

Constitution d'une grille de pluies mensuelles pour l'Afrique (période 1900-2000)

Nathalie Rouché¹
 Gil Mahé²
 Sandra Ardoïn-Bardin¹
 Barthélémy Brissaud¹
 Jean-François Boyer¹
 Agnès Crès¹
 Claudine Dieulin¹
 Guillaume Bardin¹
 Gwendoline Commelard¹
 Alain Dezetter¹
 Jean-Emmanuel Paturel¹
 Éric Servat¹

¹ Université Montpellier 2
 HydroSciences Montpellier
 CC MSE
 Place E. Bataillon
 34095 Montpellier cedex 5
 France
 <Nathalie.rouche@msem.univ-montp2.fr>
 <ardoin@msem.univ-montp2.fr>
 <barthelemy.brissaud@msem.univ-montp2.fr>
 <boyer@msem.univ-montp2.fr>
 <agnes.cres@msem.univ-montp2.fr>
 <claudine.dieulin@msem.univ-montp2.fr>
 <guillaume.bardin@msem.univ-montp2.fr>
 <Gwendoline.commelard@msem.univ-montp2.fr>
 <alain.dezetter@msem.univ-montp2.fr>
 <jean-emmanuel.patirel@msem.univ-montp2.fr>
 <eric.servat@msem.univ-montp2.fr>

² IRD
 Université Mohamed V-Agdal
 BP 8967
 10 000 Rabat-Agdal
 Maroc
 <gil.mahe@ird.fr>

Résumé

La réalisation d'une base de données de pluies mensuelles pour l'Afrique est une valorisation par le Laboratoire HydroSciences Montpellier-HSM d'un fond de données pluviométriques africaines, héritée entre autres de l'Orstom, et de son expérience en gestion de bases de données hydroclimatiques en zone intertropicale. Les grilles de données créées permettent de diffuser des données pluviométriques élaborées au demi-degré carré, utiles à la recherche en Afrique, tout en respectant la confidentialité des données brutes stationnelles qui restent la propriété des services nationaux. Les données brutes font l'objet d'une série de critiques approfondies pour chaque poste pour corriger ou éliminer les informations fausses ou douteuses. Ce travail réponds à trois objectifs : i) proposer en ligne un inventaire des postes pluviométriques existants pour tous les pays ; ii) générer des séries de données de pluies homogènes appelées « séries de référence » ; iii) construire des grilles de pluies mensuelles au demi-degré carré pour le continent africain sur la période 1900-2000, proposées en accès libre sur le site SIEREM : <http://www.hydrosciences.fr/sierem>.

Mots clés : Afrique, base de données, pluviométrie.

Abstract

Generation of a grid of monthly rainfall for Africa (period 1900-2000)

The Montpellier Laboratory of HydroSciences, HSM, has developed a database of monthly rainfall for Africa using archives of tropical African rainfall data. This data was compiled in large part by ORSTOM and attests to their extensive experience in management of hydro-climatic data. The data grids created make it possible to distribute gridded rainfall data at half square degrees, which is useful for research in Africa while respecting the confidentiality of the raw data which remains the property of national services. The raw data are subject to a series of in-depth critical analyses for each gauging station in order to correct or eliminate false or questionable information. This work has three objectives: i) submit an online inventory of existing rainfall stations for all countries; ii) generate a series of homogeneous rainfall data called "reference series"; iii) construct half-square degree monthly rainfall grids for the African continent over the period 1900-2000, available for free on the SIEREM site <http://www.hydrosciences.fr/sierem>.

Key words: Africa, database, rainfall.

Il existe différentes grilles de données de pluie qui couvrent l'Afrique : par exemple, celle du CRU (*Climatic Research Unit*) [1] ou celle de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Même si elles sont accessibles à tous, ces

bases n'ont pas de statut officiel pour la dissémination de données ; elles ont été développées de façon indépendante par ces laboratoires, mais avec l'idée de partager leur travail avec la communauté des chercheurs. Il n'y a d'ailleurs pas de base

Tirés à part : N. Rouché

de données officielle. Devant la difficulté d'obtenir des informations en quantité et en qualité suffisante [2], plusieurs chercheurs ou laboratoires de recherche ont constitué également leur propre base de données, à partir de données brutes parfois très différentes, et sans comparaison possible du contenu ni des critiques dont ont pu faire l'objet les données recueillies. Or le choix d'une base de données a des répercussions majeures sur les résultats des études hydroclimatiques pour lesquelles elles sont utilisées [3].

