

Les précipitations dans le sud-ouest de Madagascar

LUC FERRY, YANN L'HOTE

L'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), Laboratoire d'Hydrologie, BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex 1, France
e-mail: luc.ferry@mpl.orstom.fr

ANNA WESSELINK

62 Rue des Entrepreneurs, F-75015 Paris, France

Résumé Dans la région dite "semi-aride" du sud-ouest de Madagascar, les pluies moyennes annuelles sont comprises entre 350 mm et 1000 mm. Les saisons y sont très contrastées. La saison des pluies, soit 70% à 80% des totaux annuels, a lieu entre novembre et avril. La méthode du vecteur régional (MVR) permet de présenter graphiquement la forte variabilité des pluies annuelles depuis 60 ans et de restituer quantitativement les totaux annuels particulièrement faibles de 1991. Les analyses faites sur onze séries d'observations pluviométriques suivant la méthode de Kendall, et les tests du logiciel KhronoStat sur le vecteur régional ne font apparaître ni tendance ni rupture significatives sur la période 1935-1994.

INTRODUCTION

La région semi-aride du sud-ouest de Madagascar a connu de 1990 à 1993 une grave période de disette consécutive à des années déficitaires du point de vue pluviométrique. Cette sécheresse a conforté la croyance populaire et les idées reçues qui voudraient que les précipitations soient aujourd'hui moins fortes que par le passé.

La présente étude, à l'attention des décideurs et des bailleurs de fonds, représente une expertise objective basée sur toutes les observations pluviométriques disponibles. Elle a nécessité une remise à jour de la banque de données pluviométriques (ORSTOM DMH, CNRE, 1995) ainsi qu'un important travail de vérification des pluies journalières et mensuelles à partir des fiches originales des observateurs qui ont été recherchées à cette occasion.

Géographiquement, le sud-ouest de Madagascar correspond ici à l'ensemble des bassins versants situés entre les villes de Morombe et de Fort Dauphin (Fig. 1), soit une région d'environ 150 000 km². Excepté sur sa bordure est, ainsi que sur le haut bassin versant du Mandrare et le massif de Mikobaka/Analavelona, le relief de cette région est peu perturbé.

DONNEES DE BASE, CRITIQUE ET HOMOGENEISATION

Les données de plus de 4500 années-stations sur près de 180 postes pluviométriques ont été examinées. Une des étapes préalables de l'étude a consisté au comblement des

