changement climatique en milieu rural au Niger

Rapport sur les changements et les services climatiques dans les sites de Karkara, Sahiya, Darey et Toungfani

Novembre 2017



## Analyse climatique et services climatiques

**Analyse environnementale et changement climatique dans trois communes  
d'intervention du PAM au Niger**

**Rapport global de l'analyse climatique, des services climatiques et des interventions du PAM dans les  
sites de Karkara, Sahiya, Darey et Toungfina (Niger)**

27 novembre 2017



Ce rapport a été réalisé dans le cadre d'une prestation entre le Programme Alimentaire Mondial (PAM) - Niger et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

L'étude a été réalisée par une équipe pluridisciplinaire franco-nigérienne composée de :

Ramatou Hassane, LASDEL, Université de Tillabery, Niger Bénédicte

Gastineau, IRD, France

Françoise Guichard, CNRS, France

Benjamin Sultan, IRD, France

Théo Vishel, Université Grenoble Alpes, Grenoble (France)

avec l'appui d'Oumarou Malam Issa (IRD) et Gregory Giraud (IRD).

L'objectif de la prestation est d'analyser les tendances climatiques et socio-économiques dans quatre sites (Darey, Toungfina, Sahiya et Karkara) répartis dans trois communes (Toudikiwindi, Bagaroua et Allakaye) au Niger.

Ce rapport fait partie d'un ensemble de trois documents produits dans le cadre de la prestation PAM - IRD.

- 1 - Rapport succinct
- 2 - Rapport spécifique sur le Changement Climatique et les services climatiques
- 3 - Rapport global de l'analyse climatique et socio-économique et des interventions du PAM.

## **Changement climatique sur les sites de Darey, Allakaye, Tondikiwindi et Bagaroua : vision régionale et déclinaison locale**

La présente note fait état de l'évolution récente du climat dans la région ouest du Niger et en particulier Darey, Allakaye, Tondikiwindi et Bagaroua, quatre villages suivis par le Programme Alimentaire Mondial (PAM). Il est attendu sur ces villages de mieux comprendre la variabilité du climat, la perception qu'en ont les populations villageoises et comment elles définissent des stratégies pour s'y adapter.

On documente ici deux variables climatiques, la précipitation et la température qui jouent un rôle majeur dans la productivité agricole au Sahel. Les pluies conditionnent le contenu en eau des sols. Un déficit de pluie et/ou un excès de température prolongés peut donc être très préjudiciable pour les rendements. A contrario un excès brutal de précipitations sous l'effet d'orages trop intenses ou des températures maximales trop fortes au-delà des limites physiologiques de résistance des plantes peut conduire à la destruction irréversible des cultures. Ces variables climatiques sont très directement liées aux conditions atmosphériques régionales. Elles subissent donc une forte variabilité liée au fonctionnement intrinsèque de la mousson d'Afrique de l'Ouest, lui-même pouvant être influencé par les conditions atmosphériques globales. Ces variables ont évolué par le passé et continueront d'évoluer dans le futur.

La problématique de perception nécessite de confronter les évolutions du climat telles qu'on peut les documenter à partir de l'analyse des mesures météorologiques in-situ et telles qu'elles sont retranscrites par les populations par le biais d'enquêtes menées au sein des quatre villages. Cette confrontation pourrait présenter a priori quelques contraintes : (i) être restreindre aux vingt dernières années, durée « raisonnable » pour solliciter la mémoire des villageois actifs, (ii) se limiter aux quatre sites d'études, puisqu'on ne dispose pas d'information de perception ailleurs. Cependant pour mener notre analyse climatique, nous proposons d'étendre notre analyse à la fois dans le temps et dans l'espace.

Le Sahel a connu des évolutions climatiques très contrastées depuis les années 1950, avec une période relativement humide de 1950 à 1970 suivie d'une période de sécheresse extrême dont la fin présumée dans les années 1990 a fait débat<sup>1-5</sup>. La littérature récente semble depuis montrer à l'échelle du Sahel un retour des précipitations moyennes annuelles à un niveau plus élevé que durant la sécheresse mais qui reste plus faible que durant la période humide<sup>6,7</sup>. Cette augmentation moyenne est vraisemblablement liée à une augmentation significative des événements pluvieux les plus intenses<sup>8,9</sup>. Nous souhaitons donc mettre en évidence si une telle intensification des pluies peut être détectée sur les sites du PAM. La situation climatique des vingt dernières années telle que l'on peut la documenter via les enquêtes et les données sera donc aussi caractérisée au regard des décennies précédentes. La période 1950-2015 sera donc couverte pour la présente analyse des données climatiques.

En plus de couvrir une longue période, nous proposons aussi de fournir en complément de l'analyse locale par site, une analyse du climat à une échelle plus régionale (sud-ouest nigérien) et ce, pour deux raisons : (i) méthodologique d'abord car l'évolution de certains indices climatiques, dont certains seront développés dans la présente étude, est souvent trop bruitée pour y détecter de façon robuste

de potentielles tendances, (ii) scientifique ensuite car les évolutions régionales étant plus facilement détectables et lissées qu'à l'échelle locale, on peut supposer qu'elles sont aussi plus proches de la perception des populations potentiellement « filtrée » par la mémoire humaine. Cette hypothèse de travail sera évidemment à vérifier par la présente étude.

## ANALYSE DES PRECIPITATIONS

T. Vischel<sup>1</sup>, G. Panthou<sup>1</sup>, G. Quantin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE, CNRS / IRD / UGA / INPG)

Les données climatiques utilisées seront présentées dans la section 1. Nous dresserons ensuite (section 3) les grands traits du régime de précipitation et son évolution depuis les années 1950. Nous décrirons comment a évolué le régime des pluies annuelles (section 2.1). Nous verrons comment la saison des pluies a pu être modifiée en analysant l'évolution de sa date de démarrage, de retrait et sa durée (section 2.2). Nous fournirons ensuite des indications sur l'évolution du nombre et de l'intensité des jours pluvieux (section 2.3) avec un zoom sur l'évolution des précipitations les plus intenses et des séquences sèches.

### 1. Analyse des précipitations

#### 1.1. Région d'étude

Le domaine d'étude est défini entre les longitudes 0° et 7°E et les latitudes 12°-16°N (Figure 1a). Ce domaine couvre le sud-ouest du Niger et inclut les quatre sites villageois sur lesquels ont été menées les enquêtes. Ce domaine permet donc de réaliser conjointement l'analyse climatique à l'échelle régionale du sud-ouest nigérien suffisamment large pour en étudier de façon robuste la climatologie et locale des sites d'étude.

#### 1.2. Précipitations

Les données de précipitation utilisées proviennent des réseaux nationaux de pluviomètres journaliers maintenus par la Direction de la Météorologie Nationale du Niger (DMN). La majeure partie des données a été acquise au cours de plusieurs projets de recherche menés sur les trente dernières années à l'IRD. Certaines séries pluviométriques ont été actualisées sur la décennie la plus récente dans le cadre du présent projet.

La nécessité de disposer de séries pluviométriques de qualité sur le long terme (période 1950-2015) nous a conduits à sélectionner une vingtaine de stations sur la fenêtre d'étude (Figure 1a). Ces données présentant moins de 5% de lacunes journalières sur la totalité de la durée de fonctionnement. Aucune station n'a pu être sélectionnée au droit des quatre sites soit parce qu'elles n'existaient pas, soit parce que les séries acquises ne couvraient pas la période d'étude ou de façon trop lacunaire. Pour chaque village nous avons donc sélectionné la station disponible la plus représentative du climat de chaque village en privilégiant la distance géographique la plus proche et la pluviométrie moyenne annuelle la plus semblable. La Figure 1a rend compte de la configuration du réseau régional et du choix des stations affectées aux quatre sites locaux.

Dans la suite du rapport nous mentionnerons plus spécifiquement les stations de Ouallam comme proxy du site de Tondikiwindi, Filingue comme proxy du site de Darey, Tahoua comme proxy du site de Bagaroua et Bouza comme proxy du site d'Allakaye. L'adéquation peut être considérée comme convenable pour les sites de Tondikiwindi et d'Allakaye. Bagouroua et Tahoua sont éloignés de cent

kilomètres mais se positionnent sur les mêmes lignes isohyètes et sont donc a priori climatologiquement proches. Il faudra être plus prudent sur l'adéquation entre Darey et Filingue dont le choix résulte de l'absence de données sur la partie Nord de la fenêtre d'étude.

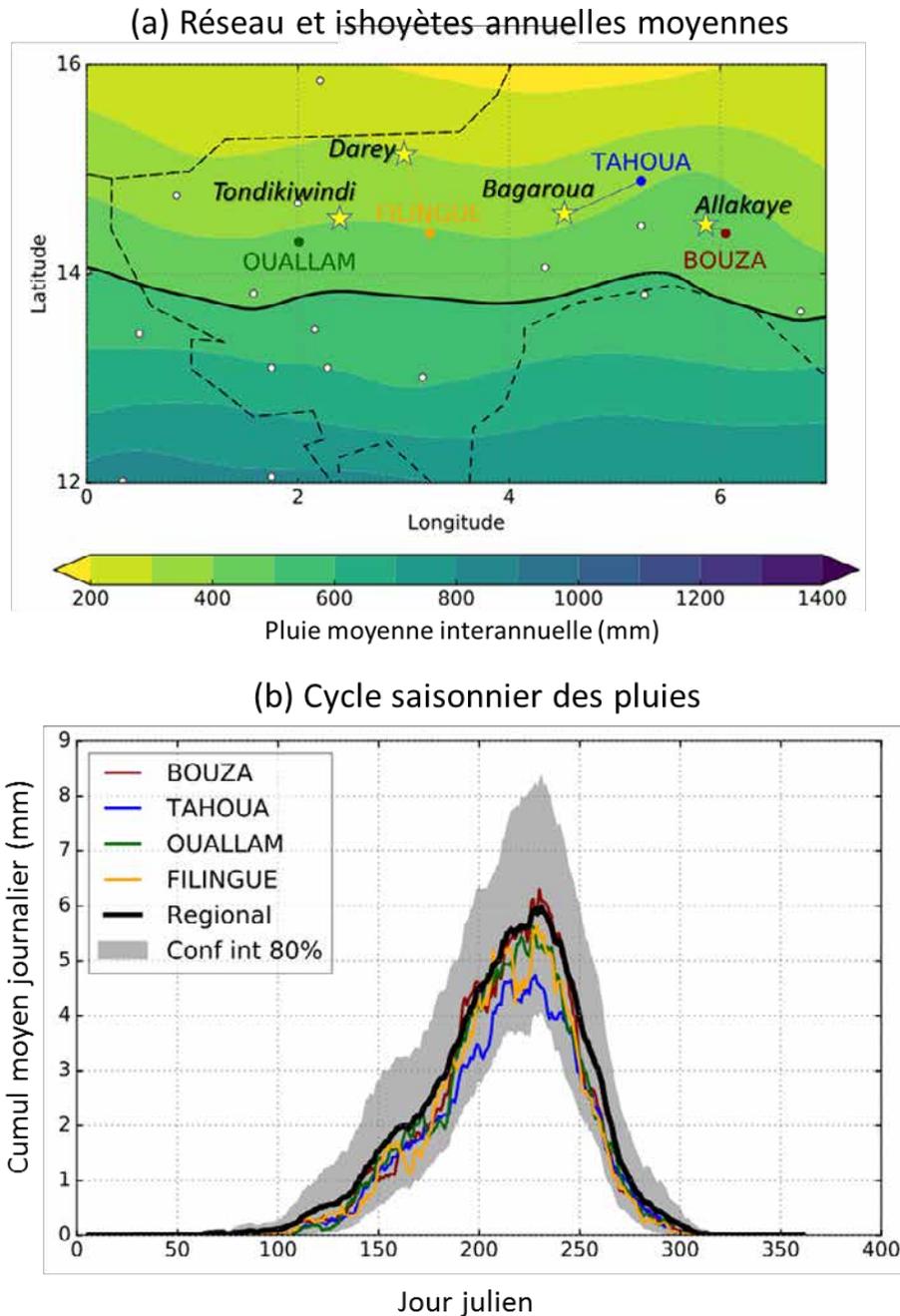


Figure 1 (a) Carte du réseau de stations pluviométriques journalières sur la fenêtre d'étude. Les sites PAM sont matérialisés par les étoiles. Chaque site est relié à sa station «climatologiquement» la plus proche (cf. corps de texte). Les isohyètes sont issues de l'interpolation par krigeage des pluies moyennes interannuelles calculées à chaque station. (b) Cycle saisonnier des pluies calculé sur les pluies journalières (jours sans pluie inclus) à l'échelle locale des stations cibles et à l'échelle régionale (moyenne des vingt stations avec intervalle de confiance à 80%). Les courbes sont une moyenne glissante sur 11 jours.

## 2. Régime des précipitations

### 2.1. Climatologie des précipitations

La moyenne interannuelle et le cycle saisonnier moyen des pluies ont été calculés sur l'ensemble de la période d'étude et sont représentés sur la Figure 1a et b. Les quatre sites d'étude se positionnent entre les isohyètes 200mm (Darey), 300mm (Tondikiwindi et Bagaroua) et 450mm (Allakaye). Leur cycle saisonnier est typique du régime des pluies sahéliennes. Il se caractérise par une période sèche la majeure partie de l'année interrompue en avril par de légers cumuls pluviométriques qui augmentent significativement avec l'installation de la mousson en juin, atteignent un pic au mois d'août, et diminuent rapidement jusqu'au mois d'octobre-novembre qui retrouvent des conditions sèches. On constate que ce cycle est très similaire à celui calculé en moyenne sur l'ensemble de la fenêtre d'étude.

On retrouve donc très naturellement aux échelles régionale et locale les grands traits qui caractérisent la climatologie des précipitations au Sahel connue de longue date.

### 2.2. Evolution des pluies annuelles

La Figure 2 retranscrit l'évolution des précipitations annuelles de 1950 à 2015 sur la fenêtre régionale et les quatre stations locales. Pour des raisons de clarté du graphique, les valeurs année par année ne sont conservées que pour l'analyse régionale ; on privilégiera généralement l'analyse des courbes de moyenne glissante sur 5 ans pour extraire les grandes tendances.

D'après la Figure 2, les cumuls moyens sont relativement élevés dans les années 50 et 60 puis chutent brutalement dès 1970 pour laisser place à des cumuls très fortement déficitaires. Des pics de sécheresse intense au début des années 70 et au milieu des années 80 poussent à son paroxysme la grande sécheresse sahélienne. Après une légère reprise du début des années 80 au début des années 90, les pluies annuelles moyennes plafonnent à un niveau moyen proche de la moyenne climatologique de la période et se teintent d'une très forte variabilité annuelle.