Le laboratoire HydroSciences Montpellier (HSM) dispose d'une base de données pluviométriques importante héritée principalement de l'Office de la recherche scientifique et technique outre-mer (Orstom), aujourd'hui Institut de recherche pour le développement (IRD), institution française de recherche publique. L'inventaire de cette base est accessible à l'adresse <http://www.hydrosciences.fr/sierem>, via le système d'informations environnementales pour les ressources en eau en Afrique et leur modélisation (SIEREM) [4]. HSM a choisi de valoriser ce fond de données de pluies africaines et son expérience en gestion de bases de données hydroclimatiques en zone intertropicale [5-7], par la création et la diffusion de données pluviométriques élaborées au demi-degré carré, utiles à la recherche en Afrique, tout en respectant la confidentialité des données brutes stationnelles. Ces dernières sont en effet la propriété des services nationaux et ne sont donc pas accessibles sur le site SIEREM. De plus, dans le souci d'assurer une collaboration fructueuse entre les services nationaux et les chercheurs d'HSM, SIEREM propose des liens directs vers les sites internet des partenaires africains, afin que les personnes désirant obtenir des données brutes puissent rentrer facilement en contact avec les services nationaux de production de données.

Un premier fichier de pluies mensuelles est déjà en ligne sur le site SIEREM. Il couvre la période 1940-1998 et ne concerne qu'une fraction du continent africain, principalement l'Afrique de l'Ouest et centrale [8] et peut être utilisé à des fins d'études hydroclimatologiques [9]. Les données proviennent essentiellement de l'Orstom, avec quelques actualisations, mais n'ont pas suivi le processus de critique des données que nous avons mis en place pour la réalisation de cette nouvelle grille des pluies d'Afrique.

La constitution d'un jeu de données de pluies critiquées sur l'ensemble de l'Afrique [10] répond à trois objectifs :

- proposer en ligne sur le site Internet d'HSM un inventaire des postes pluviométriques existants pour tous les pays ainsi que des liens vers les propriétaires des données nationales ;
- générer des séries de données de pluies homogènes appelées « séries de référence », les plus complètes possibles, pour lesquelles des descriptions statistiques seront diffusées ;
- construire des grilles de pluies mensuelles au demi-degré carré pour le continent africain, à partir des séries de référence, sur la période 1900-2000, qui seront proposées sur le site Internet d'HSM.

Données et méthode

Origine des données

L'étude présentée ici repose sur un jeu de données extrêmement important : 6 204 stations pluviométriques sont répertoriées dans SIEREM pour 46 pays (figure 1), sans Madagascar et les îles, ce qui représente 269 527 années stations réparties sur l'ensemble du continent africain.

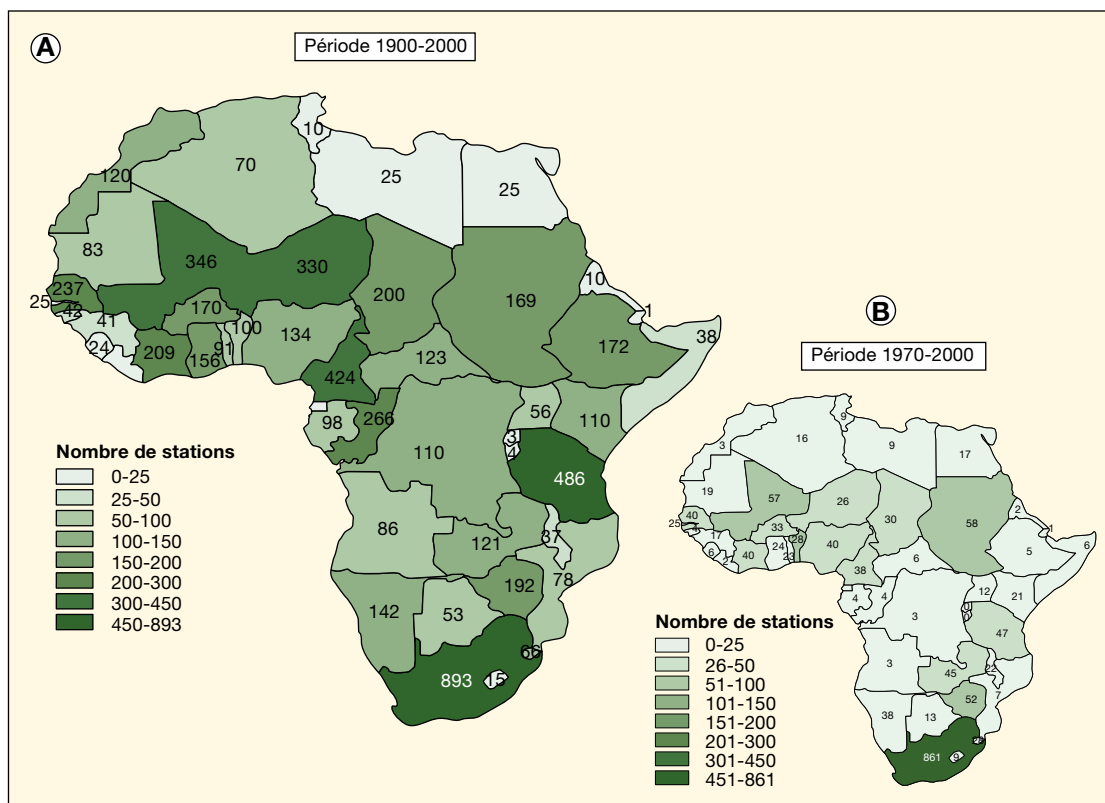


Figure 1. Nombre de postes pluviométriques par pays. A) période 1900-2000 ; B) période 1970-2000.