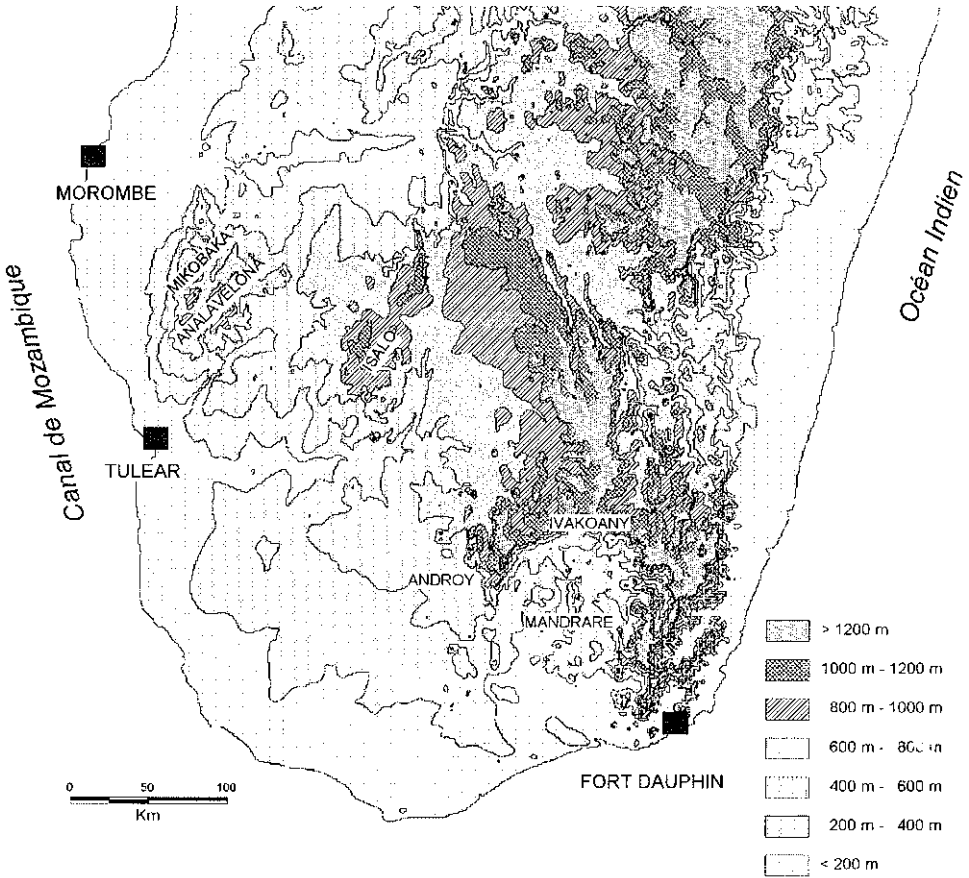


Fig. 1 Topographie et localisation de la zone d'étude.

lacunes d'observation aux pas de temps journalier et mensuel, soit environ 10% du total des données.

Après critique et homogénéisation des données annuelles au moyen de la méthode du vecteur régional—MVR (Hiez, 1986; Cochonneau *et al.*, 1992), la période de 30 années de 1951 à 1980 (référence OMM) a été choisie pour le calcul des pluies moyennes annuelles (PMA₅₁₋₈₀).

Soixante séries de pluies annuelles présentant peu de lacunes entre 1951 et 1980 ont été ainsi constituées. Ces données ont été utilisées pour le tracé de la carte des isohyètes moyennes annuelles (Fig. 2).

Onze séries de pluies mensuelles et annuelles ont pu être constituées sur la période de 1935 à 1994, soit 60 années. Parmi ces onze séries, huit ont été obtenues par assemblage de stations se situant dans une même localité, l'homogénéité de l'ensemble ayant été vérifiée.

Sur les onze stations les PMA₅₁₋₈₀ sont en général supérieures au PMA₃₅₋₉₄, avec une valeur médiane de +4% de différence et des extrêmes de -7% à Befandriana et +9% à Tulear.

ISOHYETES MOYENNES ANNUELLES ET REGIMES PLUVIOMETRIQUES

Carte des isohyètes moyennes annuelles

La carte des isohyètes publiée par Chaperon *et al.* (1993) a pu être corrigée à la suite des travaux entrepris ici. Les courbes ont été tracées manuellement par interpolation

