

Evaluation Du Niveau De Significativité Des Données Satellitaires De Pluies TAMSAT En Comparaison Aux Données De Pluies Au Sol : Cas Du District d'Abidjan (Sud De La Côte d'Ivoire)

Significance Level Assessment Of TAMSAT Satellite Rainfall Data Compared To Ground Rainfall Data: Case Of The Abidjan District (South Of Côte d'Ivoire)

KONATE Lassina¹, N'Guessan Bi Vami Herman², KOUAME Alexis Kassi³, KOUADIO Hélène Boyossoro³, Ross MAIDMENT⁴

¹ Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo, Unité de Formation et de Recherche en Sciences Biologiques (UFR Sciences Biologiques), Département des Géosciences, BP 1328 Korhogo (Côte d'Ivoire). E-mail : konatlass@yahoo.fr (auteur correspondant).

² Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan-Cocody, Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), 22 B.P 801 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

³ Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM) ; Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE) ; 22 BP 582 ABIDJAN 22 Abidjan (Côte d'Ivoire).

⁴ Département de Météorologie, Groupe TAMSAT, Université de Reading, Royaume Unis.



Résumé – Le District d'Abidjan à l'instar de la majorité des villes des pays de l'Afrique subsaharienne fait face à un manque de données pluviométriques de bonne distribution spatiale et temporelle primordiale pour une bonne gestion des ressources en eau, la protection des populations et leur environnement. Cette étude a pour objet de montrer le niveau de significativité des données satellitaires de pluies du groupe TAMSAT en comparaison aux pluies au sol, dans le District d'Abidjan.

La comparaison des données de pluies TAMSAT et de pluies a débuté par les tests statistiques d'homogénéité interne (méthode des doubles cumuls) puis le test de corrélation sur 3 pas de temps (totaux mensuels, moyennes mensuelles et totaux annuels) avec les postes d'Anyama, de Bingerville et de Port-Bouët.

Les résultats de la méthode des doubles cumuls ont signalé l'existence d'une homogénéité interne des pluies TAMSAT (données à expliquer) et les pluies au sol (données explicatives) au niveau des stations étudiés. En outre, le test de corrélation entre les données de pluies satellitaires et pluies au sol a donné une bonne corrélation (r supérieur à 0,5) pour les totaux mensuels et les moyennes mensuelles de ces données, excepté au niveau les totaux annuels de ces pluies qui ont montré une corrélation moyenne voire faible (r proche de 0,3 ou 0).

En conséquence, il n'existe pas de différence significative entre ces deux séries de données. Les données de pluies issues de l'analyse d'images satellitaire peuvent par conséquent servir de bases de données pluviométriques fiables pour d'éventuelles études hydroclimatiques.

Mots clés – Pluies TAMSAT, Pluies au sol, tests statistiques, significativité, District d'Abidjan.

Abstract – Abidjan District, like most of sub-Saharan African countries, faces a glaring lack of rainfall data with good spatial and temporal distribution which is essential for efficient management of water resources, population and environment protection. This study aimed to assess the significance level of satellite rainfall data from the TAMSAT group compared to ground rainfall data in Abidjan District.

This study started by comparison of rainfall data from TAMSAT group and ground rainfall data with statistical tests of internal homogeneity (double cumulation method), then correlation test (r) with three (3) time steps monthly totals, monthly average and yearly totals were used for Anyama, Bingerville and Port-Bouët rainfall stations.

The results of the double cumulation method showed an internal homogeneity of TAMSAT rainfall data for all rainfall stations used. In addition, the correlation test gave a good correlation (r greater than 0.5) of the monthly totals and the monthly averages step time of these data, except for the annual totals step time (average or weak correlation with r near or close to 0).

Therefore it can be deduced that there is no significant difference between these two rainfall data. TAMSAT rainfall data can be used as a reliable rainfall database for possible hydroclimatic studies.

Keywords – TAMSAT rainfall data, Ground rainfall data, statistical test, Significance, Abidjan District

I. INTRODUCTION

La mesure des pluies présente un intérêt crucial pour la gestion des ressources en eau (Chambon, 2011) et surtout la protection des populations et leur environnement. De plus, les études climatiques nécessitent parfois des séries de données assez longues et homogènes (Klein et Konen, 2002). Cependant, la densité et parfois la période de couverture des pays en pluviomètres est très faible dans les tropiques (Labbe, 2016). Cette situation incite certains pays, en manque de stations de données de bonne couverture et de longue période, à se tourner vers les nouvelles données que sont les pluies issues de l'analyse des images satellitaires (Touré et N'Diaye, 1996). Dans ce domaine, des efforts ont été accomplis, depuis plusieurs années, pour essayer d'estimer la pluie à partir des données satellitaires afin de pallier ce problème de données de pluies (Laurent et Arnaud, 1993). Ce développement s'est fait à travers des programmes [Global Precipitation Climate Project (GPCP) (Wilkerson, 1988), Goes Precipitation Index (Herman *et al.*, 1997), Estimation des Précipitations par Satellite (EPSAT) pour l'Afrique de l'Ouest (Guillot *et al.*, 1994), Tropical Applications in Meteorology using Satellite data (TAMSAT) (Thorne *et al.*, 2001 ; Cadet et Guillot, 1991)]. Plusieurs algorithmes permettent d'estimer la pluie à partir des données satellitaires (Barett et Martin, 1981). Parmi ceux-ci, la méthode du groupe TAMSAT de l'Université de Reading (Dugdale *et al.*, 1990) et celle développée par l'équipe ORSTOM de Lannion (Carn *et al.*, 1989) ont fait leurs preuves en Afrique. Parmi ces données celle du Groupe TAMSAT présente un intérêt particulier car elles ont l'avantage d'avoir une bonne résolution spatio-temporelle (5 km et plus de 30 ans) (Barett et Martin, 1981).