Le nombre de stations est important dans les pays d'Afrique de l'Ouest et centrale. En 1945, il existait déjà plusieurs centaines de stations en activité sur l'ensemble de la zone, grâce à la création en 1921-1922 d'un service météorologique en Afrique occidentale, qui avait permis le lancement de véritables réseaux de base. Plusieurs dizaines d'entre elles fonctionnaient déjà auparavant depuis le début du siècle, voire avant au Sénégal. Toutefois, il n'existait pas pour l'utilisateur de fichiers cohérents et critiqués de ces données et leur consultation en était laborieuse. La situation s'est nettement améliorée depuis, car cette région a été la cible d'un important programme international de constitution de base de données et de création d'annuaires pluviométriques. L'Orstom, avec l'Asecna (Agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar) et le CIEH (Centre interafricain d'études hydrauliques) ont ainsi constitué la banque référence des données pluviométriques journalières de tous les pays africains francophones (sauf la Guinée) depuis l'origine des stations jusqu'en 1980 [5, 6].

Le nombre de stations disponibles est plus faible au cours de la période récente (1970-2000) (figure 1). Par rapport aux années antérieures, c'est surtout en Afrique du Nord et centrale, et dans quelques pays d'Afrique de l'Est qu'il est le plus difficile d'obtenir des données actualisées.

Les données pluviométriques contrôlées et critiquées jusqu'en 1980 dans le cadre du projet avec l'Asecna et le CIEH, ont été rassemblées à partir des documents originaux, en procédant dans chaque pays à un microfilmage systématique des archives. Des mises à jour plus ou moins importantes ont couvert la période 1981-1990 pour un grand nombre de pays africains dans le cadre du programme « Water Assessment » de la Banque mondiale. Il ne s'agissait, dans la plupart des cas, que de données mensuelles. En 1995, cette base « Orstom » contenait 57 000 années de précipitations journalières correspondant à 2 800 postes de mesure.

Pour les données des périodes plus récentes, la base s'est enrichie au fur et à mesure de nombreux programmes de recherche sur la variabilité hydrologique menés par l'Orstom/IRD avec ses partenaires africains, qui ont permis des mises à jour fréquentes des informations disponibles (figure 2). Parmi ces programmes on peut citer plus particulièrement les programmes FRIEND de l'Unesco [11].

L'acquisition des données demeure un problème crucial et malheureusement permanent. Il faut de longues séries pour apprécier l'évolution des ressources en eau, et il faut des stations de référence