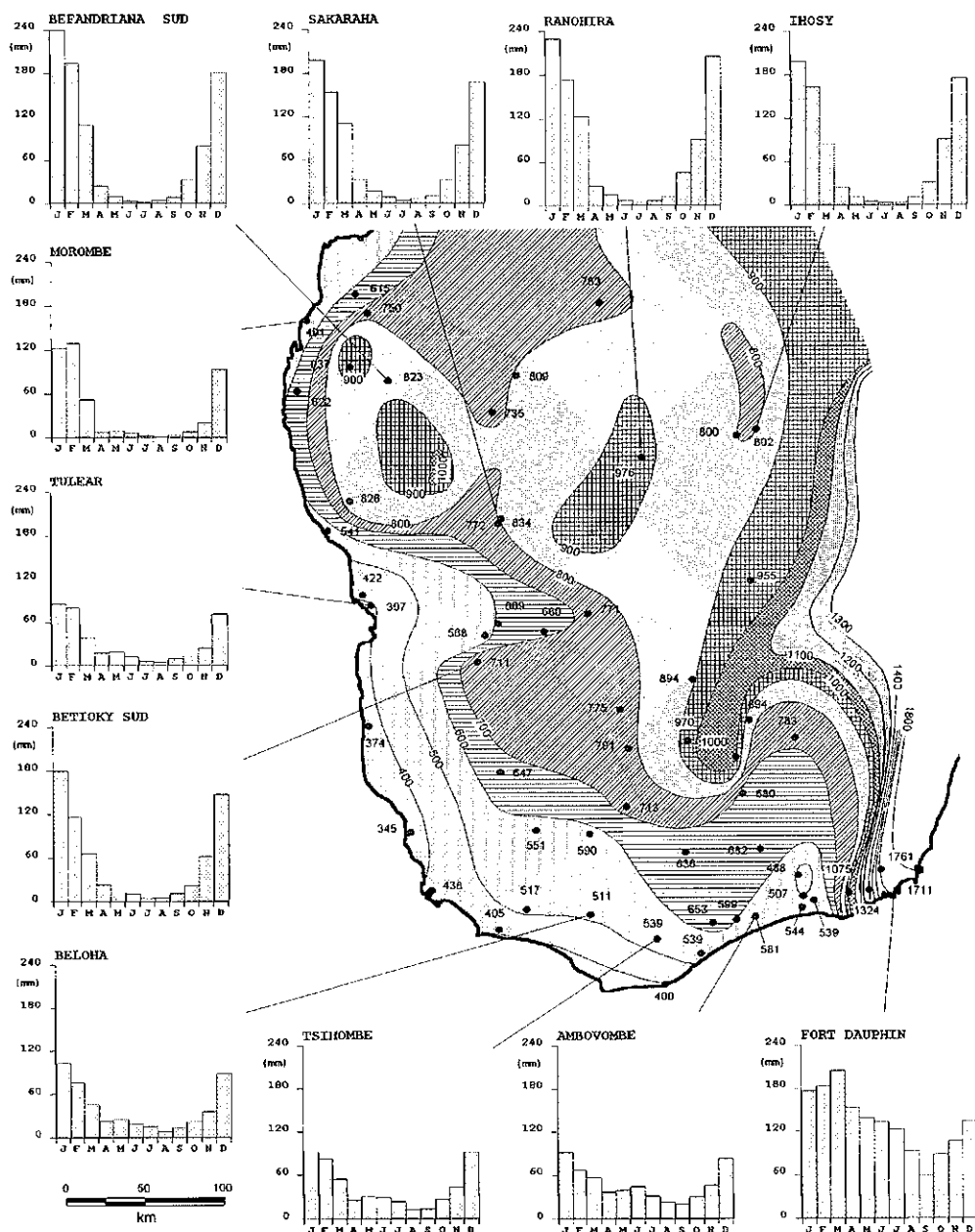


Fig. 2 Isohyètes moyennes annuelles (1951-1980) et répartitions mensuelles des précipitations (1935-1994).

entre les stations, tout en tenant compte du relief et de la qualité ponctuelles des données (Fig. 2).

Les reliefs, sur lesquels le nombre de stations est faible voire nul, sont des zones à forte incertitude du point de vue de la pluviométrie moyenne: massifs de l'Isalo, de Mikoboka/Analavelona et de l'Ivakoany (limite nord-est du bassin du Mandrare).

Régimes pluviométriques mensuels

Les histogrammes de la Fig. 2 donnent les répartitions des pluies moyennes mensuelles calculées sur la période de 1935 à 1994. Deux groupes de stations peuvent être distingués:

(a) *Fort Dauphin–Ambovombe–Tsihombe–Beloha (au sud de la zone):*

Les histogrammes montrent le passage d'un régime humide de l'est à saison sèche peu prononcée (Fort Dauphin, 1711 mm) à un régime sec du sud-ouest, où les saisons sont bien différenciées (Betioky, 711 mm). Les régimes d'Ambovombe et de Tsihombe sont typiques de la région la plus au sud qui, selon Williams (1990), est soumise à l'influence marine (dépressions polaires).

(b) *Betioky–Tulear–Morombe–Befandriana–Sakaraha–Ranohira–Ihosal:*

Les histogrammes montrent le contraste saisonnier mais avec des pluies annuelles beaucoup plus forte à l'intérieur (Ihosal, 802 mm; Ranohira, 976 mm) que sur la frange côtière (Tulear, 397 mm; Morombe, 491 mm). A Tulear où les pluies observées sont parmi les plus faibles de Madagascar, la saison sèche est moins prononcée qu'à Morombe.

Répartitions des pluies journalières

Pour chaque type de station (avec ou sans saison sèche prononcée), les histogrammes des nombres de jour de pluie (≥ 1.0 mm) par mois reproduisent assez fidèlement les histogrammes des totaux pluviométriques mensuels.