La partie Sud de la Côte d'Ivoire notamment le District d'Abidjan n'est pas en marge de ces problèmes de données pluviométriques de bonne couverture spatio-temporelle.

Cette étude met en évidence le niveau de significativité des données pluviométriques satellitaires en particulier celles du groupe TAMSAT comparées aux données au sol. Cette comparaison se fait à travers des tests statistiques pour trois postes au sein du District d'Abidjan (Anyama, Bingerville et Port-Bouët).

Une meilleure connaissance de la relation entre ces deux jeux de données permettra d'évaluer le niveau de significativité des données pluviométriques TAMSAT ce qui pourrait conduire à son utilisation pour des études sur des problèmes environnementaux ou hydroclimatiques en absence de données au sol.

II. MATÉRIEL ET METHODE

2.1 Localisation de la zone d'étude

Le District d'Abidjan, est situé au Sud de la Côte d'Ivoire. Il est compris entre les latitudes 5°10 et 5°30 Nord et les longitudes 3°45 et 4°21 Ouest. Il se compose de treize (13) communes (Abobo, Adjamé, Anyama, Attécoubé, Bingerville, Cocody, Koumassi, Marcory, Treichville, Plateau, Port-Bouët, Songon, Yopougon) auxquelles s'ajoutent la sous-préfecture de Brofodoumé (INS, 2014). Il s'étend sur une superficie totale de 2119 km² et comprend 8981 ha de lagune soit 16% de sa

superficie totale, et 48 754 ha de terre ferme correspondant à 84% de son aire totale. Avec une population estimée à environ 4 707 404 habitants en 2014 (INS, 2014), le District d'Abidjan, concentre 20,8% de la population totale et près de 40% de la population urbaine de la Côte d'Ivoire (INS, 2014). Il est limité au Sud par l'Océan Atlantique, au Sud-Ouest par le Département de Dabou, au Sud-Est par le Département de Grand-Bassam, au Nord, par le Département d'Agboville, à l'Ouest par le Département de Grand-Lahou et à l'Est, par le Département d'Alépé (figure 1). Le climat de type équatorial est caractérisé par deux saisons des pluies (mars-juillet et octobre-novembre) intercalées par deux saisons sèches (décembre-février et août-septembre) (Deh, 2013).

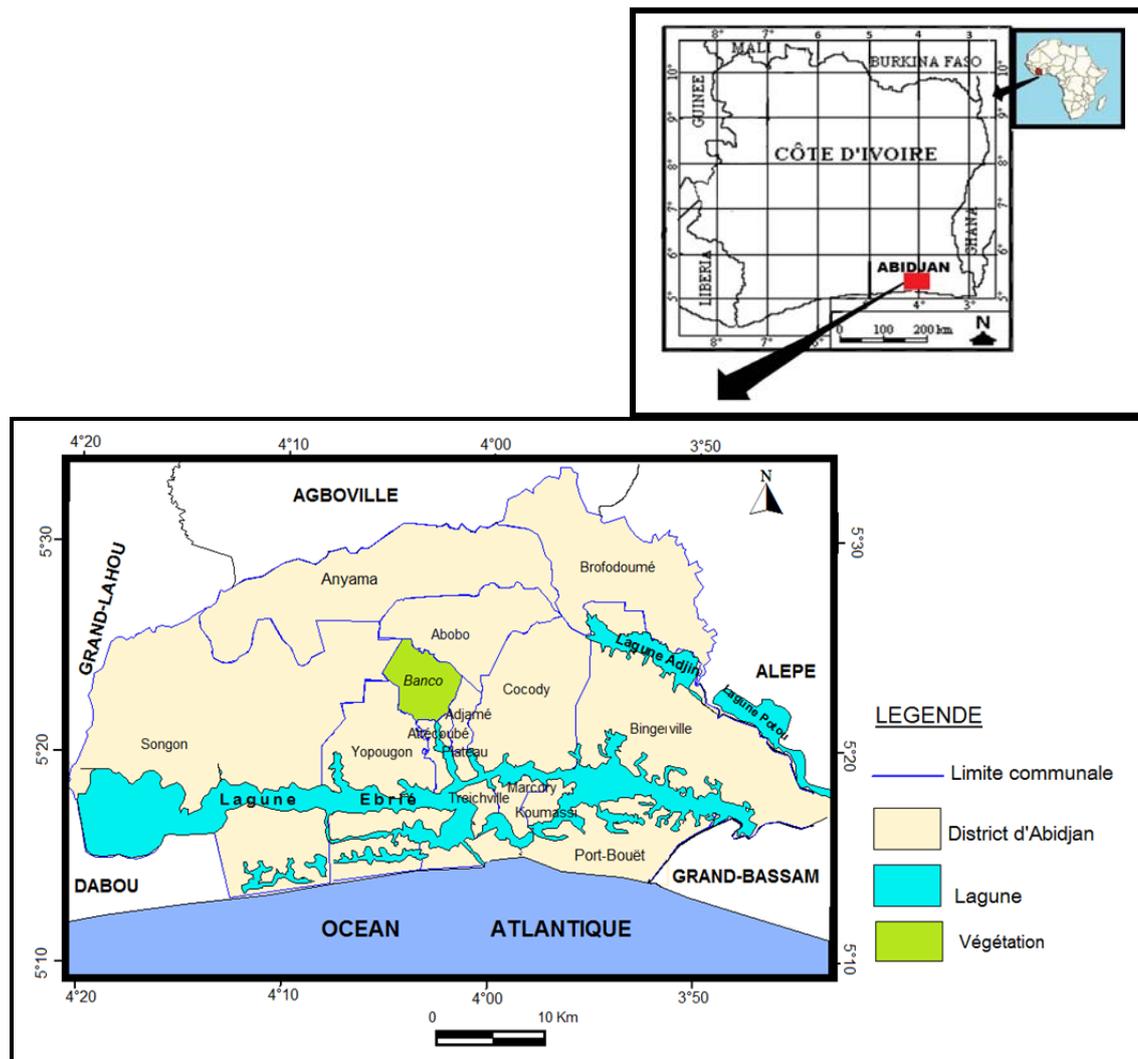


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2.2. Matériel et données utilisés