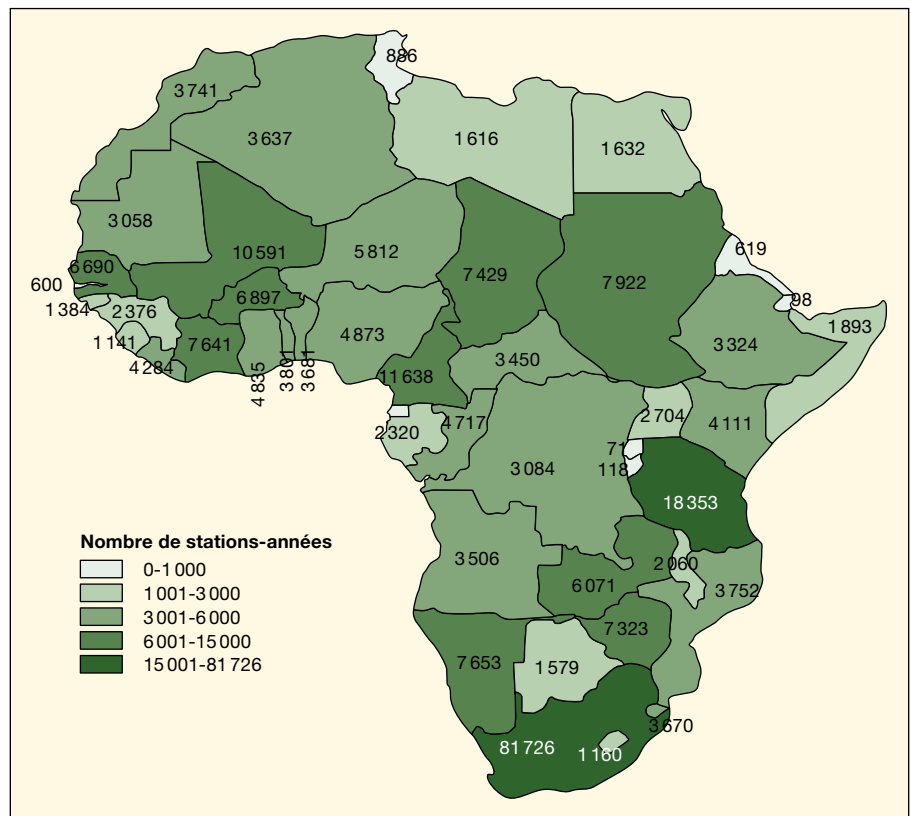


Figure 2. Nombre de stations par années (période 1900-2000).

stables pour établir les normes et les caractéristiques des régimes. Or, de nombreux services nationaux ont beaucoup de difficultés à assurer une gestion satisfaisante des réseaux par manque de moyens matériels, de personnel et de formation permanente.

Qualité des données de la base SIEREM

Les données sont globalement de bonne qualité. Le pourcentage de lacunes est faible (inférieur à 5 %) dans de très nombreux pays, sauf en Afrique centrale, et dans une moindre mesure dans certains pays d'Afrique du Nord et sur la côte des Monts de Guinée (figure 3).

Le nombre de stations de longue durée (plus de 50 ans, figure 4) est également plus élevé en Afrique de l'Ouest et australe, et plus faible en Afrique centrale et dans la corne de l'Afrique. En Afrique du Nord, il est modéré à faible.

Il faut noter que ces chiffres ne révèlent pas la totalité des données disponibles dans les services météorologiques nationaux ; il ne s'agit dans bien des cas, surtout pour les années postérieures à 1980, que d'une fraction des données existantes, cette fraction ayant fait l'objet d'une étude conjointe dans la plupart des cas. Là encore, on rejoint le sujet délicat de la mise à disposition des

données climatiques pour les besoins de la recherche, qui se heurte souvent aux nécessités économiques des services nationaux, quand la collecte et l'intégrité des données physiques ne sont pas elles-mêmes remises en question pour des raisons d'instabilité politique.

La géographie de la durée moyenne des observations suit à peu près celle des cartes précédentes (figure 5), avec quelques nuances, car dans certains pays il peut y avoir beaucoup de postes de mesure étudiés sur de courtes périodes, que ce soit dû à une ouverture tardive du réseau ou à un arrêt précoce des enregistrements, ce qui réduit la durée moyenne des observations. Toutefois, le réseau de mesure de stations synoptiques est assez dense dans de nombreux pays. Il est important de pouvoir disposer de séries longues et ininterrompues, car certains calculs statistiques, comme les tests de rupture dans les séries, ne peuvent être appliqués sur des séries courtes ou lacunaires.

Le premier objectif de cette étude est de générer une série de référence pour chaque poste pluviométrique, sans critère initial de sélection, et en particulier quel que soit le nombre d'années d'observations.