Les valeurs d'intensités journalières moyennes (pluie moyenne mensuelle/nombre de jours moyen mensuel) sont variables selon la saison et le lieu:

- fortes en saison des pluies et dans le nord-ouest: au dessus de 20 mm jour⁻¹ à Befandriana et à Morombe;
- faibles (5 à 6 mm jour⁻¹) en saison sèche, à toutes les stations, sauf Fort Dauphin.

ANALYSE DES TENDANCES ET VARIABILITE

Comparaison des décennies

Les valeurs des pluies moyennes annuelles (PMA) des six décennies de 1935 à 1994 sont fournies sur le Tableau 1, et représentées en écarts à la moyenne sur la Fig. 3.

L'idée reçue d'une diminution de la pluviométrie viendrait du fait que la situation actuelle (PMA₈₅₋₉₄ généralement inférieures au PMA₃₅₋₉₄) fait suite à deux décennies

Tableau 1 Pluies moyennes annuelles (mm) calculées sur les six dernières décennies et sur les 60 années (1935–1994).

	1935–1944	1945–1954	1955–1964	1965–1974	1975–1984	1985–1994	1935–1994
Ambovombe	575	622	522	-	624	559	579
Befandriana	-	855	791	856	890	965	883
Beloha	417	518	389	553	538	427	472
Betioky	603	666	614	744	686	573	648
Fort Dauphin	1451	1604	1575	1923	1615	1420	1598
Ihoso	829	808	698	878	815	839	812
Morombe	520	448	458	582	-	-	462
Ranohira	897	1028	869	1088	993	809	948
Sakaraha	787	770	636	890	1003	-	826
Tsihombe	466	549	432	577	571	-	524
Tulear	347	355	356	445	410	310	365

(-) Les PMA n'ont pas été calculées quand 3 années ou plus étaient absentes.

“pluvieuses”: 1965–1974 et 1975–1984 (Fig. 3). Dans cette situation, la dernière période de sécheresse (1990 à 1993) a eu pour effet de conforter cette idée.

Analyse des écarts au vecteur régional (MVR)

Le vecteur régional est utilisé ici comme outil de synthèse des séries de pluies annuelles. Il a été calculé sur huit des onze plus longues séries d'observation décrites précédemment (1935–1994), les stations de Fort Dauphin, d'Ambovombe et de Tsihombe, soumises à l'influence des régimes de la côte est, ayant été soustraites de l'analyse.

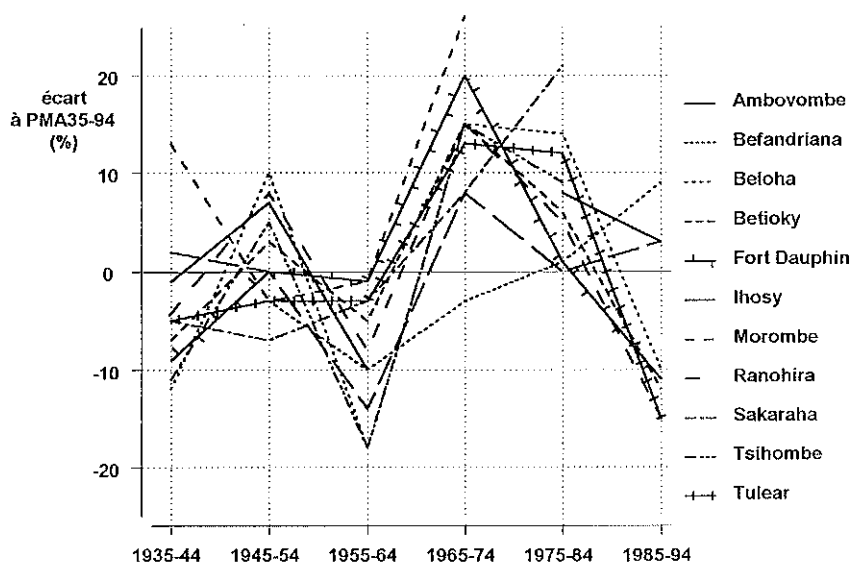


Fig. 3 Écarts (en %) des pluies moyennes annuelles des six dernières décennies à la moyenne sur 60 années (1935–1994).