2.2.1. Données pluviométriques (TAMSAT et au sol)

Les données pluviométriques mensuelles au sol proviennent des stations de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM). Ces données sont celles des stations d'Anyama, de Bingerville et de Port-Bouët. Ces chroniques sont de tailles différentes. La station de Port-Bouët part de 1985 à 2014 soit 30 ans, Anyama de 2008 à 2012, de Bingerville de 1983 à 2002.

Les données satellitaires de pluies TAMSAT disponibles sur le site couvrent la période 1983 à nos jours mais pour les besoins de l'étude, les données pluviométriques satellitaires téléchargées couvrent les mêmes périodes que celle des données disponibles au sol.

La projection au sol des coordonnées géographiques des points d'estimation de pluies TAMSAT et des postes pluviométriques au sol de la zone d'étude est importante pour le choix des postes pluviométriques à télécharger (La figure 2). Les données pluviométriques TAMSAT, au format «.csv » sont transformées en format «.xls » pour les futures utilisations.

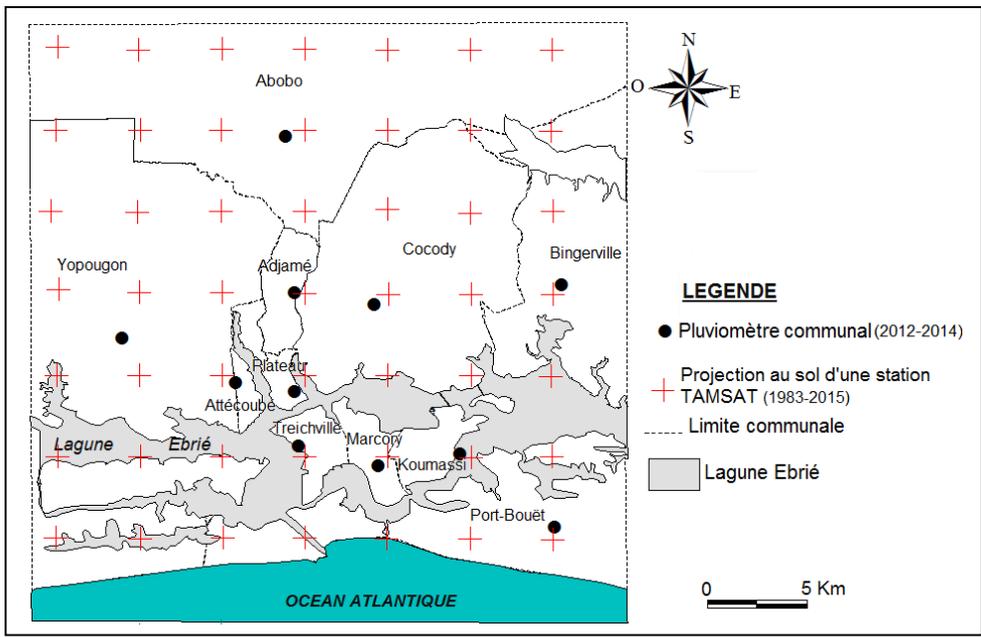


Figure 2 : Projection au sol des points d'estimation des données de pluies TAMSAT

2.2.2. Logiciels et études statistiques

Le logiciel *Excel (Microsoft office 2010)* est utilisé pour la transformation des données pluviométriques satellitaires et des tests statistiques de comparaison, détermination des paramètres statistiques des données hydroclimatiques et l'élaboration des graphiques.

2.3. Approche Méthodologique

2.3.1. Contrôle de l'homogénéité interne : méthode des doubles cumuls et droite de tendance

Cette méthode appelée également «double masses » aide à juger de la fiabilité des données TAMSAT (Anctil et al., 2005). Il s'agit donc de comparer la tendance de la série de pluies TAMSAT par rapport à celle des pluies au sol, en traçant le graphe des données de pluies cumulées à la station étudiée par rapport aux données de pluies cumulées de la station témoin.

Dans cette étude, la station X (données au sol) est la station de base ou station de référence, supposée correcte et l'autre station Y (données satellitaires) est la station à contrôler.

Selon Lamarque et Jourdain (1994), la méthode est fondée sur le principe qu'en l'absence d'anomalie, deux stations X, Y, voisines mesurent chaque année une pluviométrie annuelle dans un rapport sensiblement constant d'une année à l'autre, que l'année soit sèche ou humide. Un effet de lissage est obtenu en comparant, au pas de temps choisi (année, saison, mois, décade), non pas les valeurs observées, mais leurs cumuls (Koffi, 2007). Le pas de temps choisi pour le calcul des cumuls, dans l'étude présente, est annuel. Le graphe des quantités est tracé selon l'équation suivante :

$$X(t) = \sum_{i=0}^t x(i) \quad \text{et} \quad Y(t) = \sum_{i=0}^t y(i) \tag{1}$$

En conséquence, les points M(i) de coordonnées des pluies cumulées calculées à chaque station X et Y jusqu'à l'année i sont pratiquement alignés. En revanche, si une erreur systématique à la station étudiée s'est produite, alors la droite des doubles cumuls présenterait une cassure nette de sa pente à l'année de l'introduction de l'erreur.