Constitution des séries de référence

Pour chaque station, il peut exister plusieurs séries de données de sources

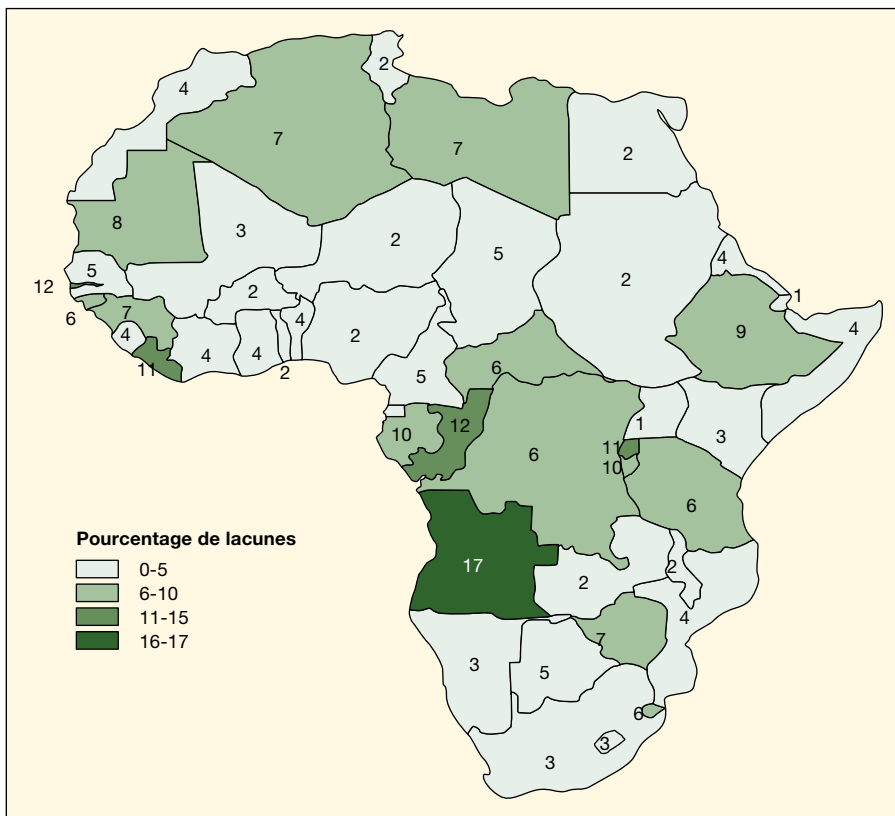


Figure 3. Pourcentage de lacunes dans les observations, pour chaque station entre les dates de début et de fin des données collectées, au cours de la période 1900-2000.

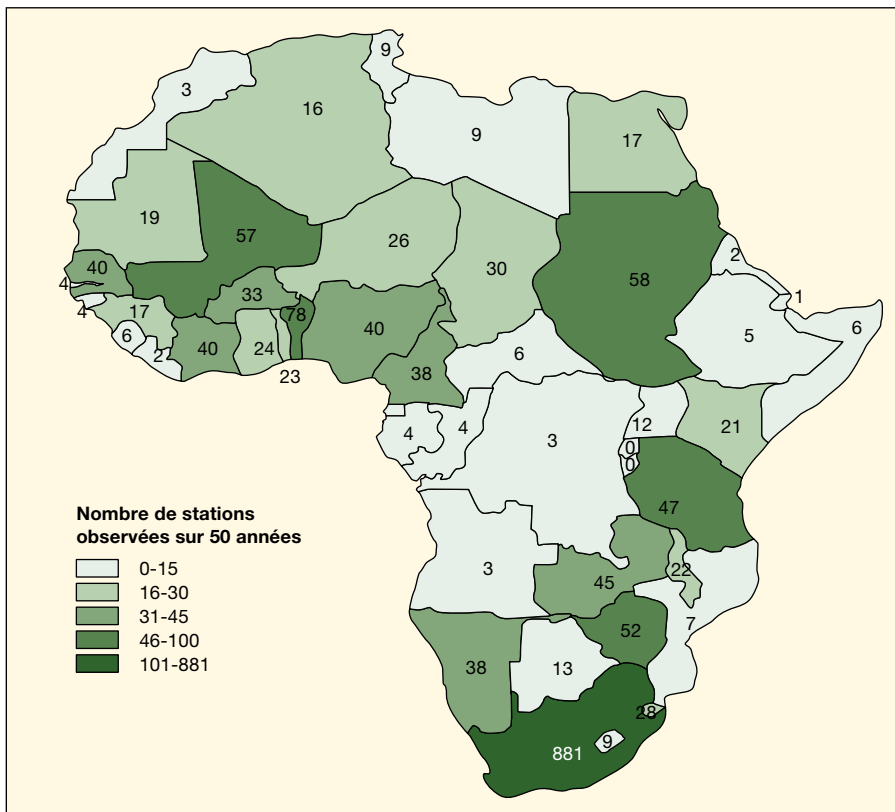


Figure 4. Nombre de stations de plus de 50 ans d'observations (période 1900-2000).

différentes, sans qu'il soit possible ex *abrupto* de les classer par ordre de « confiance ». Un travail de pré-critique réalisé sur quelques stations permet à la fois d'affecter un ordre de priorité aux différentes séries, et d'élaborer une série de référence pour chaque poste selon les principes évoqués ci-dessous :

- mise à jour des coordonnées des stations ;
- calcul des valeurs mensuelles d'après les valeurs journalières ou décadaires, quand elles sont disponibles ;
- comparaison des valeurs de séries journalières, décadaires, et mensuelles pour un même poste (si on dispose de plusieurs séries).

L'ordre de priorité des différentes sources d'informations a été déterminé par pas de temps (journalier, décadaire, mensuel), puis par source pour l'ensemble des pays. Les sources d'informations ont fait l'objet d'une critique plus subjective. Nous avons défini un label de « qualité » des différents jeux de données stockés en fonction de différents critères tels que :

- provenance de l'information ;
- fiabilité des sources ;
- nombre d'intermédiaires dans le trajet de l'information ;
- durée des séries d'observations.

La constitution des jeux de données mensuelles de référence sur l'ensemble de l'Afrique [12, 13], nécessite de mettre au point des outils et éléments de critique des données. Une série de tests automatiques a été appliquée à toutes les séries de données mensuelles, pour chaque poste individuellement. Il s'agit de trois catégories de tests :

- tests de vraisemblance pour mettre en évidence des valeurs aberrantes, soit à partir de la climatologie, soit par comparaison avec des postes voisins ;
- tests de recherche de pluie nulle anormale (par exemple pendant la saison des pluies) ;
- tests de recherche de données recopiées de séries anciennes.