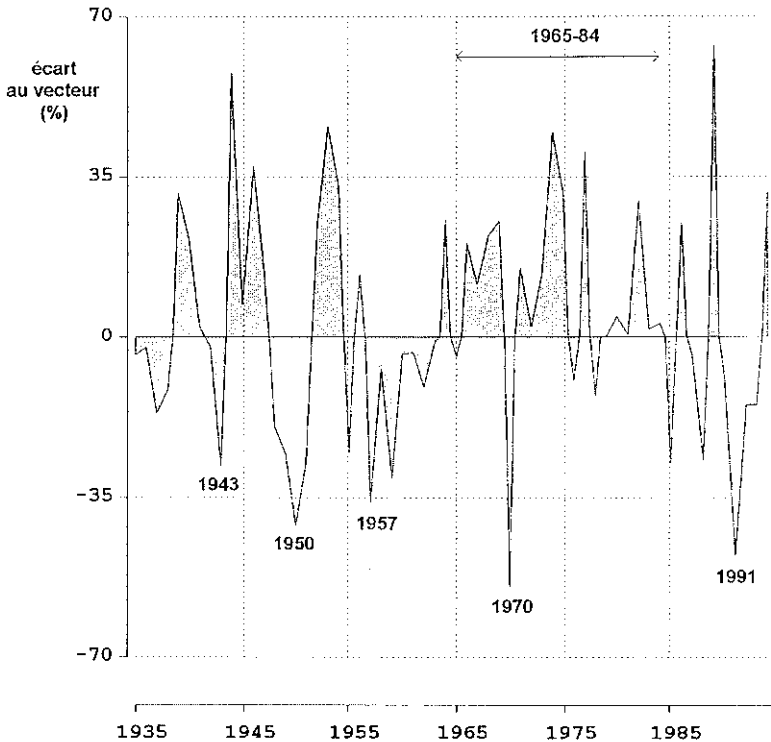


Fig. 4 Ecart au vecteur régional des indices annuels de précipitation.

Les écarts des indices annuels par rapport au vecteur (Fig. 4) montrent une forte variabilité des pluies annuelles sur la région et permet le classement des événements. Ainsi, l'année 1991, considérée comme ayant connu la plus forte sécheresse depuis 1950 au moins, se classe en fait en deuxième position après 1970. L'ajustement statistique des indices annuels (suivant une loi normale) donne une récurrence d'environ 75 ans pour l'année 1970 et 40 ans pour 1991. D'autres années particulièrement déficitaires sont également mises en évidence sur la Fig. 4: 1950 (récurrence \cong 25 ans), 1957 (\cong 15 ans), 1943 (\cong 9 ans).

Analyse de Kendall

Les tendances ont été analysées suivant la méthode de Kendall (1938, 1975) et sa version modifiée par Hirsh *et al.* (1982, 1984) pour la prise en compte des séries cycliques. L'analyse des 11 plus longues séries (1935-1994) a été faite, d'une part sur les échantillons chronologiques de pluies mensuelles et, d'autre part, sur les séries de pluies mensuelles prises mois par mois (tous les mois de janvier, tous les mois de février).

Parmi les 11 séries chronologiques de pluies mensuelles, aucune n'a présenté de tendance significative à 95% et seulement deux à 90%: la première de pente nulle, la seconde de pente légèrement positive (0.08 mm an^{-1} à Tsihombe). Cette méthode ne permet donc pas de détecter une diminution généralisée de la pluviométrie comme

cela est souvent dit. Avec la seule valeur significative de Tsihombe, il est difficile de conclure, qu'au contraire, il y aurait eu augmentation des précipitations.

Des 121 séries de pluies mensuelles prises mois par mois, seules 24 d'entre elles présentent des tendances significatives à 95%. Ces dernières se répartissent comme suit:

- deux séries de pentes négatives (diminution des pluies dans le temps),
- 11 de pente nulle,
- 11 de pentes positives (augmentation des pluies dans le temps).

Parmi les 11 positives, le dénombrement montre que sept d'entre elles se situent en avril et en octobre, mois de changement de saison, ce qui laisse supposer une modification possible de la durée de la saison des pluies (début plus précoce et/ou fin plus tardive).