2.3.2. Tests statistiques de corrélation : test de corrélation de Bravais-Pearson (r)

Ce coefficient est utilisé pour déterminer éventuellement s'il existe une corrélation entre au moins deux variables (Hauke and Kossowski, 2011). ce qui permet de détecter la présence ou l'absence d'une liaison linéaire entre les pluies au sol et les pluies satellitaires et si ces corrélations sont significatives ou non (Ahlgren *et al.*, 2003). Les graphiques des nuages des points illustrent bien cette liaison (Bring, 2007).

La mise en œuvre du test consiste au calcul de la covariance entre la donnée pluviométrique au sol et la donnée pluviométrique TAMSAT rapportée au produit de leurs écarts-types. L'objectif est de quantifier la liaison entre ces deux variables représentées par les termes x (pluies au sol représentant les données explicatives) et y (pluies TAMSAT étant les données à expliquer), de manière à mettre en évidence le sens de la liaison et son intensité (Labarere, 2011). Elle s'exprime par la relation (Piovani, 2008) :

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2)$$

où

- r est le coefficient de régression linéaire ;
- x pluie mesurée au sol ;
- y pluie TAMSAT ;
- σ représente l'écart-type.

Puisqu'une covariance est forcément inférieure ou égale au produit des écarts-types, le coefficient est compris entre -1 et 1 (Rakotomalala, 2015). Un signe négatif indique que les pluies TAMSAT varie en sens inverse des pluies mesurées au sol, la corrélation est alors négative (Labarere, 2011). Si le coefficient est proche de 0, les deux variables sont linéairement indépendantes tandis qu'une liaison linéaire est d'autant plus marquée que le coefficient s'approche de 1 ou de -1 (Fisher, 1915). Le coefficient de détermination R^2 est obtenu à partir de r (Pearson, 1900).

La force de la corrélation est déterminée par la valeur de r selon les travaux de Cohen (1988) :

- +/-0,10 à +/-0,29 indiquant une corrélation faible;
- +/-0,30 à +/-0,49 pour une corrélation moyenne ;
- +/-0,5 à +/-1 désignant une corrélation forte.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Homogénéité interne des données TAMSAT et données au sol

Les résultats du test d'homogénéité interne des deux séries de données (figure 3) pour les postes du District d'Abidjan utilisés.

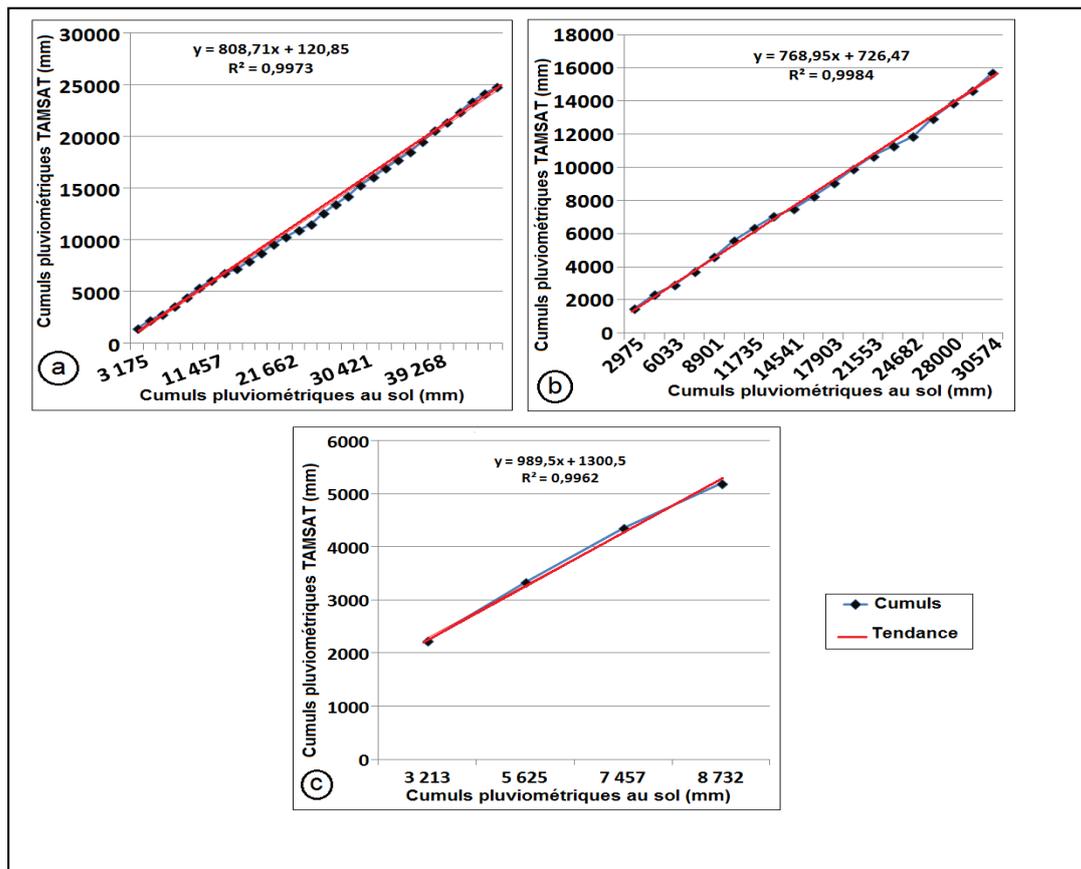


Figure 3 : Homogénéité des données pluviométriques TAMSAT aux postes de Port-bouët (a), Bingerville (b) et Anyama (c)

Pour ces postes, la droite de pente des cumuls annuels de pluies au sol et les pluies TAMSAT ne présentent aucune rupture ou discontinuité. Ces données montrent plutôt une évolution proportionnelle des différentes pluies cumulées au cours des années successives pour tous les postes. La continuité des différentes droites de pente montre bien une homogénéité des données de pluies TAMSAT dans la zone d'étude. Les pluies satellitaires de la zone d'étude ne présentent donc pas d'anomalies.