Ces tests émettent des avertissements dans les séries de données, mais aucune correction automatique n'est appliquée. Pour chaque alerte repérée, on effectue ensuite une critique manuelle avant de prendre une décision. Dans cette phase de critique manuelle, on utilise, quand c'est possible, les données journalières disponibles pour aider à la prise de décision. Dans cette phase, on a recours également à la comparaison avec des postes voisins. Si plusieurs séries sont disponibles pour le même poste, mais avec des données qui peuvent être différentes et de longueur inégale, la phase ultime de la critique consiste à déterminer le jeu de données le plus probable, qui peut être une combinaison de données issues de sources différentes

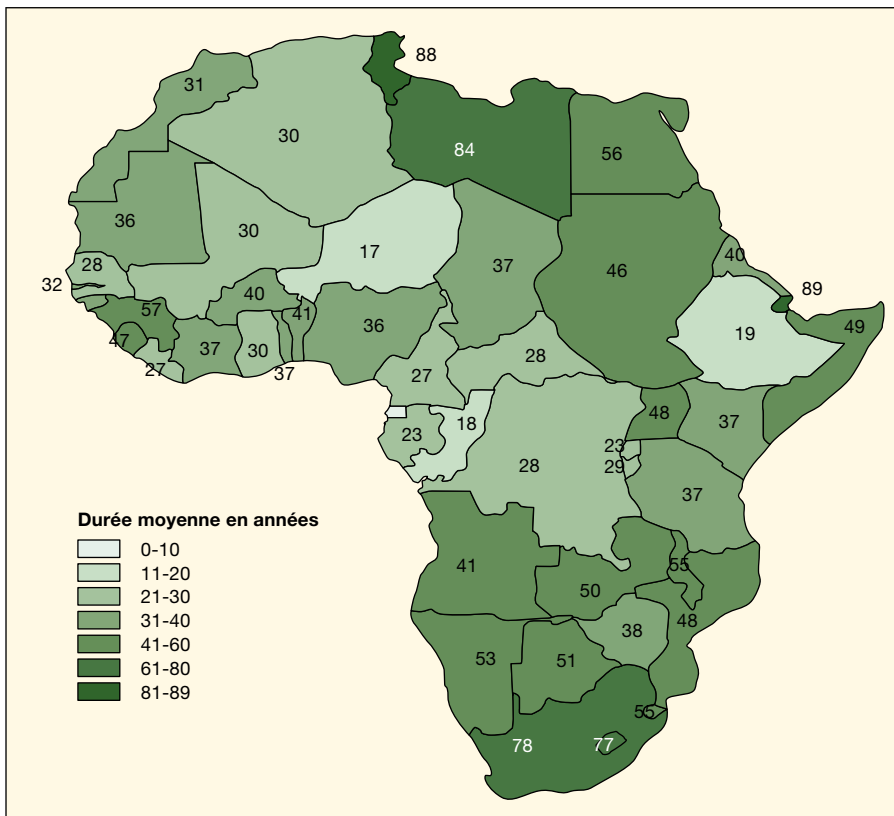


Figure 5. Durée moyenne des observations, période 1900-2000.

pour le même poste, pour constituer notre série de référence. Cette série de référence ne peut en aucun cas être assimilée à la série brute, puisque, au minimum, elle pourra avoir subi quelques modifications mineures de qualité, et dans certains cas elle sera une combinaison de plusieurs sources pour le même poste. Ce sont ces séries qui serviront au calcul des grilles de pluie mensuelles.

Il est important de noter que cette phase de critique ne sert pas à combler les lacunes dans les séries de données (figure 3).

Ci-dessous figurent quelques-uns des tests de critique appliqués aux données mensuelles qui permettent de détecter un grand nombre d'erreurs :

- répétitions des valeurs d'un mois entier, d'une année sur l'autre ;
- même valeur que le mois précédent et valeur non nulle ;
- total supérieur ou égal à un seuil fixé par pays ;
- mois pluvieux en saison sèche : valeur supérieure à un seuil ;
- mois à zéro en saison humide : valeur inférieure à un seuil ;
- valeur négative ;
- mois pour lesquels le total est inférieur à un seuil afin de trouver les mois saisis en mm et non en $1/10^{\circ}$ de mm ;
- écarts significatifs (en pourcentages ou en fonction de l'écart type).

Au total ce sont 16 tests qui sont appliqués sur toutes les données mensuelles. Chaque résultat positif est signalé par un code en face de chaque donnée sur une sortie papier de toutes les données, qui constitue un annuaire physique de métadonnées, sur lequel on inscrit la nature des commentaires et choix d'actions pour chaque donnée. Ces informations sont ensuite reportées sur le fichier électronique des métadonnées.