Analyses avec le logiciel KhronoStat

L'application de ce logiciel de caractérisation des fluctuations dans une série chronologique (Lubès *et al.*, 1994) sur le vecteur régional montre que la série est aléatoire. Les tests statistiques proposés n'ont permis de mettre en évidence ni tendance (test de corrélation sur le rang) ni changement brutal significatif de moyenne aux cours des soixante années (test de Pettitt, procédure bayésienne de Lee & Heghinian, segmentation de Hubert). Ceci confirme l'analyse de Kendall précédente.

CONCLUSION

- Tout d'abord, sur l'ensemble de la période de 60 années, 1935-1994, les analyses faites sur les séries de pluies mensuelles et les indices annuels de précipitation ne mettent en évidence ni tendance ni rupture.

Soulignons que si, au lieu de choisir une période de 60 années, nous n'avions retenu que les trois dernières décennies (1965-1994), on aurait sans doute conclu à une diminution des précipitations, ce qui est "visible" sur la Fig. 3.

- Ensuite, pour la période de disette récente de 1990 à 1993, les pluies annuelles ont été en dessous de la moyenne pendant 4 années consécutives avec une année particulièrement déficitaire en 1991. Pour la population, cette sécheresse s'est traduite par une période de disette dans le sud-ouest de Madagascar et de famine dans la région de l'Androy. Cette catastrophe a été jugée comme exceptionnelle. Pourtant, l'analyse des indices annuels de précipitation montre que l'année 1991 ne détient pas le record dans ce sens et se place en deuxième position après l'année 1970.

Par ailleurs, la persistance de plusieurs années sèches, telles que celles de 1990 à 1993, n'est pas extraordinaire puisqu'elle a déjà été observée (Fig. 4): de 1935 à 1938 (au moins 4 ans); 1948 à 1951 (4 ans); 1957 à 1963 (7 ans).

Au total, les sécheresses antérieures à 1990 auraient été un peu "oubliées" ou n'auraient peut-être pas eu les mêmes conséquences sur la population en raison notamment des changements de la société: population plus faible, habitudes culturelles différentes.

REFERENCES

- Chaperon, P., Danloux, J. & Ferry, L. (1993) *Fleuves et Rivières de Madagascar*. Collection "Monographie Hydrologique", no. 10, ORSTOM, Paris, France.
- Cochoneau, G., Hiez, G., Séchet, P. & L'Hôte, Y. (1992) *MVR 1.5: Logiciel pour la Critique, l'Homogénéisation et la Synthèse d'Observations Pluviométrique*. Collection "LogORSTOM", ORSTOM, Paris, France.
- Ecole des Mines de Paris, UMR GBE de l'Université de Montpellier II (1998) Logiciel associé: KhronoStat version 1.0.
- Hiez, G. (1986) Bases théoriques du "vecteur régional". Les premières applications et leur mise en oeuvre informatique. In: *Deuxièmes Journées Hydrologiques de L'ORSTOM à Montpellier*, 1-36. ORSTOM, Paris, France.
- Hirsch, R. M. & Slack, J. R. (1984) A nonparametric test for seasonal data with serial dependence. *Wat. Resour. Res.* **20**(6), 727-732.
- Hirsch, R. M., Slack, J. R. & Smith, P. A. (1982) Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Wat. Resour. Res.* **18**(1), 107-121.
- Kendall, M. G. (1938) A new method of rank correlation. *Biometrika* **30**, 81-93.
- Kendall, M. G. (1975) *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin, London, UK
- Lubès H., Masson J. M., Servat E., Paurel J. E., Kouame B. & Boyer J. F. (1994) Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques, Etude bibliographique. Programme ICCARE Rapport no. 3. ORSTOM, Montpellier, Côte d'Ivoire, juin 1994.
- ORSTOM, DMH (Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie, Madagascar), CNRE (Centre National de Recherche sur l'Environnement, Madagascar) (1995) Banque de données pluviométriques de Madagascar. Antananarivo, Madagascar.
- Williams, J. B. (1990) Some temporal and regional variations of climate in Madagascar. *Report no. 144, ODNRI, Chatham, London, UK.*