3.2. Corrélation pluies au sol et pluies satellitaires (Totaux mensuels, Totaux annuels et moyennes mensuelles)

3.2.1. Relation entre les totaux mensuels

Les nuages de points montrent une dispersion des points qui se regroupent le long de la droite de tendance au niveau de toutes les stations. La droite de tendance (proche de l'origine des axes) et ce regroupement des points montrent que les pluies mensuelles TAMSAT évoluent dans le même sens que les pluies mensuelles au sol. La valeur des coefficients de corrélation respectifs met en exergue une forte corrélation positive (valeurs supérieures à 0,5) entre les pluies mensuelles TAMSAT et pluies mensuelles au sol.

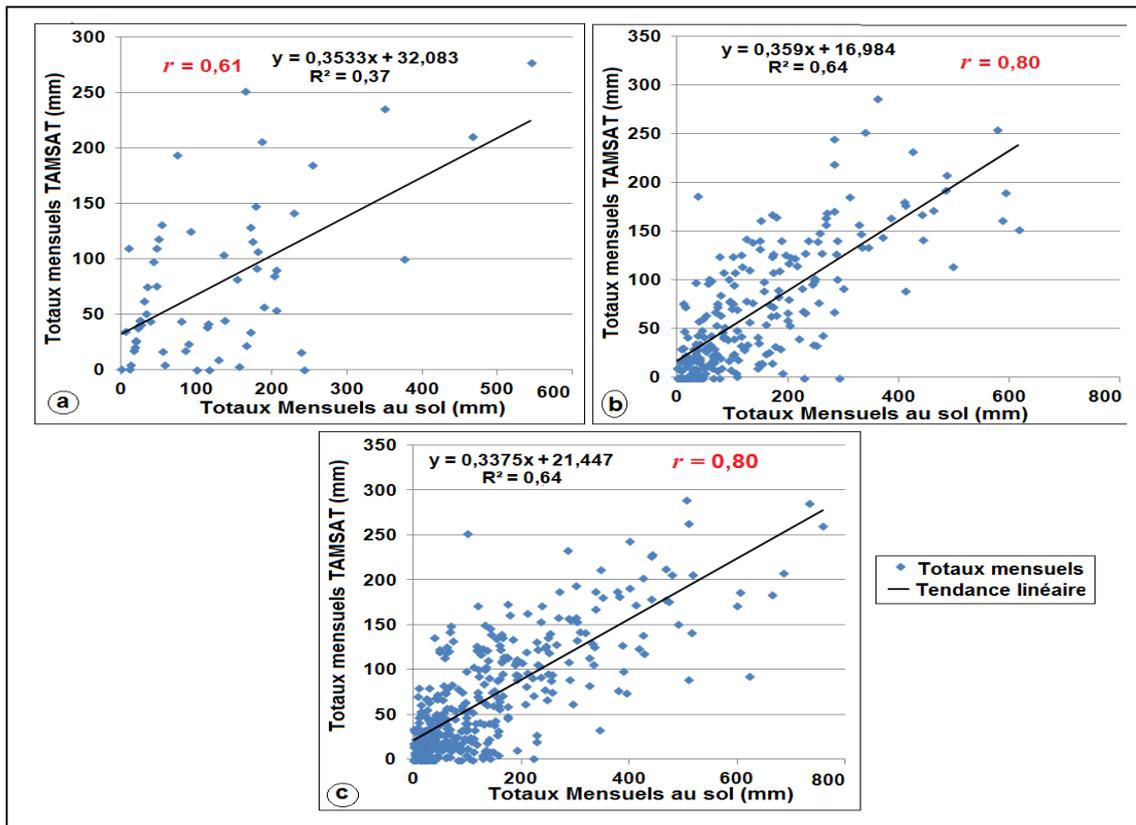


Figure 4: Corrélation entre les pluies mensuelles des postes d'Anyama(a), de Bingerville(b) et Port-Bouët (c)

3.2.2. Relation entre les totaux annuels

Les nuages de points montrent une dispersion au niveau de toutes les stations. Cette dispersion est sous la forme d'un regroupement des points en un bloc unis autour de la droite de tendance qui est éloignée de l'origine. Les valeurs des coefficients de corrélation mettent en lumière des corrélations moyennes positives 0,35 pour les stations d'Anyama (Figure 4a) et des corrélations négatives faibles (voire nulle) de -0,12 et -0,04 respectivement pour les postes Bingerville (Figure 4b) et Port-Bouët (Figure 4c).

Ainsi, seulement un (1) site à savoir celui d'Anyama présente au niveau des totaux annuels une corrélation moyenne (qui ne peut être acceptée car inférieure à 0,5), les autres notant les corrélations faibles voire nulles. Cela signifie que les totaux annuels des pluies TAMSAT et pluies au sol n'ont pas une forte corrélation.