Les séries de référence ainsi constituées vont servir de base à une interpolation pour générer les grilles de pluies mensuelles.

Constitution des grilles de pluies mensuelles

Dans une précédente étude sur le Burkina Faso [3] on a montré que les résultats de la modélisation hydrologique, qui utilise des données de pluie en entrée, sont optimaux quand on utilise un maximum de stations disponibles pour construire les grilles de pluies, quelle que soit la longueur des séries. C'est le choix fait également ici pour toute l'Afrique. La conséquence est qu'à chaque pas de temps le jeu de données brutes est légèrement différent. Mais cela permet de conserver l'intégralité des observations, facteurs qui semblent primer pour la qualité des applications.

La méthode d'interpolation retenue est un krigeage simple, méthode géostatistique qui a prouvé sa robustesse dans beaucoup d'applications environnementales. Le variogramme choisi est linéaire simple. Cette méthode s'applique particulièrement bien à la construction de grilles à partir de points irrégulièrement positionnés dans l'espace, problème récurrent pour la construction de grilles de données climatologiques. Dans notre cas (figure 6) le nombre de stations disponibles par mailles est inégalement réparti en Afrique, avec de vastes zones sans données, dans les déserts mais aussi en forêt équatoriale, quelques régions où les données sont plus nombreuses, et une couverture de densité variable entre les deux. La validation des grilles obtenues a été effectuée sur la partie Afrique de l'Ouest et centrale par Paturol *et al.* [8]. La grille SIEREM a été comparée à la grille du CRU à travers une application en modélisation hydrologique. Les résultats sont meilleurs avec la grille SIEREM, ce qui confirme encore une fois les résultats obtenus précédemment sur le Burkina Faso [3].

Conclusion

Il a fallu de nombreuses années de travail pour rassembler les données, mettre au point les programmes de gestion de bases de données et les programmes de traitement spécifiques pour les critiques opérées, éditer des centaines d'annuaires papier qui servent de base à la critique manuelle de chaque donnée, puis intégrer les modifications dans un fichier électronique de métadonnées. Quelques étapes intermédiaires ont permis de comparer le jeu de données de SIEREM à d'autres sources de données et ont permis d'en valider la qualité, et le grand intérêt pour les simulations pluie-débit en modélisation hydrologique. Cependant, la grille des pluies définitive n'est pas encore terminée. Le travail de critique des données reste à compléter pour quelques pays. La grille de pluie devrait être disponible au début de l'année 2011.

Outre la génération des grilles de pluies mensuelles et leur utilisation en modélisation hydrologique et climatique, le travail de génération de la grille des pluies pour l'Afrique permettra à terme d'actualiser et d'étendre la carte des pluies d'Afrique déjà publiée par l'IRD en 1996 pour l'Afrique de l'Ouest et centrale [14], qui complète la carte des grands bassins hydrologiques d'Afrique de l'Ouest et centrale éditée par l'IRD [15].

Pour les données des périodes...., qui ont permis des mises à jour fréquentes des informations disponibles (figure 2). ■

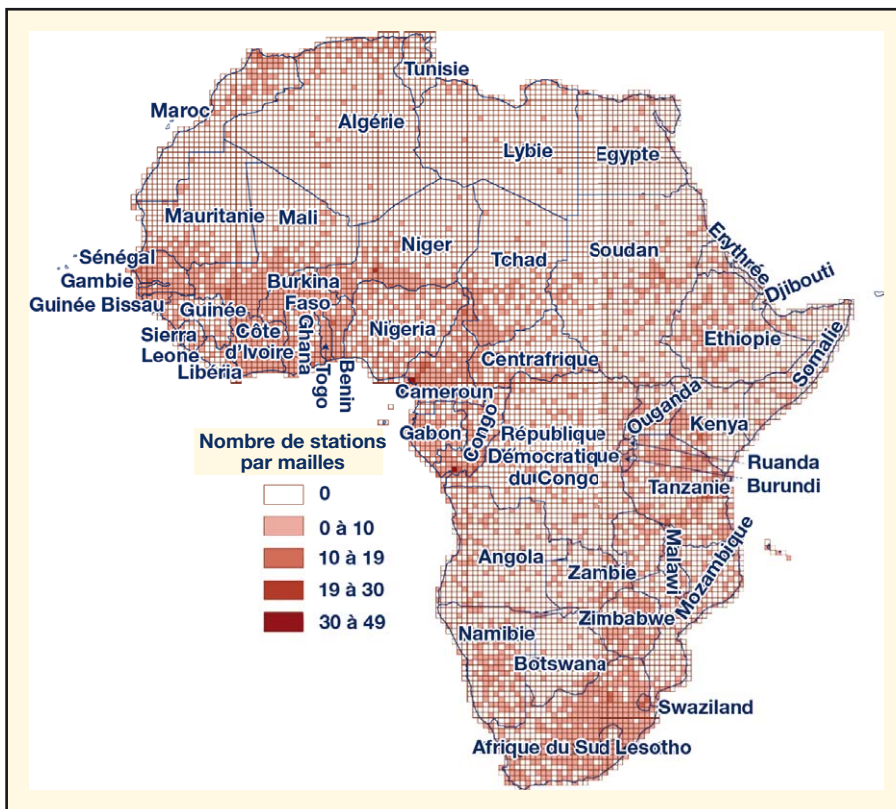


Figure 6. Nombre de stations par mailles de 0,5 x 0,5 degré (période 1900-2000).