L'évolution des pluies locales est généralement très corrélée au signal régional jusque dans les années 90. Les tendances se dispersent ensuite entre une évolution en plateau aux stations de Ouallam et Filingue, une légère tendance la hausse à la station de Bouza et une tendance à la baisse depuis les années 2000 sur Tahoua.

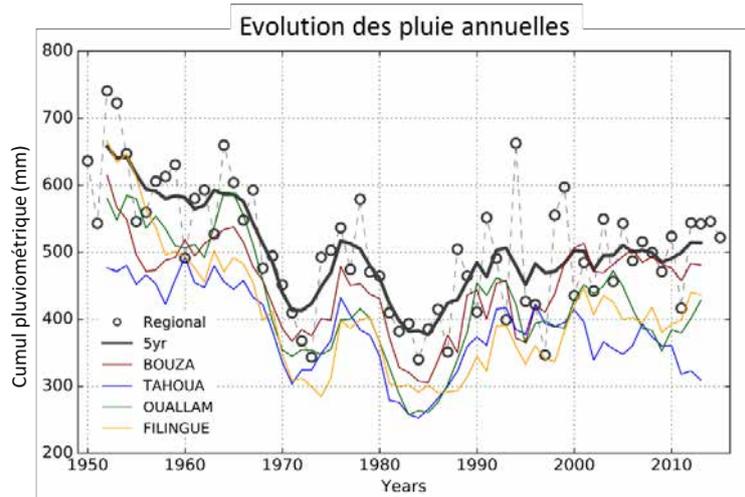


Figure 2 Evolution des cumuls annuels de pluie calculés sur le domaine d'étude et les quatre stations

On retrouve donc sur l'ensemble du sud-ouest nigérien les traits d'évolution des pluies sahéliennes désormais bien documentés dans la littérature<sup>9</sup>. Cependant on constate, en confrontant l'analyse régionale à celle des quatre sites, que les vingt dernières années ont un comportement localement plus contrasté que lors des décennies précédentes, signe d'une forte variabilité spatiale de la supposée reprise des précipitations.

### 2.3. Evolution de la saison de pluies

Il existe dans la littérature plusieurs critères permettant de caractériser le début, la fin et, par différence, la durée de la saison des pluies. Nous nous concentrons ici sur un critère dit « agronomique » car basé sur des seuils de pluie et d'intermittence temporelle considérés comme sensibles pour les cultures. Ce critère élaboré par Sivakumar<sup>10</sup> définit après le 1<sup>er</sup> mai le début de saison comme la date du jour pour lequel la pluie accumulée sur trois jours consécutifs atteint au moins 20mm, sans épisode sec excédant 7 jours dans les 30 jours qui suivent. La date de fin est, elle, définie après le 1<sup>er</sup> septembre par le 1<sup>er</sup> jour d'une période d'au moins 20 jours consécutifs sans pluie. Il est à noter que d'autres critères testés ont donné des résultats d'évolution semblable et ne sont donc pas présentés ici.

La Figure 3 montre l'évolution annuelle en jours julien (nombre de jours depuis le 1<sup>er</sup> janvier) de la date de démarrage, de fin et la durée de la saison des pluies. Ces dates sont d'abord calculées localement puis moyennées sur les 20 stations de la fenêtre régionale ou directement reportées pour les quatre sites d'étude. Comme précédemment on se concentre sur les moyennes glissantes à 5 jours pour analyser le signal d'évolution temporelle.

A l'échelle régionale, le début de saison recule progressivement des années 50 au milieu des années 80, passant de la deuxième décennie de juin à la 1<sup>ère</sup> décennie de juillet (soit un retard de l'ordre de 20 jours). Cependant cette tendance est modulée par une forte variabilité décennale d'amplitude de l'ordre d'une dizaine de jours. On retrouve des pics de démarrage tardif qui coïncident globalement aux pics de sécheresses des années 70 et 80. Au début des années 90, la date de démarrage de la saison s'est de nouveau avancée vers la troisième décennie de juin. Cette date de démarrage semble

rester assez stable jusqu'au début des années 2000. Elle tend depuis à reculer en suivant une tendance assez linéaire, caractérisée par un retrait accumulé d'environ 8 jours depuis le début des années 2000.

La date fin de saison s'est fortement avancée au cours des années 50, avant de se stabiliser sur les décennies 70 et 80 autour de la 3<sup>ème</sup> décade d'octobre. Elle subit un retrait brutal dans les années 80 conduisant en moyenne à 10 jours de pluie en moins et ce, de manière assez stable sur les 35 dernières années.

La conséquence sur la durée de la saison est que, mises à part les quelques années de pics de sécheresse du début des années 70 et du milieu des années 1980, on mesure depuis les années 1990 les durées de saison les plus faibles sur l'ensemble de la période d'étude. La durée des pluies est assez constante autour de 110 jours, sans évolution décelable sur les 25 dernières années.

L'évolution à l'échelle locale des stations est plus difficile à analyser du fait de la forte variabilité du signal, même lissé sur 5 ans. Les oscillations décennales de la date de démarrage de la saison semblent assez corrélées au signal régional mais les amplitudes varient d'une station à l'autre. La tendance vers un décalage du début de saison au cours des années les plus récentes est visible sur les quatre stations mais semble s'être initiée plus ou moins précocement selon les sites. Il est visible dès la fin des années 90 à Tahoua, dès le milieu des années 2000 à Filingue et Ouallam et seulement depuis 2010 à Bouza dont la date de démarrage a fortement varié dans les années 2000.

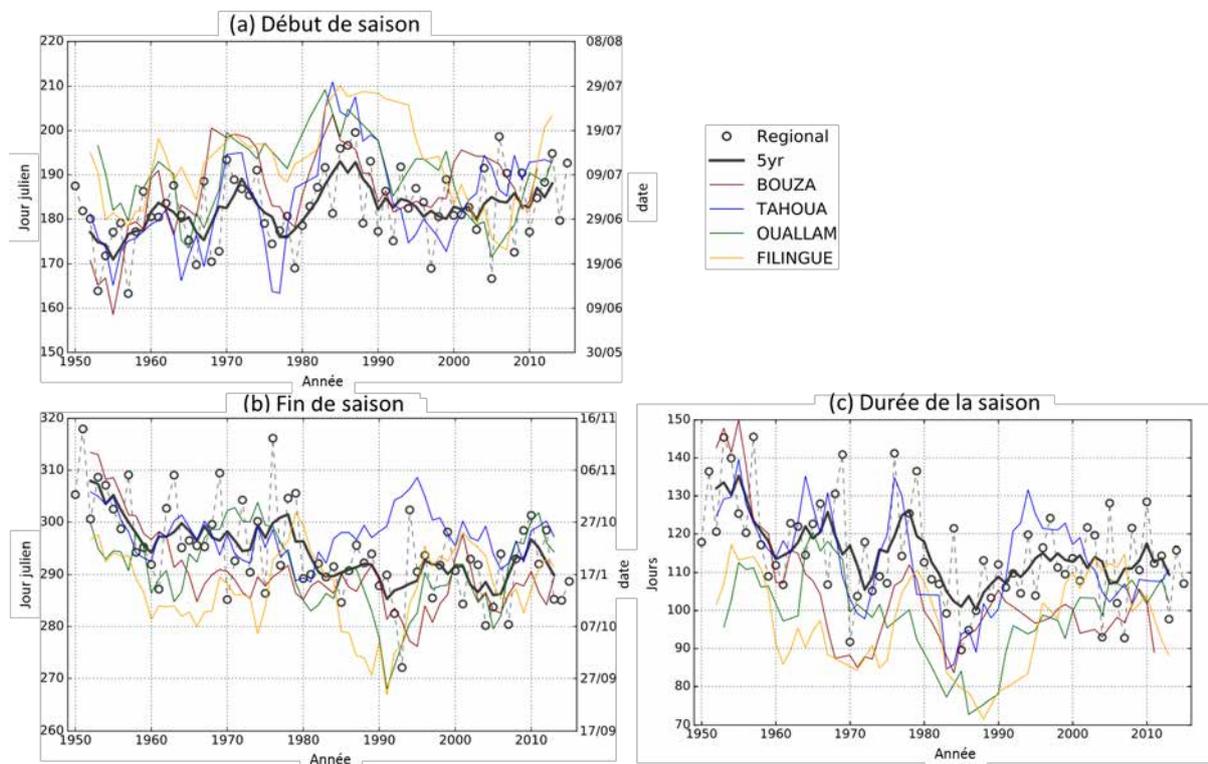


Figure 3 Evolution sur la période 1950-2015 aux échelles locales et régionales (a) du début, (b) de la fin et (c) de la durée de la saison des pluies, selon le critère de Sivakumar (1992).

### 2.3.1. Evolution du nombre et de l'intensité des jours pluvieux

La pluie au Sahel est produite par des systèmes orageux (systèmes convectifs de méso-échelle) dont l'occurrence et l'intensité modulent les cumuls saisonniers. Une approximation valable au Sahel est de considérer que chaque jour de pluie est issu du passage d'un orage<sup>11,12</sup>. Il fait donc sens d'étudier spécifiquement le rôle relatif de l'occurrence des jours pluvieux et de leur intensité pour comprendre l'évolution des précipitations aux échelles des orages qui les produisent. La pluie annuelle peut ainsi être décomposée comme le produit du nombre de jours pluvieux annuel et du cumul moyen journalier annuel<sup>13,14</sup>.

La Figure 4a fait état de l'évolution annuelle de l'occurrence et la figure 4b de l'intensité moyenne des jours pluvieux.

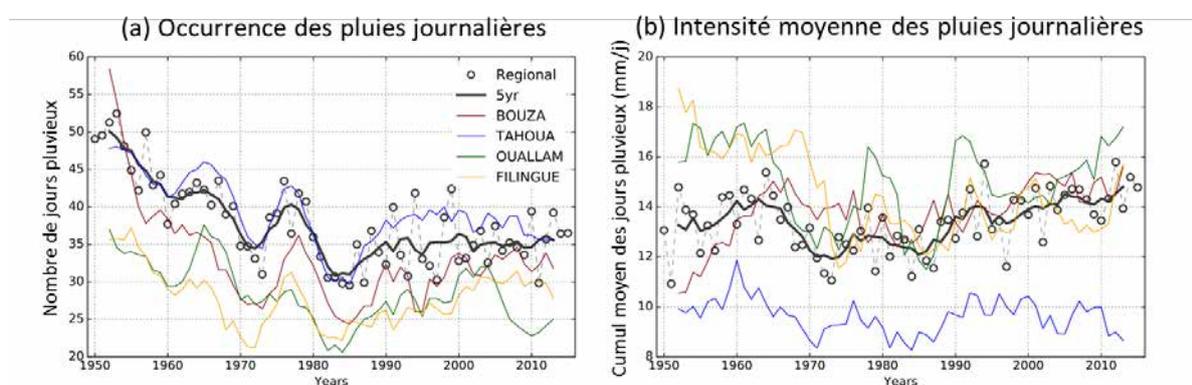


Figure 4 Evolution annuelle sur la période 1950-2015 aux échelles locales et régionales de (a) l'occurrence et (b) l'intensité moyenne des jours pluvieux.

A l'échelle régionale, on constate que le nombre de jours pluvieux a fortement diminué entre les années 1950 et le milieu des années 1980, passant de plus de 45 à près de 32 soit près de 30% de diminution. L'occurrence reste depuis les années 90 à un niveau quasi constant à 35, soit assez proche des niveaux les plus faibles atteints lors du pic de sécheresse des années 80.

L'évolution de l'intensité moyenne des jours pluvieux montre une rupture à la baisse entre les décennies 50-60 et 70-80 de l'ordre de 15%. Cette baisse est donc en relatif plus faible que la diminution du nombre de jours pluvieux facteur prédominant de la grande sécheresse sahélienne<sup>13,14</sup>. On constate en revanche une tendance linéaire à la hausse de l'intensité des jours de pluie initiée dès le milieu des années 80. Le cumul moyen des pluies journalières atteint ainsi depuis le milieu des années 2005 des niveaux record sur la période d'étude.

Cette évolution est également visible à l'échelle des sites. On notera toutefois un comportement singulier pour la station de Tahoua dont l'occurrence relativement forte et les intensités moyennes faibles semblent indiquer des relevés de pluie très faibles que l'on ne retrouve pas sur les autres stations. Pour les autres sites, on retrouve sur les 25 dernières années la stagnation de l'occurrence

des pluies à des niveaux relativement faibles, accompagnée d'une augmentation significative de l'intensité moyenne des pluies.

Cette évolution sur les deux dernière décennies qui combine une évolution stable de l'occurrence des pluies à un niveau faible et une augmentation de l'intensité moyenne des pluies, est une déclinaison sur l'ouest nigérien de résultats récemment publiés dans la littérature sur le Sahel en entier<sup>15,16</sup> ou à l'échelle de pays sahéliens<sup>17-19</sup>. Elle semble signifier un climat plus extrême caractérisé par plus de pluies extrêmes et plus de séquences sèches. Afin de vérifier cette tendance un zoom est proposé ci-après sur les épisodes de pluie extrêmes et les séquences sèches.

#### *Zoom sur les pluies extrêmes*

Deux études récentes<sup>8,20</sup> ont spécifiquement montré l'augmentation des pluies extrêmes au Sahel. La même méthodologie que dans ces deux articles (basée sur la théorie statistique régionale des valeurs extrêmes<sup>21</sup>) est utilisée ici pour notre domaine d'étude. Elle permet de sélectionner les évènements les plus intenses et d'en étudier l'évolution. La Figure 5 montre comment a évolué la contribution relative des pluies extrêmes (dépassée en moyenne deux fois par an) au cumul annuel des précipitations.