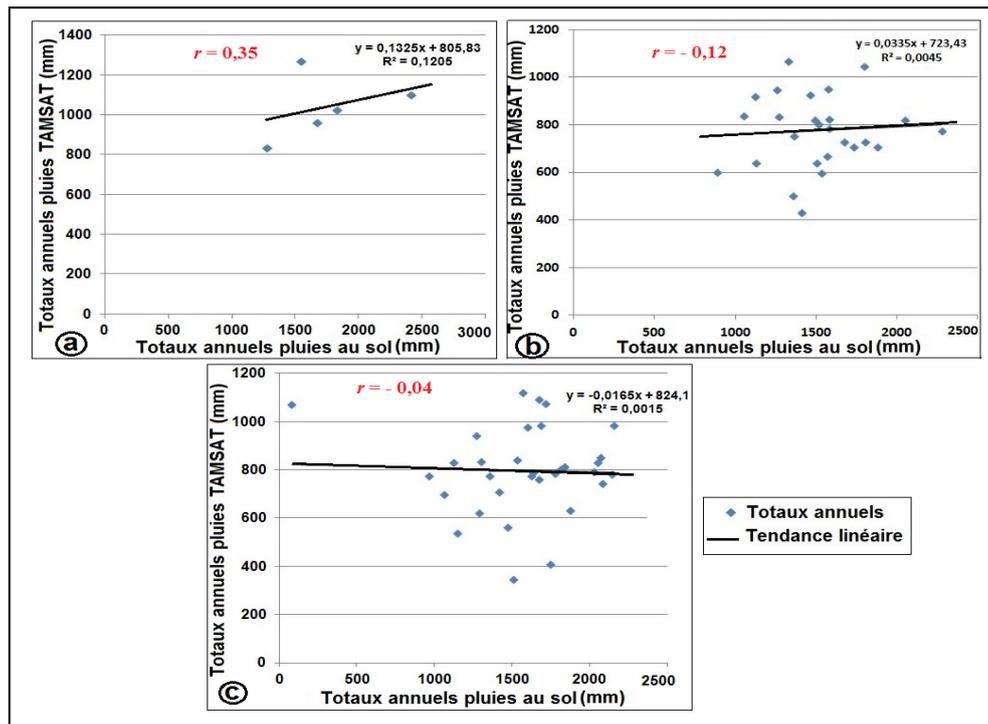


Figure 5: Corrélation des totaux annuels des pluies TAMSAT et pluies au sol des postes d'Anyama(a), de Bingerville(b) et Port-Bouët (c)

3.2.3. Relation entre les moyennes mensuelles

Une dispersion des points (figure 6) tout au long de leur droite de tendance linéaire respective peut être observée au niveau des 3 postes. Cet alignement des points le long de la droite de tendance montre distinctement que les moyennes mensuelles des pluies TAMSAT et données au sol évoluent dans le même sens. Cette observation suggère une bonne corrélation linéaire entre ces deux (2) catégories de pluies. De plus, tous les coefficients de corrélation (r) indiquent que les pluies TAMSAT et au sol sont fortement corrélées avec des valeurs proche 1.

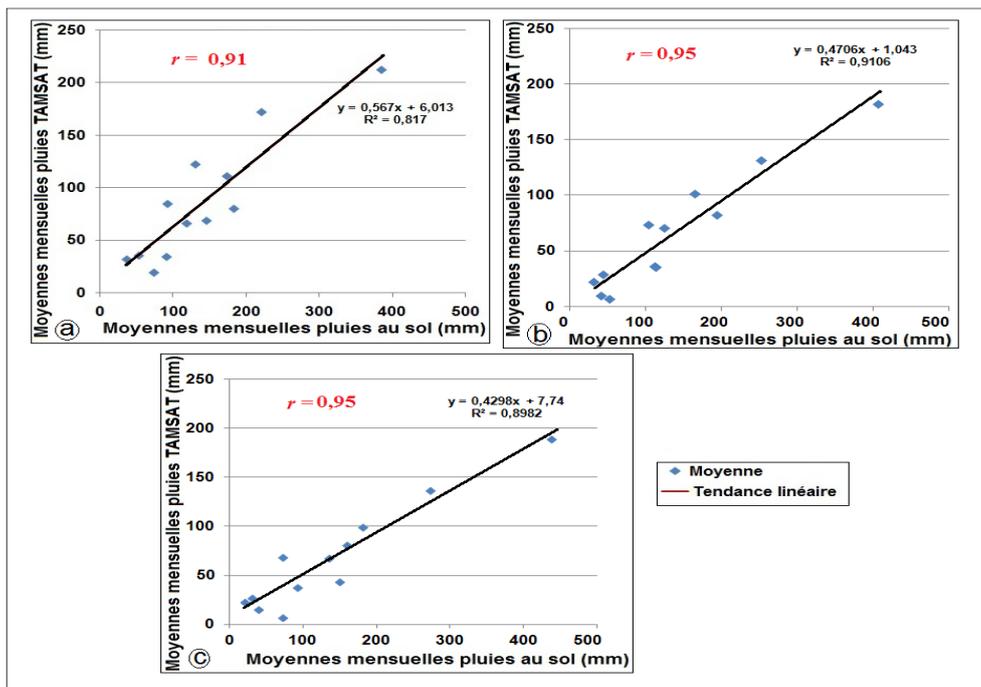


Figure 6 : Corrélation entre les pluies moyennes mensuelles Anyama(a)-Bingerville(b)- Port-Bouët (c)

IV. DISCUSSION

Les résultats de la méthode des doubles cumuls ont signalé l'existence d'une homogénéité interne des pluies TAMSAT. En outre, le test de corrélation entre les données de pluies satellitaires et pluies au sol a donné une bonne corrélation (r supérieur à 0,5) entre les totaux mensuels et les moyennes mensuelles de ces données, excepté pour les totaux annuels de ces pluies (qui ont montré une corrélation moyenne avec r compris entre 0,30 à 0,49 et parfois proche de 0). Selon Cohen (1988), les valeurs de r supérieures à 0,5 permettent de considérer des séries de données comme fortement corrélées (acceptable).

Des résultats analogues ont été obtenus au Nord de la Côte d'Ivoire, notamment dans le Bassin versant du Bandama blanc (Koffi, 2007). En effet, les tests de corrélation entre les données de pluies et températures IDIS et les données au sol ont montré une corrélation de 87% (pluies). De plus, la méthode du double cumul a mis en lumière une proportionnalité des données hydrométriques IDIS par rapport aux données de débit au sol.