Références

1. New MG, Hulme M, Jones PD. Representing 20th century space-time climate variability. II. Development of 1901-1996 monthly terrestrial climate fields. *J Climate* 2000 ; 13 : 2217-38.
2. Mahé G, Gioda A. Les données climatiques devraient devenir publiques. *Le Monde.fr* 21/12/09
3. Mahé G, Girard S, New M, et al. Comparing available rainfall gridded datasets for West Africa and the impact on rainfall-runoff modelling results, the case of Burkina Faso. *Water SA* 2008 ; 34 : 529-36.
4. Boyer JF, Dieulin C, Rouché N, et al. *SIEREM: an environmental information system for water resources*. In. *Water Resource Variability: Processes, Analyses and Impacts*. 5th FRIEND World Conference, La Havana, Cuba. IAHS Publ. 308. IAHS, 2006.
5. CIEH. *Annales des précipitations journalières de l'origine des stations à 1965* : Bénin, 1973; Burkina Faso, 1977; Cameroun, 1978 (deux tomes); Centrafrique, 1990; Congo, 1981; Gabon, 1979; Côte d'Ivoire, 1973; Mali, 1974; Mauritanie, 1977; Niger, 1976; Sénégal, 1976; Tchad, 1973; Togo, 1977. Paris : CIEH; secrétariat d'État aux Affaires étrangères chargé de la Coopération; Orstom, 1990.
6. CIEH. *Annales des précipitations journalières de 1966 à 1980* : Bénin, 1989; Burkina Faso 1989; Cameroun, 1990; Centrafrique, 1990; Congo, 1989; Gabon, 1989; Côte d'Ivoire, 1989; Mali, 1989; Mauritanie, 1990; Niger, 1990; Sénégal, 1990; Tchad, 1990; Togo, 1989. Paris : CIEH; Asecna; Orstom, 1990.
7. Orstom. *Évaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne : pays de l'Afrique de l'Ouest. Rapport régional*. Montpellier : Orstom, 1992.
8. Paturel JE, Boubacar I, L'Aour-Crès A, Mahé G. Monthly rainfall grids in West and Central Africa. *Rev Sci Eau* 2010 (sous presse).
9. Paturel JE, Boubacar I, L'Aour-Crès A, Mahé G, Niel H. Analyses de grilles pluviométriques et principaux traits des changements survenus au XXème siècle en Afrique de l'Ouest et Centrale. *Hydrol Sci J* 2010 ; 55 : 1281-8.
10. Rouché N, Ardoin-Bardin S, Boyer JF, et al. *Constitution d'une grille de pluies mensuelles période 1900-2000 pour l'Afrique*. 13th World Water Congress, 2008, Montpellier, France.
11. Mahe G, Bakalowicz M, Boyer JF, Ferrari E, Snoussi M, Touaibia B. MEDFRIEND: global perspectives for the UNESCO research network in Hydrology for the Mediterranean. *Secheresse* 2010 ; 21 : 285-93. doi : 10.1684/sec.2010.0273
12. Rouché N. *Rapport HSM. Notes sur l'établissement d'un fichier de données de pluies mensuelles en vue de la constitution d'une série de pluie de référence Pays : Burkina Faso, Cote d'Ivoire, Guinée, Liberia, Mali, Sierra Léone, Tome 1*. Montpellier : Laboratoire Hydrosociences Montpellier, 2007.
13. Rouché N. *Rapport HSM. Notes sur l'établissement d'un fichier de données de pluies mensuelles en vue de la constitution d'une série de pluie de référence. Pays : Bénin, Gambie, Ghana, Guinée Bissau, Niger, Nigeria, Tome 2*. Montpellier : Laboratoire Hydrosociences Montpellier, 2008.
14. L'Hôte Y, Mahé G. *Afrique de l'Ouest et Centrale, Précipitations moyennes annuelles (période 1951-1989). Échelle 1/6 000 000*. Collection des cartes Orstom. Paris : Orstom éditions, 1996.
15. Dieulin C. *Carte de bassins hydrographiques d'Afrique de l'Ouest et Centrale*. Bondy (France) : IRD/Service cartographique, 2006.