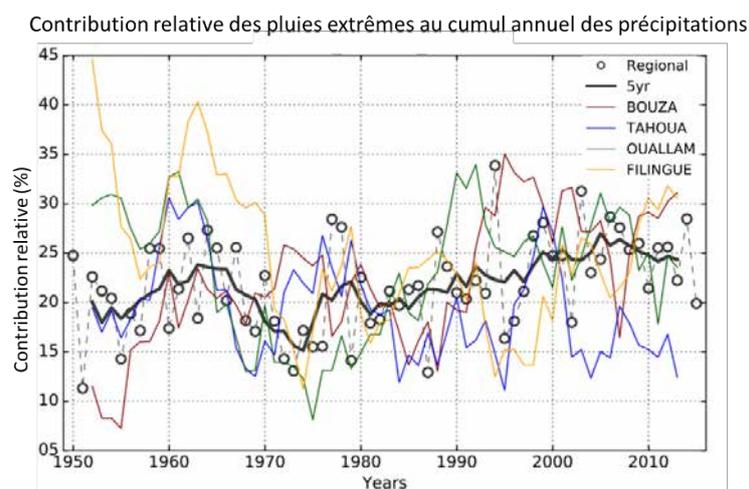


Figure 5 Evolution de la contribution relative des pluies extrêmes au cumul des précipitations annuelles

On constate immédiatement qu'il est très difficile de distinguer des tendances à l'échelle locale. Les extrêmes étant rares par définition, l'échantillon issu d'une unique station ne permet pas de rendre compte de tendances détectables. Dès lors que l'on procède à une analyse régionale, l'augmentation de la taille de l'échantillon permet d'augmenter le ratio signal sur bruit et facilite la détection de tendances<sup>22</sup>. On remarque ainsi via l'approche régionale une augmentation significative de la contribution relative des extrêmes de pluie. Ne représentant que 15% du cumul annuel dans le milieu des années 1970, ils en représentent sur la dernière décennie près de 25%. Les extrêmes ont donc une contribution de plus en plus forte dans le régime des précipitations.

#### *Zoom sur les séquences sèches*

On définit une séquence sèche comme un nombre consécutif de jours sans pluie. On analyse ici (Figure 6) les séquences sèches pour des durées supérieures ou égales à 5, 7, 10 et 15 jours. Les séquences

sèches sont sélectionnées selon leur durée minimale puis cumulées année par année pour obtenir la durée totale de jours secs. Cette durée est ensuite divisée par la durée de la saison des pluies afin de s'abstraire des effets de longueur de saison (Figure 3c). Le ratio annuel lissé sur 5 jours est reporté sur la Figure 6.

Le ratio diminue logiquement avec la longueur minimale des séquences sèches mais montre un comportement général similaire quelles que soit les longueurs de séquences. Il se caractérise par (i) une augmentation forte des séquences sèches entre 1950 et le début des années 1980, avec un ratio qui passe du simple au double, voire au triple pour les séquences les plus longues ; (ii) une très légère tendance à la baisse de séquences sèches depuis les années 1980 mais le niveau moyen reste similaire voire supérieur à celui de la décennie 70, première décennie de la grande sécheresse sahélienne. Ce comportement est visible à l'échelle régionale et locale (même s'il est plus bruité), exception faite des séquences supérieures à 15 jours où l'analyse locale souffre d'un problème évident d'échantillonnage.

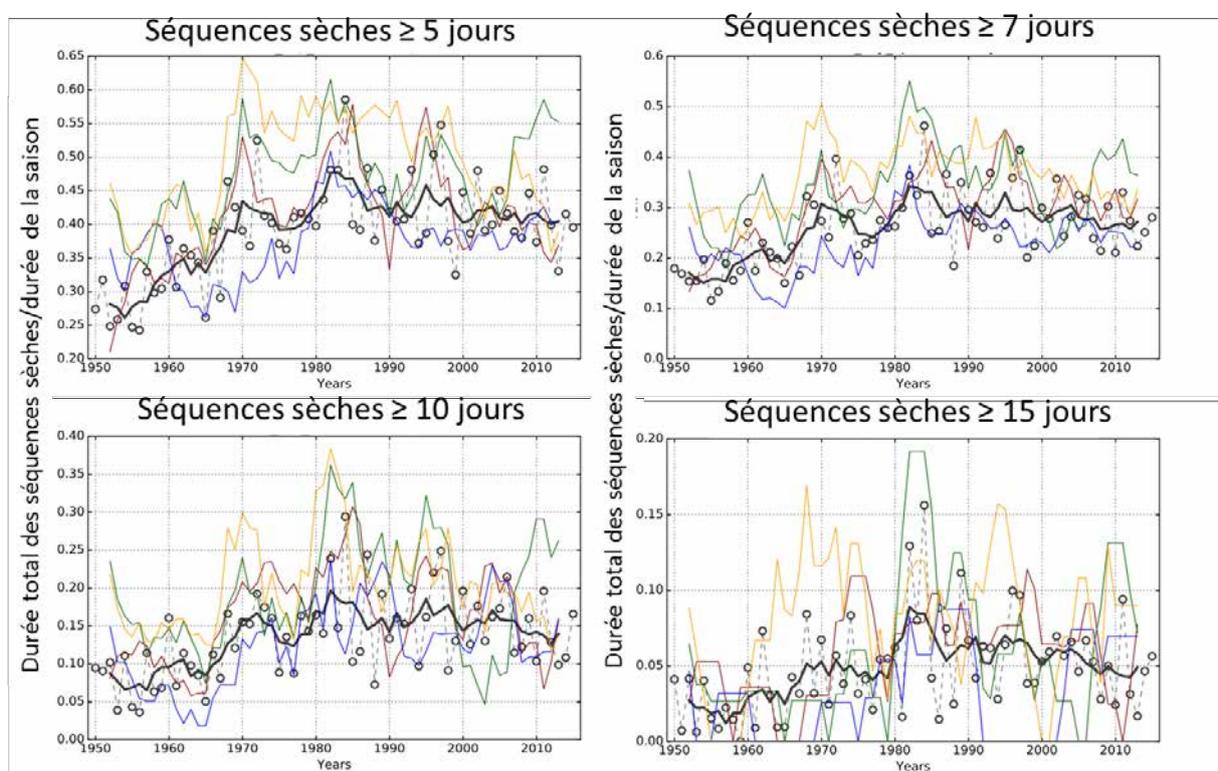


Figure 6 Evolution annuelle des séquences sèches de durée supérieure à 5, 7, 10 et 15 jours. On analyse ici la durée cumulée annuelle de séquences sèche rapportée à la durée annuelle de la saison des pluies.

### 3.4 Bilan de l'analyse des précipitations

Suite à la grande sécheresse, l'évolution du régime des pluies mise en évidence depuis le milieu des années 80 est typique d'un climat plus extrême : les événements pluvieux sont en moyenne moins nombreux mais plus intenses que dans les décennies précédentes. Cette intensité est en constante

croissance depuis plus de 35 ans, confirmant à l'échelle du sud-ouest nigérien mais également des sites d'études (excepté Tahoua), les résultats de quelques travaux récents montrant une augmentation significative de la fréquence des pluies extrêmes sur le Sahel<sup>8,20</sup>. Ces travaux incriminent le réchauffement singulier du Sahara en lien avec le réchauffement global, tendance qui devrait perdurer au cours du prochain siècle.

Notre analyse montre également que la fréquence des séquences sèches est à un niveau équivalent à celui de la grande sécheresse sahélienne. Ce résultat original confirme le caractère extrême du climat sahélien qui malgré l'apport ponctuel de pluie par des orages de plus en plus intenses reste très marqué par l'intermittence des pluies, avec les conséquences néfastes que cela peut produire sur les rendements agricoles.

Compte tenu du tournant pris par le régime des précipitations au cours de deux dernières décennies, il nous apparaît donc peu approprié de parler de reprise ou recouvrement des précipitations au Sahel, comme très largement diffusé dans la littérature<sup>16,23,24</sup> ou les médias<sup>25</sup> pour décrire l'évolution récente des précipitations au Sahel. Cette qualification ne reflète que l'évolution des pluies annuelles mais elle masque (i) une diminution de la durée de saison des pluies liée à un démarrage parfois tardif et un retrait constamment plus précoce, (ii) des niveaux d'occurrence des pluies et de séquences sèches quasi similaires à ceux de la grande sécheresse sahélienne, (iii) une intensification des pluies journalières sous le fait de l'augmentation de la fréquence d'orages très intenses. Plutôt que de « reprise », on préférera donc le terme d'intensification hydro-climatique plus à même de décrire l'état des précipitations au Sahel.

On notera que cette intensification hydro-climatique est très visible à l'échelle régionale mais se détecte également à l'échelle des sites, à l'exception de quelques indices décrivant les caractéristiques de saison des pluies et l'évolution des pluies extrêmes trop variables localement pour en extraire des tendances fermes. Ceci s'explique par la dépendance de ces deux indices à un faible nombre d'événements de pluie qui permettent soit de définir le début de la saison soit de définir un extrême. Ils sont donc très variables d'une année à l'autre et d'une station à l'autre.

## **Bibliographie**

<sup>1</sup> Y. L'Hôte, G. Mahé, B. Some, and J.P. Triboulet, *Hydrol. Sci.* **47(4)**, 563 (2002).

<sup>2</sup> P. Ozer, M. Erpicum, G. DemaréE, and M. Vandiepenbeeck, *Hydrol. Sci. J.* **48**, 489 (2003).

<sup>3</sup> A. Dai, P.J. Lamb, K.E. Trenberth, M. Hulme, P.D. Jones, and P. Xie, *Int. J. Climatol.* **24**, 1323 (2004).

<sup>4</sup> S. Nicholson, *J. Arid Environ.* **63**, 615 (2005).

<sup>5</sup> M. Balme, T. Lebel, and A. Amani, *J. Sci. Hydrol.* **51(2)**, 254 (2006).

<sup>6</sup> T. Lebel and A. Ali, *J. Hydrol.* **375**, 52 (2009).

<sup>7</sup> S.E. Nicholson, *ISRN Meteorol.* **2013**, 1 (2013).

<sup>8</sup> G. Panthou, T. Vischel, and T. Lebel, *Int. J. Climatol.* **34**, 3998 (2014).

- <sup>9</sup> T. Vischel, T. Lebel, G. Panthou, G. Quantin, A. Rossi, and M. Martinet, in *Sociétés Rural. Face Aux Chang. Environnementaux En Afr. L'Ouest*, IRD (2015).
- <sup>10</sup> M.V.K. Sivakumar, *J. Clim.* **5**, 532 (1992).
- <sup>11</sup> M. Balme-Debionne, *Analyse Du Regime Pluviométrique Sahélien Dans Une Perspective Hydrologique Et Agronomique. Etude De L'Impact De Sa Variabilité Sur La Culture Du Mil.*, INPG, 2004.
- <sup>12</sup> T. Vischel, *Impact de La Variabilité Pluviométrique de Méso-Échelle Sur La Réponse Des Systèmes Hydrologiques Sahéliens: Modélisation, Simulation et Désagrégation*, Thèse de doctorat de l'INPG, 2006.
- <sup>13</sup> T. Lebel and L. Le Barbé, *J. Hydrol.* **188–189**, 97 (1997).
- <sup>14</sup> L. Le Barbé, T. Lebel, and D. Tapsoba, *J. Clim.* **15**, 187 (2002).
- <sup>15</sup> A. Giannini, S. Salack, T. Lodoun, A. Ali, A.T. Gaye, and O. Ndiaye, *Environ. Res. Lett.* **8**, 024010 (2013).
- <sup>16</sup> S. Sanogo, A.H. Fink, J.A. Omotosho, A. Ba, R. Redl, and V. Ermert, *Int. J. Climatol.* n/a (2015).
- <sup>17</sup> F. Frappart, P. Hiernaux, F. Guichard, E. Mougin, L. Kergoat, M. Arjounin, F. Lavenu, M. Koit J.E. Paturel, and T. Lebel, *J. Hydrol.* **375**, 128 (2009).
- <sup>18</sup> T. Lodoun, A. Giannini, P.S. Traoré, L. Somé, M. Sanon, M. Vaksman, and J.M. Rasolodimby, *Environ. Dev.* **5**, 96 (2013).
- <sup>19</sup> M.A. Sarr, M. Zoromé, O. Seidou, C.R. Bryant, and P. Gachon, *J. Hydrol.* **505**, 326 (2013).
- <sup>20</sup> C.M. Taylor, D. Belušić, F. Guichard, D.J. Parker, T. Vischel, O. Bock, P.P. Harris, S. Janicot, C. Klein, and G. Panthou, *Nature* **544**, 475 (2017).
- <sup>21</sup> G. Panthou, T. Vischel, T. Lebel, J. Blanchet, G. Quantin, and A. Ali, *Water Resour. Res.* **48**, W08501 (2012).
- <sup>22</sup> G. Panthou, T. Vischel, T. Lebel, G. Quantin, A.-C.F. Pugin, J. Blanchet, and A. Ali, *J. Geophys. Res. Atmospheres* **118**, 8222 (2013).
- <sup>23</sup> B. Dong and R. Sutton, *Nat. Clim. Change* **5**, 757 (2015).
- <sup>24</sup> J. Park, J. Bader, and D. Matei, *Nat. Clim. Change* **6**, 941 (2016).
- <sup>25</sup> Sahel: Les changements climatiques, une aubaine pour la pluie, *SciDevNet Afr. Sub-Saharienne* (n.d.).



## **ANALYSE DES CHANGEMENTS DE TEMPERATURES**

Le réchauffement climatique a fait l'objet de nombreux travaux, mais la façon dont il se manifeste en zone Sahélienne a été relativement peu étudiée (et beaucoup moins que les fluctuations climatiques des précipitations). Cette situation s'explique en partie par la faible quantité de données existantes. Cependant, les quelques travaux sur ce sujet indiquent que la température a effectivement augmenté au Sahel depuis 1950 (Guichard et al. 2012 et 2015, Fontaine et al. 2013, Moron et al. 2016, Léauthaud et al. 2017). Comme sur les continents en général, le réchauffement observé depuis 1950 est plus prononcé que le réchauffement global, et aussi plus marqué la nuit que le jour (IPCC 2013). De même, de nombreux travaux suggèrent que les vagues de chaleur seront de plus en plus nombreuses et plus sévères dans les décennies à venir ((Meehl et Tebaldi 2004, Perkins 2015), mais on sait encore très peu de choses concernant celles qui affectent le Sahel, tant sur les processus et mécanismes qui les contrôlent que sur leurs évolutions climatiques. Parmi les rares études existantes, on notera les travaux récents de Fontaine et al. (2013), Moron et al. (2016), Barbier et al. (2017).

### **1. Données et Méthodes**

Au Niger, et plus généralement au Sahel, les observations météorologiques (données dites SYNOP) permettant d'étudier les variations climatiques de la température au cours des dernières décennies sont peu nombreuses, parfois incomplètes, et de plus elles documentent des lieux relativement éloignés des sites d'étude. C'est pourquoi nous avons utilisé deux types de données : (1) les observations SYNOP disponibles et (2) des jeux de données spatialisés faisant intervenir des algorithmes d'interpolation ou des modèles météorologiques (les réanalyses météorologiques). Dans la suite de ce rapport, nous utiliserons ces deux sources d'information.