Au niveau de l'Afrique de l'Ouest, les résultats des travaux d'Arnaud *et al.* (1994) au Niger, sur la comparaison des pluies satellitaires TAMSAT et EPSAT avec les données au sol, vont dans le même sens que ceux obtenus dans la présente étude. La comparaison des valeurs moyennes de pluies au sol et satellitaires a donné des coefficients de corrélation compris entre 0,67 et 0,92 pour différentes échelles spatiales sur la période 1992 et 1993. Ces valeurs de corrélation augmentant lorsque la couverture spatiale des données satellitaires était grande.

Dans la région du Mato Grosso au Brésil, les résultats obtenus par Dubreuil *et al.* (2004), par l'analyse de la corrélation entre les données IR infrarouge GOES-8 et les données au sol pour la période de 1999-2000, en tenant compte de l'ensemble des observations pluviométriques et de toutes les données satellitaires mensuelles, donnent une corrélation avoisinant 0,86. Ces résultats ont ainsi montré que l'estimation des pluies issues des images IR évoluait dans le même sens que les données au sol ce qui a aidé à l'analyse de la variabilité pluviométrique de cette zone en manque de données pluviométriques au sol.

Les pluies TAMSAT représentent assez bien les pluies au sol. Les mauvaises corrélations obtenues dans certains cas, pourraient être dues à la résolution temporelle choisie pour la comparaison des données comme le note également Arvor *et al.* (2008) dans la région du Mato Grosso au Brésil. Leurs travaux ont montré de bonnes corrélations (supérieures à 0,5) lorsque les données de pluies TRMM et au sol étaient comparées à intervalle de 10 et 5 jours. Par contre au pas journalier, les résultats n'étaient plus acceptables et interdisaient donc l'utilisation de ces données.

Même si la méthode d'estimation des pluies TAMSAT présente des insuffisances, ces données ont déjà fait leurs preuves dans plusieurs études en Afrique (Chadwick *et al.*, 1986 ; Milford *et al.*, 1996 ; Toué et N'Diaye, 1996). Ainsi, elles ont été

déterminantes dans les études sur la météorologie des pluies (sécheresse), la sécurité alimentaire et la surveillance de la famine en Afrique centrale (Maidment *et al.*, 2013), dans la bande sahélienne de l'Afrique de l'Ouest (Vancutsem *et al.*, 2012) et en Afrique australe (Rembold *et al.*, 2013).

V. CONCLUSION

Dans cette étude, l'analyse de significativité des données satellitaires de pluies qui s'est fondée sur les tests statistiques (homogénéité interne et corrélation r) a permis de montrer que les données pluviométriques TAMSAT au niveau du District d'Abidjan donnaient des estimations qui suivaient, dans la plupart des cas, la même tendance que les pluies au sol. Les pluies TAMSAT montrent ainsi, une différence non significative en comparaison aux données au sol. Ces données pluviométriques satellitaires représentent relativement bien les tendances de la pluviométrie (au niveau des saisons) de la zone du District d'Abidjan.

Elles s'avèrent donc très utiles pour des zones en manque de données et en conséquence être utilisées en remplacement aux pluies au sol pour des études hydroclimatiques dans la zone du District d'Abidjan.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent aux responsables de ces structures ayant mis à notre disposition ou nous ont aidé à rentrer en contact avec les personnes ressources pour avoir l'accès aux données nécessaires à la réalisation de cette étude, ce sont :

- la SODEXAM, à Direction de la Météorologie Nationale et surtout au service météorologique du département de l'agrométéorologie et des applications météorologiques pour les données hydroclimatiques de cette étude ;
- le Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (*CURAT*) pour avoir permis le contact avec l'université de Reading gestionnaire des données de pluies issues de l'analyse des images satellitaires ;
- le Département de Météorologie, et Groupe TAMSAT de l'Université de Reading, Royaume Unis.

RÉFÉRENCES

- [1] Ahlgren P., Jarneving B. et Rousseau R. (2003). Requirements for a cocitation similarity measure, with special reference to Pearson's correlation coefficient. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Vol. 54, N°6, pp 550-560.
- [2] Anctil F., Rousselle J. et Lauzon N. (2005). Modélisation des débits de crue. *Hydrologie: cheminements de l'eau*. Presses Internationales Polytechnique, Montréal, pp. 217-270
- [3] Arnaud Y., Taupin J. D. et Laurent H. (1994). Validation d'estimations de précipitation par satellite avec le réseau dense d'EPSAT-Niger. In: *Interactions surface continentale/atmosphère: l'Expérience Hapex-Sahel*. (éd. par Hoepffner, T. Lebel et B. Monteny). Communication au X^{ième} Journées Hydrologiques de l'Orstom, Montpellier. Orstom, Paris, pp. 521-532.
- [5] Arvor D., Dubreuil V., Ronchail J. et Meirelles M. S. P. (2008). Apport des données TRMM à l'étude des précipitations au Mato Grosso. *Climatologie*, Vol. 5, pp. 49-69.
- [6] Barrett E. C. and Martin J. N. (1981). *The use of satellite data in rainfall monitoring*. Academic Press, London, United Kingdom, 340p.
- [7] Bring C. (2007). Test d'estimation des précipitations par satellite au Nord-Cameroun par la méthode de régression (linéaire et multiple). Département de géographie FALSH-Université de Ngaoundéré, 10p.
- [8] Cadet D. et Guillot B. (1991). EPSAT: Estimation des précipitations par satellite. ORSTOM-CMS, 63p.
- [9] Carn M., Daborne D., Guillot B. et Lahuec J. P. (1989). Estimation des pluies par satellite en temps réel en Afrique Sahélo-soudanienne. *Veille climatique satellitaire*, N°28, pp. 47-55.
- [10] Chadwick A. F., Dugdale G., Traore A. F. and Milford J. R. (1986). Operational rainfall mapping over the Sahel. 6th. *Meteosat Scientific User's Meeting*, Amsterdam, The Netherlands, Vol. 11, 6p.
- [11] Chambon P. (2011). Contribution à l'estimation des précipitations tropicales : préparation aux missions Megha-Tropiques et Global Precipitation Measurement. *Océan Atmosphère*, Université Paris-Est, 25p.
- [12] Cohen J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Second Edition, Hillsdale, NJ, Erlbaum, 579p.