#### **1.1 Données locales (SYNOP)**

Les données SYNOP fournissent des mesures régulières de la température mesurées à 2 m sous abri dans des stations météorologiques. Plus précisément, dans ces stations sont enregistrées le plus souvent les températures minimales et maximales journalières (Tmin et Tmax), ainsi que des températures relevées à heures fixes, généralement à 0000 UTC et 1200 UTC (Universal Time Coordinated, ce qui au Niger correspond quasiment à l'heure solaire locale, soit 0h et 12h) et parfois aussi à 0600 UTC et 1800 UTC.

Nous avons utilisé les données de toutes les stations disponibles dans la fenêtre définie, mais seules six stations SYNOP fournissent des séries temporelles présentant peu de données manquantes sur la période retenue (du sud au nord, il s'agit de Maradi, Niamey, Birni N'Konni, Dori, Tillabéri et Tahoua, voir leurs coordonnées sur la Figure 1). Tillabéri est la station la plus proche des sites de Darey et Tondikiwindi, et celle de Tahoua de ceux de Bagaroua et Allakaye. Nous avons aussi gardé la station de Niamey comme référence du fait de la qualité et de la plus grande quantité de données disponibles à cette station.

## 1.2 Jeux de données spatialisés (BEST, ERA-Interim)

Comme indiqué ci-dessus, les observations disponibles sont relativement éloignées des sites d'étude. C'est pourquoi nous avons également utilisé les températures journalières T<sub>min</sub> et T<sub>max</sub> des jeux de données spatialisés Berkeley Earth Surface Temperature (BEST) (Rohde et al. 2013 et 2014) et de la réanalyse ERA-Interim de l'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (Dee et al. 2011). La 'grille' spatiale de ces jeux de données est de 1°x1° et 0.7°x0.7° respectivement, pour un pas de temps d'une journée. Nous avons également analysé les résultats fournis par d'autres réanalyses météorologiques tels que MERRA (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications (Rienecker et al. 2011)), dont la grille spatiale est plus fine, ou encore celles du National Center for Environmental Prediction (NCEP (Kalnay et al. 1996) et NCEP2 (Kanamitsu et al. 2002))<sup>1</sup>. Cependant, au vu des biais importants de ces réanalyses (plus forts que ceux d'ERA-Interim, voir Barbier et al. 2017), nous ne présentons pas ici les résultats obtenus avec ces réanalyses.

Compte tenu de la taille de leurs mailles horizontales, ces jeux spatialisés apportent peu de précisions sur les sites d'étude locaux au regard des informations déjà fournies par les stations SYNOP. Ils permettent cependant de replacer ces observations locales dans un contexte régional plus vaste et d'étudier certaines caractéristiques des vagues de chaleur telles que leur étendue spatiale ou leur dynamique synoptique.

Finalement, avant 1950, nous considérons que les données intégrées dans BEST sont trop peu nombreuses, et nous ne présentons donc pas les résultats fournis par ce jeu de données avant 1950. La réanalyse ERA-Interim quant à elle (et tout comme MERRA ou NCEP et NCEP2) ne commence qu'en 1979.

## 1.3 Méthodologie de détection de vagues de chaleur

De nombreuses définitions des vagues de chaleur existent dans la littérature et il est important de bien considérer les détails de ces définitions pour interpréter les résultats obtenus (Perkins and Alexander 2013, Perkins 2015). Ici, afin d'identifier les vagues de chaleur à partir de données journalières de T<sub>min</sub> et T<sub>max</sub>, nous avons développé une méthodologie spécifique, basée sur un filtrage des fluctuations d'échelles supérieures à 90 jours, permettant de distinguer les phénomènes météorologiques d'échelle synoptique à intra-saisonniers des autres de modes de variabilité affectant la température (notamment les tendances climatiques, voir Barbier et al. 2017). Ainsi, les fluctuations interannuelles et climatiques sont filtrées des extrêmes de température que nous considérons (comme dans une partie des travaux existants). Les vagues de chaleur sont ensuite détectées sur la base d'une analyse des percentiles de la distribution de température filtrée, à laquelle on peut ajouter des conditions de durée et de taille minimale. L'avantage de notre méthode est de ne pas mélanger des vagues de chaleur d'intensités très variables. Nous avons par ailleurs distingué les vagues de chaleur nocturnes

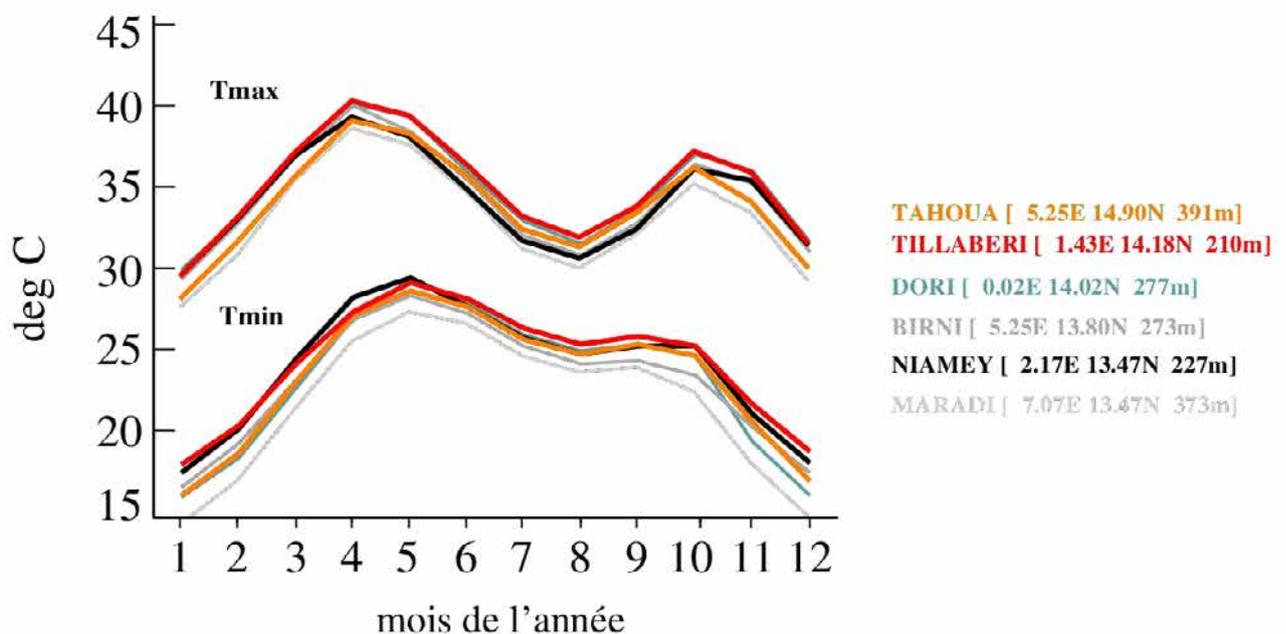
1 Il s'agit des réanalyses météorologiques élaborées à partir de modèles atmosphériques globaux dotés d'un système d'assimilation de données. La maille de MERRA est de 0.5°x0.66° et celles de NCEP et NCEP2 proche de 2°x2°.

et diurnes, qui présentent des différences notables, et dont on attend des effets distincts (e.g. sur la santé ou sur l'agriculture). Finalement, nous analysons plus en détail la période centrée sur le printemps, car c'est durant cette période que la chaleur est la plus forte (voir section 3.1).

## 2. Résultats

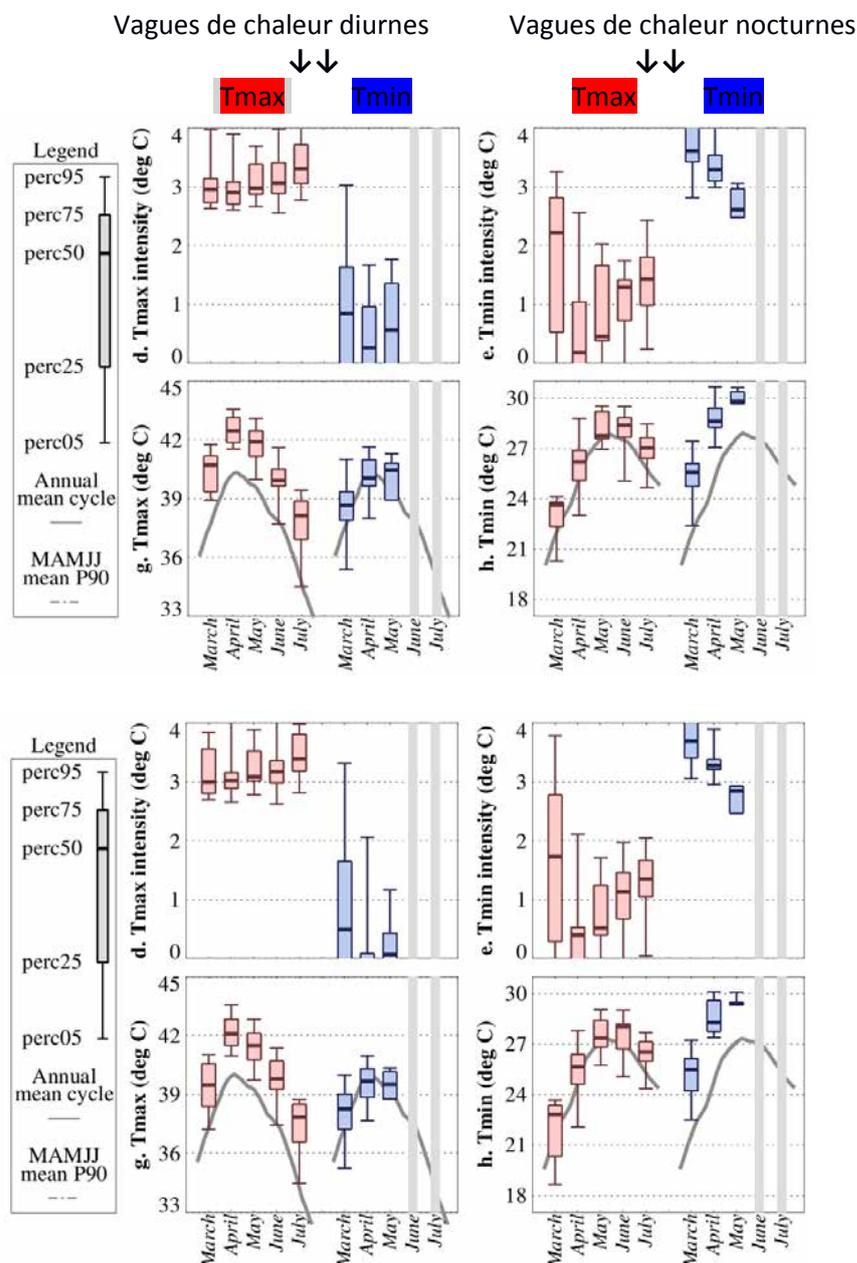
### 2.1 Cycle annuel

La figure 1 présente le cycle annuel moyen de la température à 2 m pour plusieurs stations SYNOP réalisé avec 30 ans de données. Le climat sahélien est un climat chaud tout au long de l'année, avec, en moyenne, des Tmin supérieures à 20°C et des Tmax supérieures à 30°C. On observe aussi ici une de ses caractéristiques spécifiques, à savoir un cycle diurne bimodal, que ce soit pour Tmin et Tmax, i.e. le cycle annuel se caractérise par deux maxima, un au printemps et un en automne, et deux minima, un en hiver et un en été (pendant la mousson). Ce minimum pendant la mousson est beaucoup plus marqué sur les Tmax. On note également un décalage des cycles annuels de Tmin et Tmax, avec notamment des maxima absolus atteints en avril pour Tmax et en mai pour Tmin. Cette structure bimodale est très typique du climat subtropical sahélien ; il s'explique par le cycle annuel bimodal de l'ensoleillement, la saisonnalité des circulations d'air humide et des précipitations (Guichard et al. 2009, Slingo et al. 2009). Sur cette figure, on observe également la grande cohérence climatique de la zone d'étude : les variations de température au cours de l'année sont proches d'une station SYNOP à l'autre). Finalement, on notera les très fortes températures observées au printemps, d'environ 40°C pour Tmax et supérieures à 25°C pour Tmin en moyenne mensuelle pour ces différents sites nigériens.



**Figure 1** : Cycle annuel moyen de Tmin et Tmax pour les 6 stations SYNOP de Tahoua, Tillabéri, Dori, Birni, Niamey et Maradi.

## 2.2 Vagues de chaleur

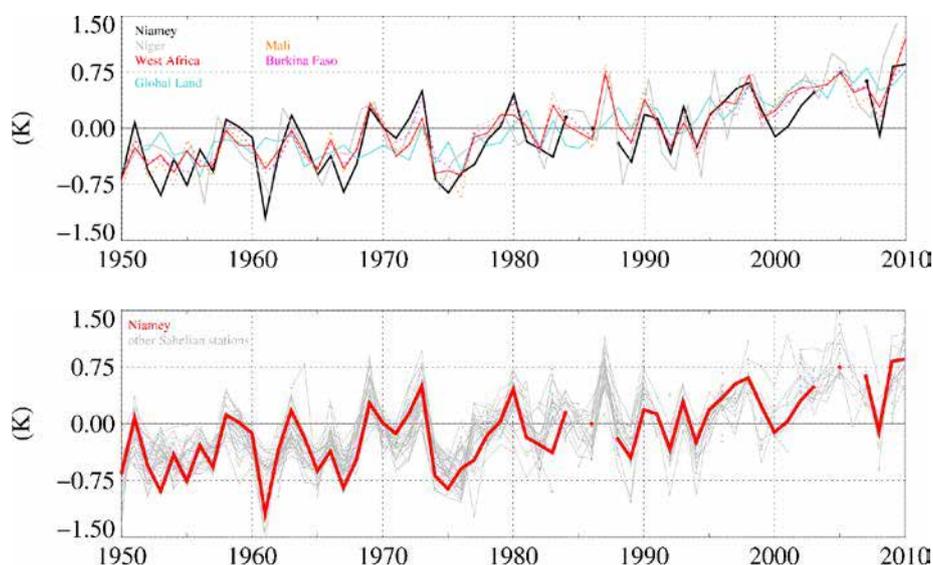


**Figure 2** : Caractéristiques des vagues de chaleur de mars à juillet dans un domaine de 5°x5° centré sur Darey (en haut) et Allakaye (en bas)., Pour chaque panneau, la colonne de gauche correspond aux pour les vagues de chaleur diurnes et à celle de droite aux vagues de chaleur nocturnes. Les graphes du bas présentent, en fonction du mois, la température Tmax (en rose) et Tmin (en bleu) pendant la vague et ceux du haut l'anomalie moyenne de la température (ou intensité relative) dans la vague. La courbe grise indique la valeur climatologique. résultats établis avec les données BEST en utilisant les valeurs moyennes de chaque vague (on observe de deux à trois évènements de cet intensité de mars à juillet chaque année).

Au cours de cette période du printemps, la température atteint des valeurs particulièrement élevées lors des vagues de chaleur détectées suivant la méthode présentée au paragraphe 2.3 (Figure 2, graphes du bas). On observe ainsi des températures diurnes atteignant 42°C en avril et mai et 30°C en mai lors de ces événements. Comme plus généralement au Sahel, le nombre de vagues de chaleur nocturnes diminue de mars à juin (Barbier et al. 2017), alors que la température nocturne augmente avec l'arrivée de la mousson (qui amène un air humide responsable d'un fort effet de serre) et plafonne avant l'arrivée des premières pluies. La dynamique de ces événements présente des caractéristiques distinctes des vagues de chaleur observées dans les latitudes tempérées, où le sol est humide (e.g. Fischer et al. 2007). Les mécanismes identifiés dans ces régions ne sont donc pas directement transposables au Sahel, où les vagues de chaleur commencent à peine à être étudiées. De premiers résultats indiquent que les vagues de chaleur nocturnes semblent fortement pilotées par les incursions du flux de mousson tandis que les vagues de chaleur diurnes font intervenir des interactions avec les circulations des plus hautes latitudes.

### 2.3 Réchauffement climatique

Le réchauffement climatique observé depuis 1950 au Niger (Figure 3, graphe du haut, courbe grise), qui dépasse 1°C en 60 ans en moyenne annuelle, est comparable à celui observé en moyenne sur l'Afrique de l'Ouest (courbe rouge) et sur l'ensemble des continents (courbe bleue). On note une bonne représentativité de la tendance au réchauffement fournie par les données de Niamey (comme de Tahoua et Tillabéri). Plus largement, les fluctuations interannuelles des différents sites sahéliens sont relativement proches (Figure 3, graphe du bas). On note aussi sur ce graphe une raréfaction du nombre de données depuis 1990.

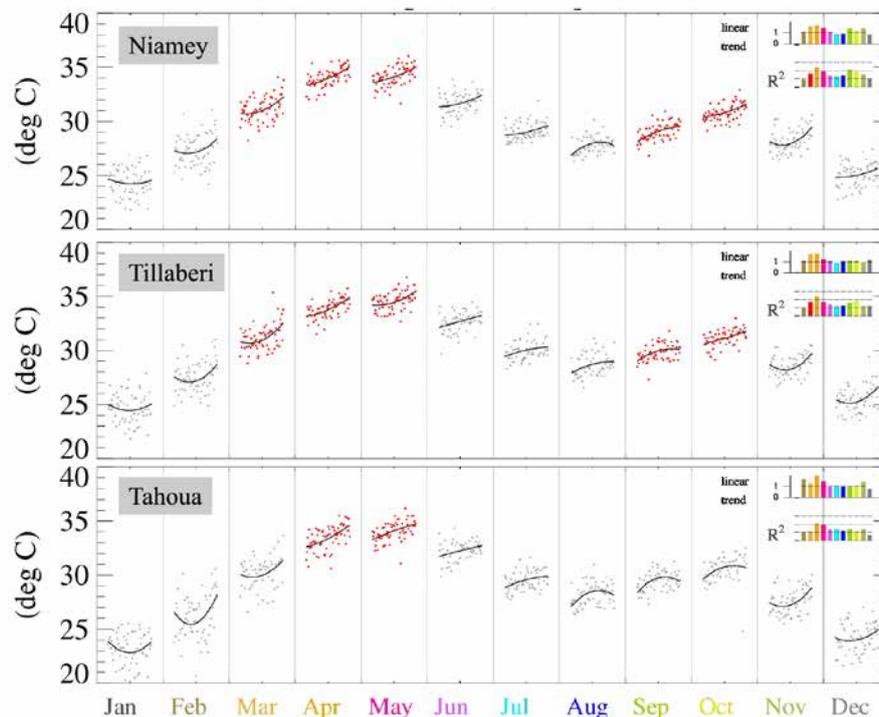


**Figure 3** : Tendence de la moyenne annuelle de la température journalière. Panneau du haut du haut : à Niamey (courbe noire), au Niger (courbe grise), dans d'autres pays du Sahel, en l'Afrique de l'Ouest (courbe rouge), et en moyenne sur l'ensemble des continents (courbe bleue). Panneau du bas : à Niamey (courbe rouge) et pour les stations SYNOP sahéliennes les plus proches (courbes grises). La tendance

est calculée pour chaque série comme la différence entre la température et la moyenne de l'ajustement linéaire sur la période.

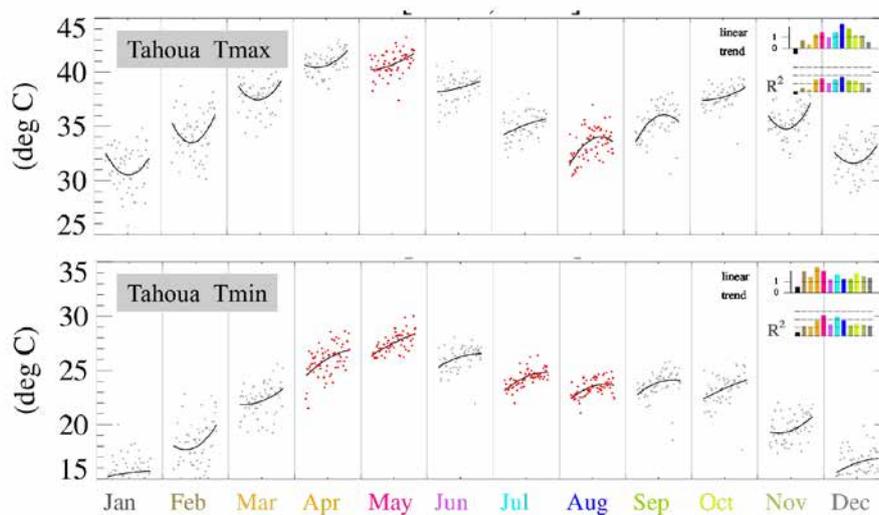
Ce réchauffement annuel moyen résulte cependant de variations très contrastées au cours des mois et saisons comme illustré sur la Figure 4 pour Niamey, Tillabéri et Tahoua. Ainsi, ce réchauffement est plus marqué au cours des mois d'avril et mai aux trois stations SYNOP, soit la période de l'année déjà la plus chaude (il alors atteint 1.5°C en moyenne). En revanche, pendant les mois d'hiver, le signal est dominé par de grandes fluctuations d'une année à l'autre. On peut également noter la forme concave de l'ajustement pendant le mois d'août, pendant le cœur de la saison de mousson. Cette forme traduit la succession des décennies 50 et 60 humides et fraîches, suivies par les décennies 70 et 80 marquées par des sécheresses sévères et les températures les plus élevées observées en août sur les 60 ans, et s'achevant avec les décennies plus récentes, plus chaudes que les décennies 50 et 60, mais plus fraîches que les décennies 70 et 80.

De même, ce réchauffement ne présente pas les mêmes caractéristiques de jour et de nuit (Figure 5). Il est particulièrement marqué la nuit, cette tendance diminuant du printemps à l'été (pendant la mousson), alors que l'inverse est observé de jour (sur Tmax). Il est possible que le réchauffement nocturne fort observé au printemps fasse intervenir une humidification des basses couches de l'atmosphère (avec un réchauffement opéré via un effet de serre renforcé de la vapeur d'eau) mais les observations disponibles sont insuffisantes pour valider définitivement cette hypothèse.



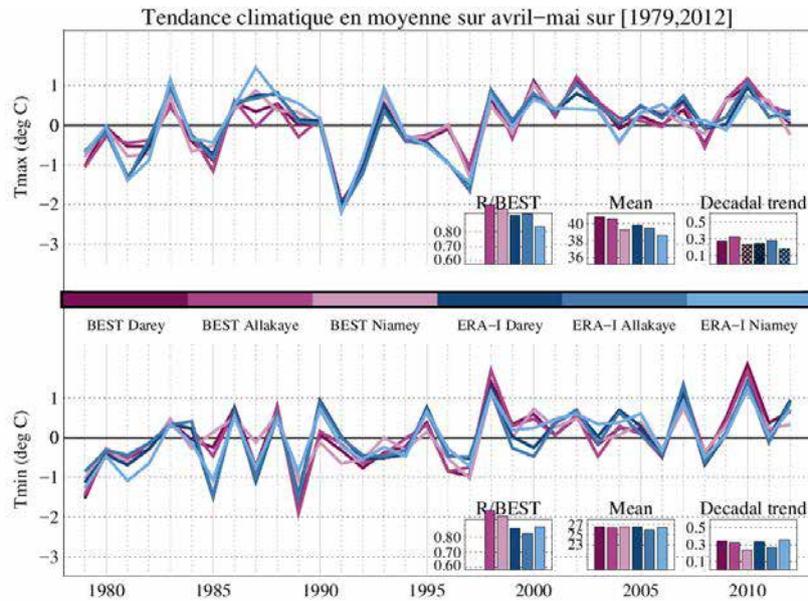
**Figure 4 :** Réchauffement observé de 1950 à 2013 à Niamey, Tillabéri et Tahoua (données SYNOP) en fonction du mois de l'année. Pour chacun des mois, la série de points correspond à la série temporelle des valeurs moyennes mensuelles (tracés en rouge pour les tendances les plus significatives). Un

ajustement quadratique est surajouté (lignes noires). La tendance linéaire par mois ainsi que le coefficient de corrélation sont indiqués en haut à droite de chacun des graphes avec des barres colorées.



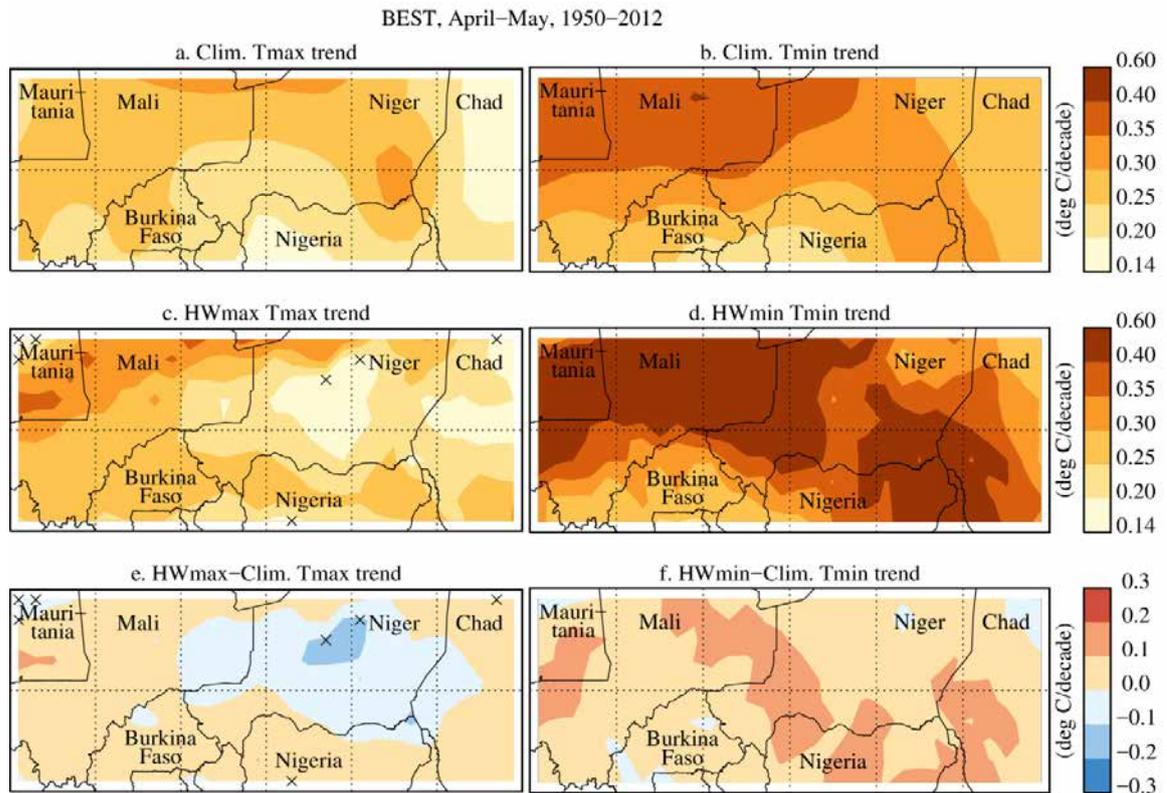
**Figure 5 :** Comme la Figure 4 mais pour Tmax et Tmin à Tahoua (données SYNOP).

Finalement, on notera que l'ensemble de ces résultats est cohérent avec ceux obtenus pour le Sahel plus largement (Guichard et al., 2015). De plus, si l'on se concentre sur les décennies les plus récentes, on observe un relativement bon accord entre les fluctuations temporelles et les tendances climatiques fournies par BEST et ERA-Interim sur les mailles contenant les sites de Niamey, Darey et Allakaye en moyenne sur des mois les plus chauds (avril et mai) (Figure 6).



**Figure 6 :** Tendence de la moyenne annuelle de la température journalière. Panneau du haut du haut : à Niamey (courbe noire), au Niger (courbe grise), dans quelques autres pays du Sahel, en l’Afrique de l’Ouest (courbe rouge), et en moyenne sur l’ensemble des continents (courbe bleue). Panneau du bas : à Niamey (courbe rouge) et à chacune des stations SYNOP (courbes grises). La tendance est calculée pour chaque série comme la différence entre la température et la moyenne de l’ajustement linéaire sur la période.

A plus grande échelle spatiale et temporelle, les tendances observées sur la zone Sahélienne depuis 1950 au printemps sont relativement cohérentes, avec un réchauffement plus marqué au nord du domaine (Figure 7, graphes du haut), et plus important la nuit que le jour. Ces tendances expliquent une bonne part de l’augmentation des températures lors des vagues de chaleur (Figure 7, graphes du milieu), i.e. il fait plus chaud, que l’on soit ou non dans une vague de chaleur au Sahel (comme dans les Tropiques plus généralement, Russo et al. 2014). Cependant, les vagues de chaleur diurnes voient leur températures diurnes augmenter moins rapidement au centre du domaine, sur une bonne part du Niger, alors que l’inverse est observé pour les vagues de chaleur nocturnes ; ici aussi ce constat est cohérent avec les résultats obtenus par Gershunov et al. (2012) pour le désert californien.



**Figure 7** : carte des tendances climatiques de Tmax (à gauche) et Tmin (à droite) en avril mai de 1950 à 2012. En haut les tendances moyennes, au milieu les tendances pendant les vagues de chaleur et en bas la différence entre les deux (Barbier et al. 2017).