- [13] Deh S. K. (2013). Contributions de l'évaluation de la vulnérabilité spécifique aux nitrates et d'un modèle de transport des organochlorés à la protection des eaux souterraines du district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat Université Félix Houphouët Boigny, 184p.
- [14] Dubreuil V., Jallet A., Ronchail J. et Maitelli G. (2004). Estimation des précipitations par télédétection au Mato Grosso (Brésil). *Annales de l'Association Internationale de Climatologie*, Vol. 1, pp.133-156.
- [15] Dugdale G., McDouglas V. O. and Milford J. R. (1990). Potential and limitations of rainfall estimates for Africa derived from cold cloud statistics. 8th METEOSAT scientific users' meeting, Norkopping, Sweden. Eumetsat Publication, Vol. 8, pp. 211-220.
- [16] Fisher R. A. (1915). Frequency distribution of the values of the correlation coefficient in samples from an indefinitely large population. *Biometrika*, Vol. 10, pp. 507-521.
- [17] Guillot B., Lahuec J. P. et Dagorne D. (1994). Satellite et surveillance du climat. Atlas de veille climatique 1986-1994, ORSTOM-Météo-France, Paris, 91 pages.
- [18] Hauke J. and Kossowski T. (2011). Comparison of values of Pearson's and Spearman's correlation coefficient on the same sets of data. *Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, Quaestiones Geographicae*, Vol. 30, N°2, 52p.
- [19] Herman A., Kumar V. B., Arkin P. A. and Kousky J. V. (1997). Objectively determined 10 days African rainfall estimates created for famines early warning systems ; *International Journal of Remote Sensing*, vol.18, pp. 2047-2060.
- [20] Klein T. A. M. and Konnen G. P. (2002). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–1999. *Journal of Climatology*, Vol. 16, pp. 3665-3680.
- [21] Koffi Y. B. (2007). Étude du calage, de la validation et des performances des réseaux de neurones formels à partir des données hydro-climatiques du bassin versant du Bandama blanc au nord de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat Unique, Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire, 284p.
- [22] Labarere J. (2011). Corrélation et régression linéaire simple, cours de biostatistique. Université Joseph FOURIER de Grenoble 58 p.
- [23] Lamarque P. and Jourdain S. (1994). Elaboration de longues séries climatologiques homogènes pour l'étude de l'évolution climatique. *La Météorologie*, N° 7, pp. 61-68.
- [24] Laurent H. et Arnaud Y. (1993). Evaluation d'estimations de pluie par satellite sur l'Afrique de l'Ouest. Atelier estimation des pluies par satellite, du 02 au 04 décembre 1993. Niamey : AGRHYMET, pp. 140-146.
- [25] Labbe L. (2016). Simulation numérique de la pluviométrie en Afrique : Perspectives continentales et régionales à partir des réanalyses ERA-Interim. *La Météorologie, Météo et Climat*, pp.30-38.
- [26] Maidment R. I., Grimes D. I. F., Allan R. P., Greatrex H., Rojas. O. and Leo O. (2013). Evaluation of satellite-based and model re-analysis rainfall estimates for Uganda. *Meteorology Application*, Vol. 20, pp. 308-317.
- [27] Milford J. R., McDougall V. D. and Dugdale G. (1996). Rainfall estimation from cold cloud duration : experience of the TAMSAT group in West Africa. Dans : Guillot Bernard edition : Problèmes de validation des méthodes d'estimation des précipitations par satellite en Afrique intertropicale, ORSTOM, Paris, pp. 13-29.
- [28] OMM. (2012). Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé. OMM-N°1090 25p.
- [29] Pearson K. (1900). Mathematical contributions to the theory of evolution. VII. On the correlation of characters not quantitatively measurable. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, serie A*, Vol. 195, 47p.
- [30] Piovani J. I. (2008). The historical construction of correlation as a conceptual and operative instrument for empirical research. *Quality and Quantity*, Vol. 42, pp. 757–777.
- [31] Rakotomalala J. (2008). Étude des séries évolutives des systèmes agraires en relation avec les changements climatiques : cas de deux villages périphériques de la Réserve spéciale de Bezà Mahafaly/District : Betioky Atsimo/Région Sud-ouest. Mémoire de fin d'études. ESSA Agriculture. Université d'Antananarivo, Madagascar, 94p.
- [32] Rembold F., Urbano F., Kerdiles H. and Kayitakire F. (2013). Seasonal monitoring in Angola ad'hoc report in Southern regions of the country hit by drought, in some areas for second consecutive year. *JRC Scientific and Policy Republic Bulletin*, 12p.

[33] Thorne V., Coakeley P., Grimes D. and Dugdale G. (2001). Comparison of TAMSAT and CPC rainfall estimates with raingauges for southern Africa. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, pp. 1951-1974.

[34] Touré A. et N'Diaye N. (1996). Estimation des pluies par la méthode TAMSAT : Problème de validation des méthodes d'estimation des précipitations par satellite en Afrique intertropicale. Paris, ORSTOM, pp. 139-150.

[35] Vancutsem C., Marinho E., Pini G., Nkuzimana T., Thomas A.C., Kayitakire F., Urbano F. et Meroni M. (2012). Bulletin sur la sécurité alimentaire dans la bande sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Conditions de la végétation par rapport à la moyenne historique (1999-2011). European Commission Publication, 11p.