Au contraire pendant la mousson, comme noté auparavant, les observations indiquent un refroidissement depuis le début des années 80. Il est particulièrement marqué en aout, et concerne la majeure partie du Sahel. Ce refroidissement contraste avec le réchauffement observé au nord de l’Afrique (Figure 8).

### 3. Bilan de l’analyse des températures

Comme la majeure partie des régions continentales du monde, le Sahel s’est réchauffé depuis 60 ans, à un rythme plus élevé que sur le globe tout entier (avec une augmentation supérieure à 1°C). Notre analyse des variations de températures sur cette région ne permet de renseigner le réchauffement climatique aux sites d’étude que via des données distantes de quelques centaines de kilomètres au mieux. La cohérence des tendances climatiques observées aux stations de mesures les plus proches suggère qu’un réchauffement du même ordre affecte les quatre sites d’étude, au-delà du fait que des différences entre zones urbaines et zones rurales sont probables. Elle montre aussi la récurrence d’évènements chauds au printemps (typiquement un évènement tous les ans sur la période avril-mai) au cours desquels la température est plus forte de 3°C.

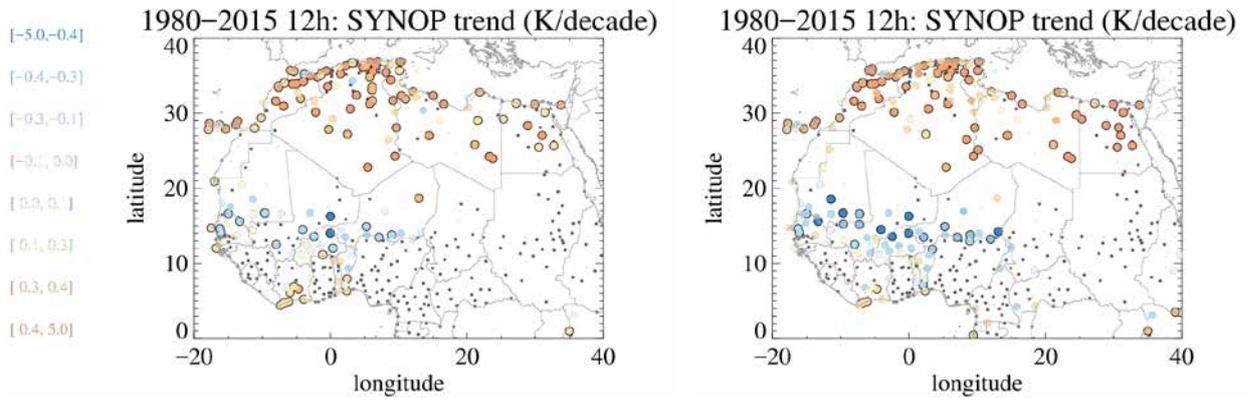
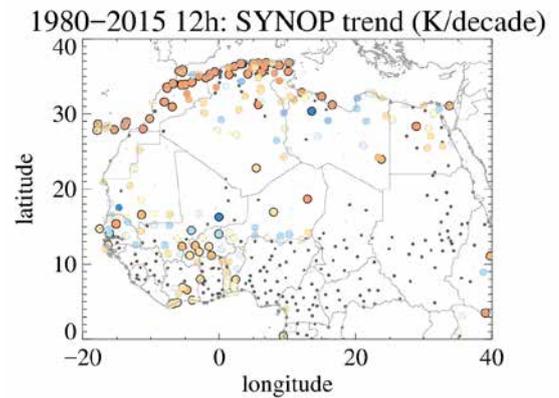


Figure 8 : tendances climatiques de Tmax observées en Afrique de l'ouest de 1980 à 2015 à partir des données SYNOP :

- en moyenne sur juin-juillet-août-septembre (au dessus),
- en août (à gauche en haut) et
- en juin (à gauche en bas).

Le même code couleur est utilisé sur les 3 cartes.



Ce réchauffement multi-décennal se superpose à un climat déjà très chaud, en particulier au printemps. Or c'est à cette période que le réchauffement observé est particulièrement fort et régulier et (de l'ordre de 2°C). Une telle régularité du réchauffement n'est pas observée en hiver, car l'évolution multi-décennale de la température est alors dominée par une forte variabilité inter-annuelle courte. Elle n'est pas observée non plus pendant la mousson, une période de l'année qui a été principalement affectée par un fort réchauffement lors des sécheresses des décennies 70 et 80 (réchauffement qui se manifeste principalement sur les températures diurnes). Les mois de mousson sont cependant nettement plus chauds maintenant qu'ils ne l'étaient dans les années 50 (de 1 à 2°C pendant la journée).

En résumé, notre analyse souligne une augmentation climatique des températures très contrastée suivant la période de l'année considérée (ainsi que suivant la période de la journée, i.e. la nuit ou le jour). Un réchauffement très marqué des températures nocturnes est observé au printemps, alors que l'augmentation des températures diurnes se manifeste principalement pendant la mousson. Elle indique aussi une intensification des vagues de chaleur nocturnes caractérisées par des températures atteignant 30°C ou plus au printemps.

## REFERENCES

- Barbier J., F. Guichard, D. Bouniol, F. Couvreur and R. Roehrig, 2017: Detection of intraseasonal large-scale heat waves: Characteristics and historical trends during the Sahelian Spring. *J. Climate*, à paraître.
- Dee, D. P. and co-authors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **137**, 553–597.
- Fischer, E. M., S. I. Seneviratne, P. L. Vidale, D. Lüthi, C. Schär, 2007: Soil moisture–atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. *J. Climate*. **20**, 5081–5099.
- Fontaine, B., S. Janicot, and P.-A. Monerie, 2013: Recent changes in air temperature, heat waves occurrences, and atmospheric circulation in Northern Africa. *J. Geophys. Res.-Atmospheres*, **118**, 8536–8552.
- Gershunov, A., and K. Guirguis, 2012: California heat waves in the present and future. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L18710.
- Guichard, F., L. Kergoat, E. Mougin, and F. Hourdin, 2012: The annual cycle of temperature in the Sahel and its climatic sensitivity. AGU Fall Meeting. Abstracts GC33A-1004.
- Guichard, F., L. Kergoat, E. Mougin, F. Timouk, F. Baup, P. Hiernaux, and F. Lavenu, 2009: Surface thermodynamics and radiative budget in the Sahelian Gourma: Seasonal and diurnal cycles. *J. Hydrol.*, **375**, 161–177.
- Guichard, F., L. Kergoat, F. Hourdin, C. Léauthaud, J. Barbier, E. Mougin, and B. Diarra, 2015: Le réchauffement climatique observé depuis 1950 au Sahel. *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, IRD, 23-42.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Kalnay, E. and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter, 2002: NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631–1643.
- Leauthaud C. B. and co-authors, 2017 : A 60-year reconstructed high-resolution local meteorological data set in Central Sahel (1950–2009) : evaluation, analysis and application to land surface modelling . *Int. J. Climatol.* **37**, 2699–2718.
- Meehl G.A. et C. Tebaldi, 2004: More intense, more frequent and longer lasting heat waves in the 21st Century. *Science*, **305**, 994-997.
- Perkins, S. E., 2015: A review on the scientific understanding of heatwaves—Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale. *Atmospheric Res.*, 164–165, 242–267.
- Perkins, S. E., and L. V. Alexander, 2013: On the measurement of heat waves. *J. Climate*, **26**, 4500–4517.
- Rienecker, M. M. and Coauthors, 2011: MERRA : NASA’s Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *J. Climate*, **24**, 3624–3648.
- Rohde, R., and Coauthors, 2013: Berkeley Earth Temperature Averaging Process. *Geoinformatics Geostat. Overv.*, **13**, 20–100.
- Rohde, R., and Coauthors, 2014: A new estimate of the average earth surface land temperature spanning 1753 to 2011. *Geoinformatics Geostat. Overv.*, **2013**, doi:10.4172/2327-4581.1000101.
- Russo, S., and Coauthors, 2014: Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *J. Geophys. Res.* **119**, 12500–12512.

- Moron, V., B. Oueslati, B. Pohl, S. Rome, and S. Janicot, 2016: Trends of mean temperatures and warm extremes in northern tropical Africa (1961-2014) from observed and PPCA-reconstructed time series. *J. Geophys. Res.-Atmospheres*, **121**, 5298–5319.
- Slingo, A., H. E. White, N. A. Bharmal, and G. J. Robinson, 2009: Overview of observations from the RADAGAST experiment in Niamey, Niger: 2. Radiative fluxes and divergences. *J. Geophys. Res.-Atmospheres*, **114**, D00E04.

## LES BENEFICES DES SERVICES CLIMATIQUES POUR L'AGRICULTURE AU NIGER

Benjamin Sultan, IRD

Etre en mesure d'anticiper les fluctuations climatiques quelques jours à quelques mois à l'avance peut faire une vraie différence dans les stratégies d'adaptation des populations africaines au changement climatique et constituer un premier pas pour augmenter les rendements et réduire les risques de crises alimentaires. En effet, l'agriculture pluviale étant extrêmement sensible aux aléas climatiques, l'agriculteur sahélien a développé une grande diversité de pratiques pour s'adapter à la forte variabilité climatique qu'il observe. Compte-tenu des retombées potentiellement dramatiques d'une mauvaise saison des pluies (famines, migrations forcées), les pratiques de cet agriculteur sont souvent entachées d'une très forte aversion au risque (c'est-à-dire qu'il tend à éviter les choix présentant un risque de mauvaise récolte même s'ils sont plus productifs en moyenne ; Affholder 1997; de Rouw 2004). Si elles sont le plus souvent très efficaces, lui permettant de produire de quoi survivre en cas de sécheresse prolongée, elles limitent sévèrement le développement de son activité et le maintiennent dans la pauvreté (CGIAR 2009). Pendant les bonnes années en termes de pluviométrie, sa production reste basse car il ne prend aucun risque pour profiter de ces conditions plus favorables (apports d'intrants, densification de semis, variété améliorée). De plus les changements socio-économiques (population qui augmente, compétition sur les ressources qui se raréfient) et la menace d'une variabilité climatique accrue en réponse au réchauffement global peuvent remettre totalement cette stratégie en question. L'information et la prévision climatique sont en mesure d'accompagner une nécessaire augmentation des rendements agricoles pour orienter les choix tactiques (à court terme comme le choix de la variété, date de semis) et/ou stratégiques (à plus long terme comme le choix du système de culture). Cette recherche-action est décrite par le concept « d'agriculture climato-intelligente » développé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) depuis 2010 et fait partie des « services climatiques » qui consistent à s'appuyer sur l'information climatique (données, prévisions, scénarios) pour fournir une aide à la décision dans la mise en œuvre de mesures d'atténuation et d'adaptation. Au niveau international, l'Organisation Météorologique Mondiale a reçu mandat des Nations Unies en 2009 pour organiser cette activité et en garantir la qualité, via le « Cadre Mondial pour les Services Climatologiques ».

Cependant rares sont les études qui mettent en évidence les bénéfices apportés par cette information climatique en Afrique de l'Ouest alors qu'elles sont cruciales pour isoler les variables climatiques les plus pertinentes sur lesquelles la communauté des climatologues devraient se focaliser et pour permettre l'adoption de la prévision dans le processus de décision (Meza et al. 2008). En effet, même si les prévisions saisonnières sont réalisées et diffusées tous les ans depuis 1998 en Afrique de l'Ouest, la diffusion de ces prévisions et leur adoption par les agriculteurs sont trop partielles pour permettre une évaluation ex-post qui mesurerait les retombées réelles de l'utilisation des prévisions par les agriculteurs (Meza et al. 2008). L'évaluation doit donc se faire de manière ex-ante en utilisant des approches permettant d'évaluer les bénéfices des prévisions avant même son adoption par les paysans (Sultan et al. 2010 ; 2013). Ces approches ont l'avantage de fournir des arguments chiffrés qui sont souvent nécessaires pour mobiliser des financements et des partenaires institutionnels. Elles peuvent également mettre en évidence les bénéfices à l'amélioration des systèmes de prévision actuels en testant par exemple l'opportunité de fournir à l'utilisateur de nouveaux produits adaptés à leurs besoins. Ce dernier point est particulièrement important en Afrique de l'Ouest où la prévision PRESAO se focalise presque exclusivement sur le cumul saisonnier des pluies alors qu'une prévision des dates de démarrage et de fin de la saison pluvieuse constitue une priorité parmi les attentes des agriculteurs (Ingram et al. 2002).

Pour espérer tirer des bénéfices de l'utilisation de la prévision climatique, il doit exister des décisions viables et sensibles au climat en réponse à la prévision (Hansen 2002). Meza et al. (2008) soulignent à ce propos que les évaluations ex ante des prévisions saisonnières prennent généralement trop peu en compte ces stratégies d'adaptation en réponse à la prévision et sous-estiment ainsi la valeur de l'information diffusée. Pourtant, comme le montrent Luseno et al. (2003), l'étude des stratégies des agriculteurs est un point fondamental car la valeur finale de la prévision dépend principalement de la capacité de réaction des paysans. Selon Roncoli et al. (2009), les paysans burkinabè utiliseraient jusqu'à quatre stratégies différentes, avec 38% d'entre eux seulement une et 27% deux stratégies. Certaines études (e.g. O'Brien et al. 2000) concluent que ces prévisions saisonnières ne changent pas réellement les pratiques culturales : cela peut être dû au fatalisme, au manque de confiance ou à la présence d'autres systèmes de prévisions locaux. Cependant, cela ne signifie pas nécessairement que la prévision saisonnière est inutile mais plutôt qu'il y a un problème avec le format de l'information ou que les agriculteurs ne lui accordent que peu de confiance. Celle-ci doit être facile à comprendre et doit surtout être donnée au moment opportun, i.e. au moins un mois avant le début de la saison (Ingram et al. 2002), pour que les exploitants aient le temps d'acheter les semences et les intrants. Notons que la valeur d'une telle information dépend également du taux d'acceptation des usagers.

Deux études ont permis une évaluation des bénéfices de l'utilisation de l'information climatique au Niger où les paysans auraient tendance à changer la variété du mil, la date de semis et le niveau de fertilisation s'ils avaient des informations sur le début, la fin de la saison pluvieuse, la quantité totale de pluie et sa répartition dans la saison (Roudier et al. 2011 ; 2016). Roudier et al. (2011) montrent un bénéfice de la prévision saisonnières sur les revenus des paysans avec un impact positif sur le revenu de +6.9%. Le bénéfice espéré est le plus fort pour les années humides (+12.1%) que pour les années sèches (+7.1%). Les différences d'augmentation entre les années sèches et humides sont dues aux stratégies culturales : en année humide, celles-ci diffèrent beaucoup plus de la situation de contrôle qu'en année sèche. Les saisons humides, souvent plus longues, permettent notamment l'utilisation de la variété à cycle plus long (Somno) et des fertilisants qui améliorent les rendements. Ces ajustements ne sont pas possibles ou moins efficaces en année sèche, car pour l'essentiel, en l'absence de prévision, les agriculteurs choisissent une stratégie culturale proche de celle qui s'avère optimale en saison sèche, du fait de leur aversion pour le risque. Ces résultats sont globalement cohérents avec ceux de Patt et al. (2005), calculés dans le cadre d'une étude ex post pour deux années, au Zimbabwe. Cette étude indique que l'utilisation de prévisions a entraîné sur les deux années une augmentation de 9.4% dans les récoltes. Elle souligne également que l'augmentation est meilleure durant les années humides (+18.7%). Roudier et al. (2016) ont utilisé une approche qui prend explicitement en compte l'aversion pour le risque et se concentre sur deux types d'agriculteurs typiques ayant des capacités d'adaptation restreintes et importantes, en fonction de la disponibilité d'options de décision viables sensibles aux informations climatiques. Les résultats montrent que les prévisions météorologiques à l'échéance de 10 jours, seules ou combinées avec des prévisions saisonnières pourraient être très bénéfiques pour tous les types d'agriculteurs. Par exemple, la variation médiane de changement de revenu avec des prévisions à 10 jours varie de + 1,8% à + 13% selon les possibilités d'adaptation. Roudier et al. (2016) montrent également que, dans la plupart des cas, les agriculteurs ayant accès aux engrais et les terres arables plus vastes profitent davantage des services climatiques. Malgré ces résultats positifs, il faut souligner que des pertes de revenus peuvent se produire dans environ 20% des cas lors de l'utilisation de ces prévisions, en cas de prévision erronée par exemple, ce qui peut être un facteur limitant de leur adoption effective.

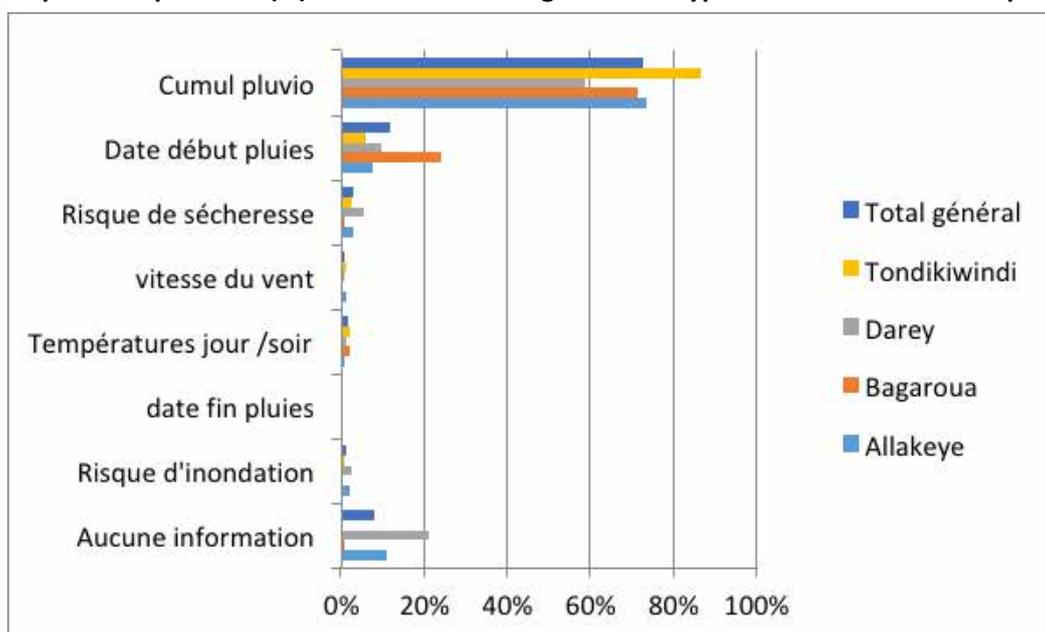
Enfin il faut souligner que la plupart des études citées ci-dessus ne traitent pas d'un point extrêmement important concernant l'utilisation de la prévision saisonnière pour l'aide à la décision qui est celui de sa diffusion auprès des agriculteurs et de son adoption au sein des pratiques locales. Les moyens de

communications de la prévision, son interprétation par les agriculteurs et son intégration parmi les différentes stratégies locales d'adaptation aux aléas climatiques sont pourtant des enjeux cruciaux pour espérer tirer des bénéfices des informations climatiques. Ils nécessitent de mettre en place un dialogue entre les producteurs d'information climatique et les utilisateurs comme celui amorcé par exemple par l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie du Sénégal où les prévisionnistes font des séminaires itinérants dans les exploitations agricoles au Sénégal pour non seulement informer les agriculteurs sur les possibilités des prévisions mais aussi pour apprendre des agriculteurs sur leurs besoins et leurs stratégies agricoles. D'autres exemples de ce type sont en cours dans le cadre des projets CCAFS et ESCAPE avec la mise en place d'ateliers participatifs où les producteurs sont à même de s'exprimer sur ces innovations telles que la prévision climatique (Roudier et al. 2014). Faire participer les acteurs dans ce processus de transfert de connaissances scientifiques vers les acteurs est très certainement un prérequis pour l'adoption de ces mesures in fine pour l'aide à la décision.

### 1. Accès et diffusion de l'information météorologique

Sur les trois communes (4 sites), on note que plus de 91% des personnes enquêtées déclarent avoir accès à l'information météorologique. C'est particulièrement notable à Bangaroua et Toungfinsi où environ 1% de la population n'a pas eu accès à l'information météorologique.

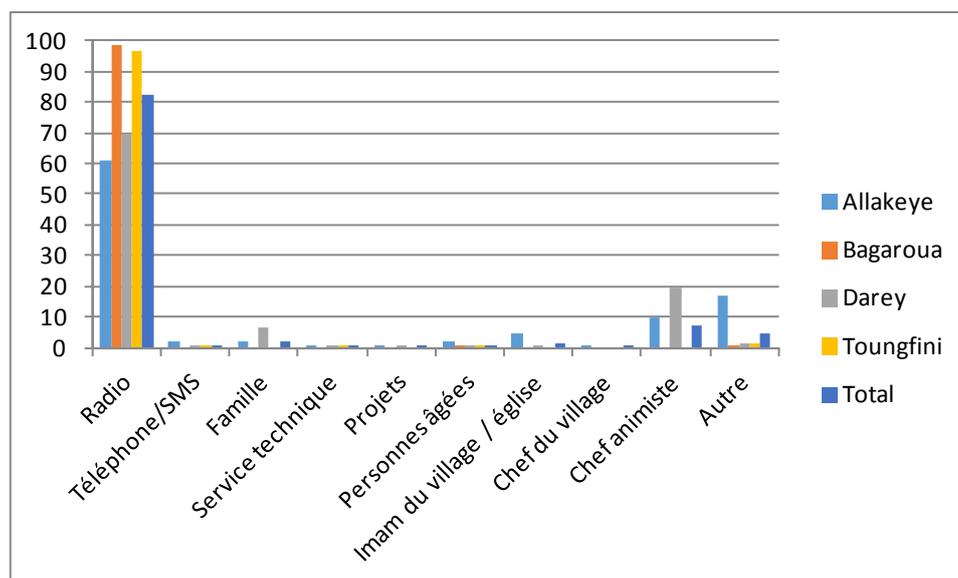
**Graphique 1 : Répartition (%) des chefs de ménage selon le type d'information climatique reçue**



Source : Enquête PAM - IRD - 2017

Près de 80% ont accès au cumul pluviométrique mais 24% des personnes interrogées ont eu accès aussi au début de la saison des pluies.

**Graphique 2 : Répartition des chefs de ménage (%) selon la source de l'information climatique (toutes informations confondues)**



Source : Enquête PAM - IRD - 2017

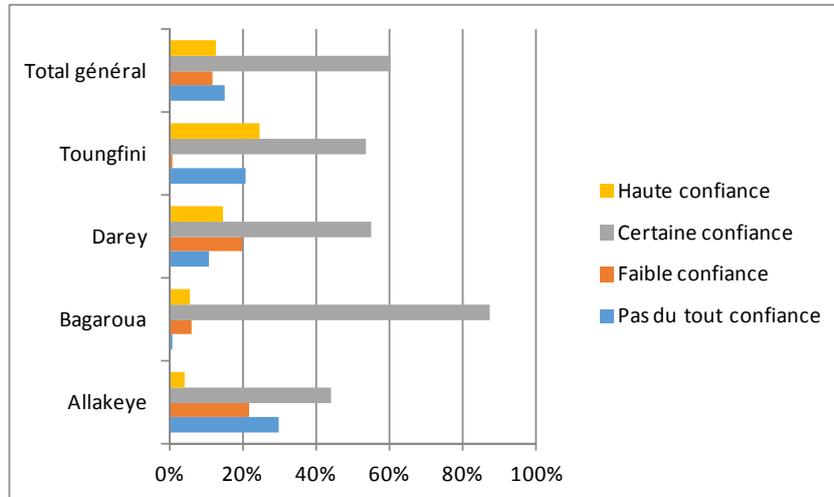
La radio est la principale source de diffusion de l'information météorologique (83% sur les 3 villages et jusqu'à 97% à Bagaroua). La religion joue un rôle important à Allakaye avec l'Imam et le Chef animiste qui apportent 15% des informations météorologiques et encore plus à Darey où 20% des chefs de ménage sont informés par le chef animiste (19%) et l'Imam (1%). La radio qui diffuse l'information météorologique est essentiellement publique à Bagaroua (près de 100%), à dominance publique à Toungfina (87%) et majoritairement privée à Darey (51%) et à Allakaye (62%).

La majeure partie des informations météorologiques parviennent en début de saison des pluies (plus de 65% sur les 4 sites). Les populations enquêtées d'Allakaye (19%) et dans une moindre mesure de Bagaroua (11%) ont accès aux infos en milieu de saison. Toungfina a eu accès à l'info tout au long de la saison (48%). A Darey, 67% ont eu une information en début de saison et 25% n'ont eu aucune information.

## 2. Confiance en l'information météorologique

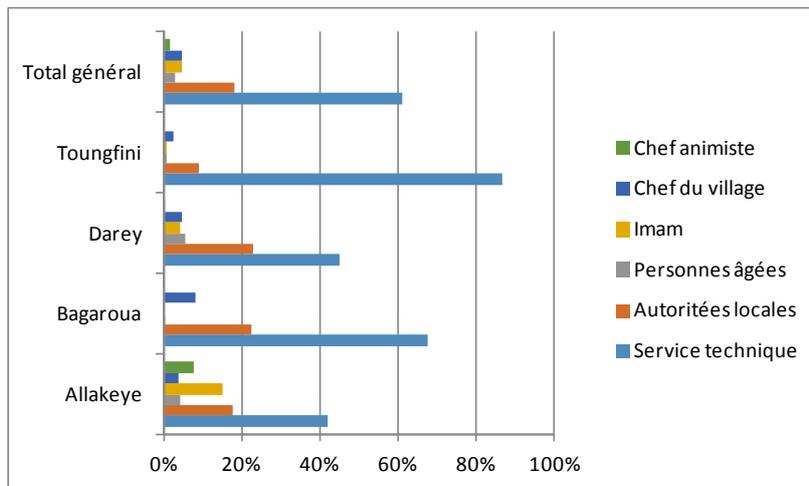
Des différences importantes entre les trois localités en termes de taux de satisfaction et de confiance vis à vis de l'information météorologique. 93% des personnes enquêtées à Bagaroua sont très satisfaits et 99% des personnes interrogées à Toungfina se déclarent satisfaits. C'est très différent à Allakaye où 45% des enquêtés sont peu satisfaits et où la majorité des personnes interrogées à Allakaye n'ont pas confiance à l'information climatique (52%). Ce taux de personnes qui n'ont pas confiance en l'information météorologique est seulement de 7% à Bagaroua et de 21% à Toungfina.

**Graphique 3 : Répartition des chefs de ménage selon la confiance qu'ils accordent à l'information climatique**



Source : Enquête PAM - IRD - 2017

**Graphique 4 : Répartition (%) des chefs de ménage selon la source d'information climatique à qui ils accordent le plus de confiance**



Source : Enquête PAM - IRD - 2017

On note aussi une grande disparité des réponses à Toungfani avec des personnes n'accordant pas du tout confiance en cette information (21%) ou une haute confiance (25%) alors que les résultats sont plus homogènes dans les autres localités. Une analyse approfondie pour comprendre cette hétérogénéité entre les localités et au sein d'une même localité comme à Toungfani ou Allakaye est certainement nécessaire dans une phase préalable.

Les populations de Bagaroua et de Toungfani accordent d'abord leur confiance aux services techniques / autorités locales (respectivement 90 et 95%), moins à Darey (78%) et beaucoup moins à Allakaye

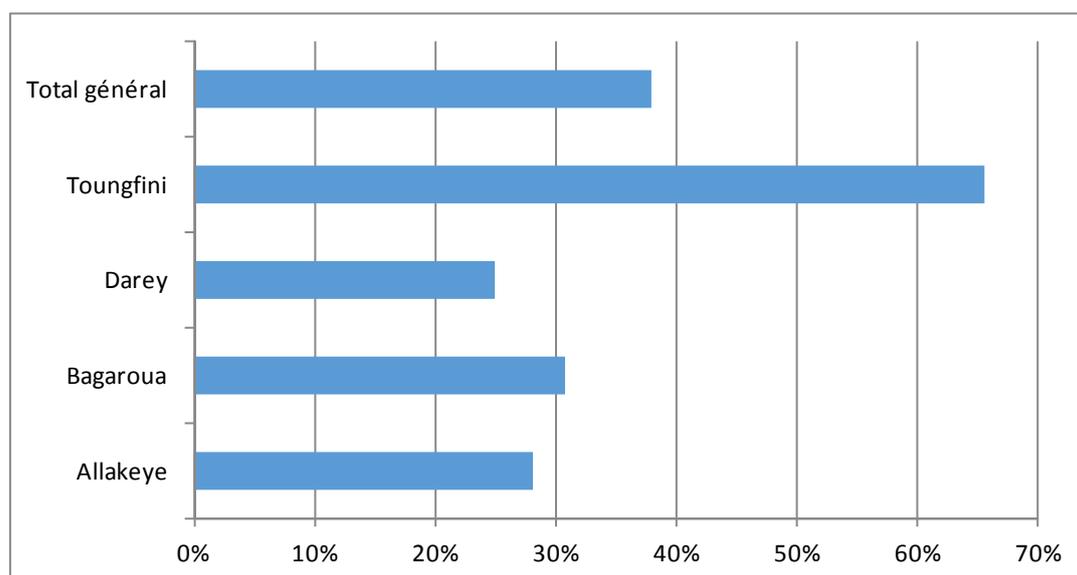
(60%). Encore une fois on voit le poids de la religion à Allakaye où 19% ont d'abord confiance dans les autorités religieuses (Imam / Chef animiste) (moins de 1% à Toungfani, 4% à Darey et 0% à Bagaroua).

La principale raison d'insatisfaction quant aux informations climatiques est le manque d'accès (56%). Viennent ensuite le manque de fiabilité (22%) et la croyance en Dieu (21%). La religion semble être le facteur qui limite la portée des services météorologiques à Allakaye. Dans cette localité, les populations ont davantage recours à des méthodes traditionnelles pour la prévision météorologiques (près de 24%) alors qu'elles sont très peu utilisées à Bagaroua (<4%), à Darey (10%) et à Toungfani (8%).

### 3. Utilisation de l'information météorologique

Les résultats sur les trois communes montrent que la majorité des enquêtés ne prennent pas de mesure en se basant sur l'information météorologique (62% des enquêtés).

**Graphique 5 : Proportion (%) de chefs de ménage qui prennent des mesures en fonction de l'information climatique**



Source : Enquête PAM - IRD - 2017

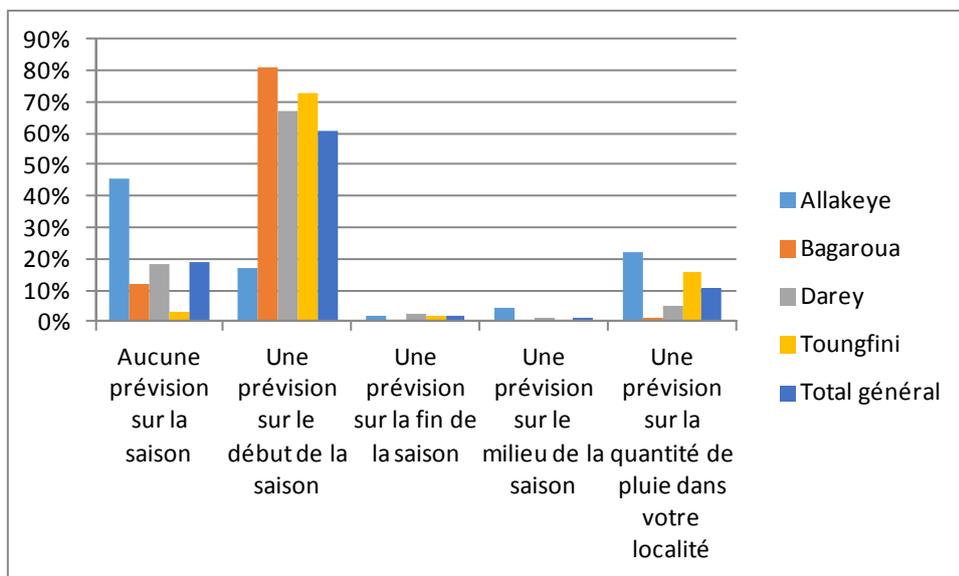
Si on prend un sous-groupe qui a accès à l'information climatique, on a toujours une majorité de personnes qui ne prennent pas de mesures (59%) ce qui démontre que cela semble ne résulter pas d'un problème d'accès à l'information. En outre les localités d'Allakaye, de Darey et de Bagaroua montrent des résultats sensiblement similaires avec près de 70% des enquêtés qui ne prennent pas de mesures. Pourtant à Bagaroua on a des personnes qui disent avoir accès, besoin et avoir confiance en l'information climatique contrairement à Allakaye avec une forte proportion de personnes sceptiques vis-à-vis de cette information. C'est un peu plus contrasté à Toungfani où si on prend le sous-échantillon qui a eu accès à l'information, on a même une majorité des répondants qui disent prendre des mesures (66%). Le questionnaire sur les innovations fait ressortir Toungfani comme la localité la plus innovantes avec davantage de changements de cultures, de variétés et l'utilisation de variétés améliorées que dans les deux autres localités. Le questionnaire sur les caractéristiques des ménages fait apparaître

Allakeye comme une localité plus contrainte avec des exploitations plus petites et des problèmes de fertilités évoqués par les personnes enquêtées.

La majorité des réponses à l'information sont des réponses techniques (semences, préparation des champs...) à Bagaroua (97%) et dans la commune de Tondikiwindi (75%). C'est très différent à Allakeye (seules 30% de réponses techniques). Les réponses sont plutôt spirituelles (15%), socio-économiques avec les migrations (15%) et la diversification des activités (26%). Ces résultats corroborent ceux de l'enquête sur les caractéristiques socio-économiques des trois localités qui montrent notamment que les localités qu'il y a plus de surfaces cultivées et en jachère à Bagaroua et Toungfani avec une pénurie de main d'œuvre.

#### 4. Les besoins en termes d'information météorologique

**Graphique 6 : Répartition des chefs de ménages (par site) selon l'information climatique dont ils auraient besoin en priorité**



Source : Enquête PAM - IRD - 2017

D'après les chefs de ménage, L'information climatique pour leurs activités est la date de semis/début (autour de 79% des réponses) puis le cumul de pluie des pluies (10% des réponses).

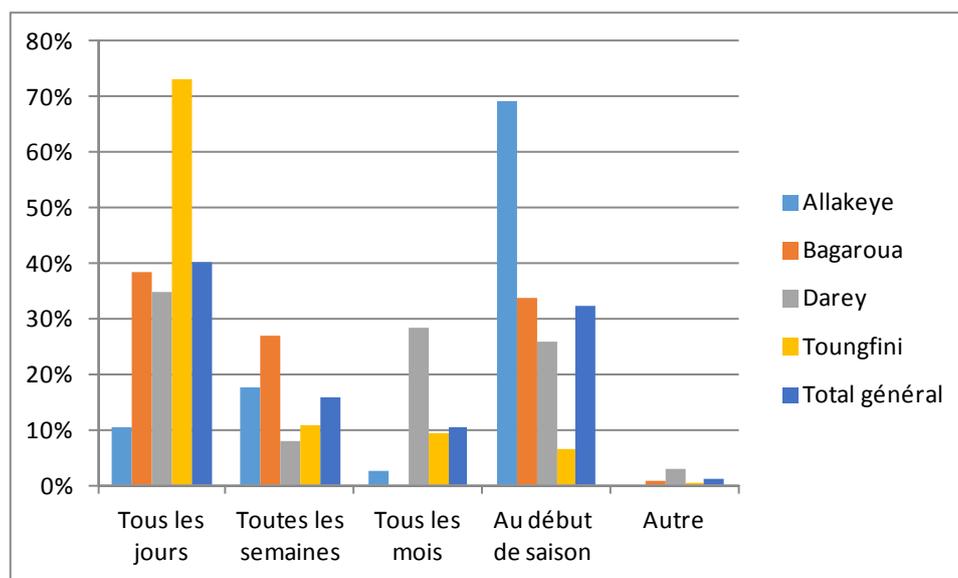
Le besoin en termes de prévision est principalement autour du début de la saison des pluies (61% des répondants sur les trois localités) puis la prévision du cumul des pluies (11%). Ce n'est pas cohérent avec les variables les plus importantes pour leurs activités mais cela peut s'expliquer par le fait que les répondants ont déjà accès à l'information sur le cumul pluviométrique.

C'est variable selon les localités notamment à Allakaye où les besoins sont quasiment équivalents entre le début de la saison et le cumul pluviométrique alors que dans les autres localités de 70 à plus de 80% des répondants souhaitent une prévision du début de la saison. Allakaye semble toujours réticent à

l'information climatique car 45% des répondants déclarent ne pas avoir besoin de prévision contre 18%, 12% et 10% respectivement à Darey, Bagaroua et Toungfani.

Une grande proportion de personnes enquêtées expriment le besoin de recevoir de l'information journalière (40% sur les trois localités).

**Graphique 7 : Périodicité à laquelle les chefs de ménage souhaiteraient recevoir de l'information climatique**



Source : Enquête PAM - IRD - 2017

La prévision à court-terme intéresse davantage (39% des personnes interrogées) que la prévision saisonnière (28%). Les répondants restent très intéressés par la prévision au début de la saison (28%) mais n'expriment aucun intérêt pour les autres prévisions (à 10 ans et plus).

Quelle est l'analyse faite des indicateurs traditionnels pour la prévision saisonnière?

### Références

Affholder F. (1997) Empirically modeling the interaction between intensification and climatic risk in semi-arid regions. *Field Crops Research*, 52, 79-93.

CGIAR – Consultative Group on International Agricultural Research (2009) *Climate, agriculture and food security: A strategy for change*. Alliance of the CGIAR Centers.

de Rouw A. (2003) Improving yields and reducing risks in pearl millet farming in the African Sahel, *Agric. Syst.*, 81, 73-93.

Hansen, J.W. (2002) Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges. *Agricultural Systems*, 74, 309-330.

- Ingram, K.T., M.C. Roncoli, and P.H. Kirshen (2002) Opportunities and constraints for farmers of West Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study. *Agricultural Systems*, 74, 331-349.
- Luseno, W. K., McPeak, J. G., Barrett, C. B., Little, P. D., et Gebru, G. (2003) Assessing the Value of Climate Forecast Information for Pastoralists: Evidence from Southern Ethiopia and Northern Kenya. *World Development*, 31, 1477-1494.
- Meza, F.J., Hansen, J.W., and D. Osgood (2008) Economic Value of Seasonal Climate Forecasts for Agriculture: Review of Ex-Ante Assessments and Recommendations for Future Research. *J. App. Meteorol.*, 47, 1269-1286.
- O'Brien, K., Sygna, L., Næss, L. O., Kingamkono, R., et Hochobeb, B. (2000) Is Information Enough? User Responses to Seasonal Climate Forecasts in Southern Africa, 1-72 pp.
- Patt, A., Suarez, P., et Gwata, C. (2005) Effects of seasonal climate forecasts and participatory workshops among subsistence farmers in Zimbabwe. *PNAS*, 102, 12623-12628.
- Roncoli, C., Jost, C., Kirshen, P., Sanon, M., Ingram, K. T., Woodin, M., Somé, L., Ouattara, F., Sanfo, B. J., Sia, C., Yaka, P., et Hoogenboom, G. (2009) From accessing to assessing forecasts: an end-to-end study of participatory climate forecast dissemination in Burkina Faso (West Africa). *Climatic change*, 92, 433-460.
- Roudier P., Sultan B., Quirion P., Baron C., Alhassane A., Traoré S. and B. Muller (2011) An ex-ante evaluation of seasonal forecasting for millet growers in SW Niger. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.2308.
- Sultan B., B. Barbier, J. Fortilus, S.M. Mbaye and G. Leclerc (2010) Estimating the potential economic value of the seasonal forecasts in West Africa: a long-term ex-ante assessment in Senegal. *Weather, Climate and Society*, 2, 69-87.
- Sultan B., Roudier P., Quirion P. (2013). Les bénéfices de la prévision saisonnière dans l'agriculture en Afrique de l'Ouest. In : Bossuet J. (coord.), Vadez V. (coord.) *Surmonter les défis de l'agriculture en zones sèches*. Sécheresse, 304-313. ISSN 1147-7806
- Roudier P., Muller B., d'Aquino P., Roncoli C., Soumaré M.A., Batté L. and B. Sultan (2014) The Role of Climate Forecasts in Smallholder Agriculture: lessons from participatory research in two communities in Senegal, *Climate Risk Management*, 2, 42-55.
- Roudier P, Alhassane A, Baron C, Louvet S, Sultan B. (2016) Assessing the benefits of weather and seasonal forecasts to millet growers in Niger. *Agricultural and Forest Meteorology*. 223:168-180.

## RECOMMANDATIONS SUR LES SERVICES CLIMATIQUES

- **Prendre en compte l'échelle régionale** : il apparaît important de confronter l'analyse de perception locale du changement climatique à une climatologie de référence établie à l'échelle régionale et non locale pour les raisons suivantes : (i) difficulté d'obtenir de la donnée locale à l'échelle de chaque village, (ii) la forte variabilité des précipitations à l'échelle locale qui rend difficile l'extraction d'une tendance climatique et qui limite la représentativité climatologique d'une station en particulier.

- **Prendre en compte les répercussions du réchauffement climatique**

Les populations interrogées sont plus interpellées par les précipitations que par la chaleur. Cependant, on observe un fort réchauffement climatique au printemps (période déjà la plus chaude de l'année), qui conduit à des températures plus élevées en moyenne et à des épisodes de chaleur de plus en plus sévères.

- **Prendre en compte le risque de sécheresse et d'inondation** : La sécheresse reste le risque climatique le plus redouté à juste titre compte tenu de la diminution de la durée de la saison des pluies et de la persistance des séquences sèches au cours de la saison. Les populations interrogées semblent pour l'heure moins sensibles aux extrêmes pluviométriques. Il existe cependant une tendance à la hausse effective des pluies intenses. Il est certainement nécessaire de prendre en considération le risque aléatoire de pluies intenses, d'inondation et destruction de cultures qui pourraient les accompagner, dans la définition des stratégies d'adaptation au changement climatique.

- **Prévoir le début de la saison des pluies** : La variable qui intéresse le plus les populations semble être la date de début de la saison des pluies. Le développement de services climatiques dans la région devra proposer ce produit aux utilisateurs.

- **S'appuyer sur les radios publiques et privées** : Une grande partie de l'information météorologique parvient aux populations par le biais de la radio. Le développement de services climatiques devra s'appuyer sur ce moyen de communication.

- **Travailler sur une meilleure connaissance** de l'information météorologique : Une des limites dans les services climatiques s'avère être un manque de confiance dans l'information météorologique. Un travail spécifique auprès de certaines populations devra être fait pour améliorer leur connaissance critique des informations météorologiques existantes, incluant l'éducation, la formation afin de les intégrer à d'autres éléments tels que les méthodes traditionnelles et savoirs locaux dans la prise de décision.

- **Développer les stratégies de réponse** : Même lorsque les populations reçoivent l'information climatique et en perçoivent l'utilité, elles ne sont pas toutes en mesure de mettre en place des stratégies de réponse adaptées. L'information météorologique devrait s'accompagner de moyens pour développer des stratégies de réponses comme la distribution d'intrants, de semences adaptées et de conseils agronomiques.