

Cartographie et caractérisation du déficit hydrique dans la vallée du Niari (République du Congo)

Martin MASSOUANGUI-KIFOUALA

Centre de Recherches sur les Tropiques Humides de l'Université Marien Nguabi
Brazzaville, République du Congo
mmartinkif@gmail.com

Sommaire :

1. INTRODUCTION.....	228
2. METHODOLOGIE	229
2.1. Données.....	229
2.2. Méthodes.....	229
3. RESULTATS	230
3.1. Mois de juillet.....	230
3.2. Mois d'aout.....	231
4. DISCUSSION.....	234
5. CONCLUSIONS	235
6. REFERENCES	236

Citer ce document :

MASSOUANGUI-KIFOUALA, M. 2019. Cartographie et caractérisation du déficit hydrique dans la vallée du Niari (République du Congo). *Cinq Continents* 9 (20): 226-238

Cartographie et caractérisation du déficit hydrique dans la vallée du Niari (République du Congo)

Martin MASSOUANGUI-KIFOUALA

Cartography and characterization of the water deficit in the Niari Valley (Republic of Congo). Located in the south-west of the Republic of Congo between longitudes 11 ° and 15 ° east and between latitudes 1 ° 45 'and 5 ° south, the Niari Valley is the "breadbasket" of the country. Rainfed agriculture occupies more than half of the agricultural assets. It is the main source of income for many families. Farmers in the Niari Valley are confronted with multiple climatic problems with perverse consequences for yield and food security. Appreciating the spatio-temporal evolution of soil moisture deficit in the Niari Valley, in order to detect periods and areas favorable and unfavorable for agricultural practices is the main objective of this study. The parameters of the water balance were calculated from climatological data with a particular focus on the water deficit. The analysis of the soil water deficit from the indices shows a very severe drought phase from August to September, difficult to support by the annual food crops with superficial root system. The farmers are therefore obliged to devote this period to the preparations of the fields of the first season and to carefully select the varieties and crops well adapted to the second rainy season

Key words: Republic of Congo, Niari Valley, rainfall hazards, agriculture, water balance, peasant strategies

Cartographie et caractérisation du déficit hydrique dans la Vallée du Niari (République du Congo). Situés dans le sud-ouest de la République du Congo entre les longitudes 11° et 15° est et entre les latitudes 1°45' et 5° sud, la Vallée du Niari est le « grenier » du pays. L'agriculture pluviale occupe plus de la moitié des actifs agricoles. Elle est la principale source de revenus pour des nombreuses familles. Les paysans de la Vallée du Niari sont confrontés à des multiples problèmes d'ordre climatique aux conséquences perverses sur le rendement et la sécurité alimentaire. Apprécier l'évolution spatio-temporelle du déficit hydrique des sols dans la vallée du Niari, afin de détecter les périodes et les zones favorables et défavorables pour les pratiques agricoles est le principal objectif que vise cette étude. Les paramètres du bilan hydrique ont été calculés à partir des données climatologiques avec un accent particulier sur le déficit hydrique. L'analyse du déficit hydrique des sols à partir des indices montre une phase de sécheresse très sévère d'août à septembre, difficile à supporter par les cultures vivrières annuelles à système racinaire superficiel. Les paysans sont donc obligés de consacrer cette période aux préparations des champs de la première saison et de bien sélectionner les variétés et les cultures bien adaptées à la deuxième saison pluvio-agricole.

Mots-clefs : République du Congo, Vallée du Niari, aléas pluviométriques, agriculture, bilan hydrique, stratégies paysannes

1. INTRODUCTION

La vallée du Niari est une entité géographique située dans la partie sud-ouest de la République du Congo. Elle s'étend entre 2° et 4° de latitudes Sud, et 12° et 14° de longitudes Est. Taxé de « grenier » du Congo, la vallée du Niari ravitaille pour une part importante les grands centres urbains (Brazzaville et Pointe-Noire) en denrées agricoles, en toutes saisons. Mais les paysans y sont confrontés à des multiples problèmes comme les poches de sécheresse, la mauvaise répartition des pluies et la désorganisation des saisons pluvio-agricoles (1^{ère} saison de pluies : d'octobre à Décembre et 2^{ème} saison de pluies : de mars à mai) sur lesquelles est calé le calendrier agricole (Nzila, 1992). Tous ces problèmes sont pour l'essentiel liés à l'ambiance climatique qui caractérise cette aire géographique à faible pluviométrie (Koubouana, 2010). Ils limitent de façon réelle les performances de l'agriculture essentiellement pluviale, principale source des revenus pour les communautés paysannes, une activité qu'elles pratiquent depuis des siècles (Nzila, 1992).

Les travaux relatifs au climat de la Vallée du Niari se sont limités à l'analyse des totaux pluviométriques qui se caractérisent par une grande variabilité spatio-temporelle, difficile à interpréter pour les applications agricoles (Massouangui Kifouala, 2015).

Or, l'appréciation de l'effet du climat sur la production agricole, en tant que facteur limitant du rendement ou en tant que contrainte pour la mise en œuvre des techniques culturales, ne doit pas se limiter à l'analyse des cumuls pluviométriques seulement. Il est important de mener des études qui combinent les données pédologiques, météorologiques et agronomiques (Pouyaud, 1987 ; Choissnel, 1992 ; Cantat et al., 2010).

Ainsi, une étude du bilan hydrique des sols devient indispensable pour une étude agro-climatique (Billaux, 1978 ; Poss et al, 1988). L'excès d'eau peut asphyxier la plante ou entraîner la germination des graines en état de maturité quand le drainage est mal fait, tandis que le déficit hydrique peut créer un assèchement des plants au début ou en plein cœur de la saison pluvieuse (Dancette, 1978 ; Bariou, 1994 ; Eldin, 1994). Dans les deux cas, on assiste à un échec de semis ou une perte totale ou partielle de la production.

Le Déficit hydrique est un facteur qui affecte la croissance et le développement des plantes (Son, 2010 ; Son et al., 2011 ; Natalia et al. ; 2018). Quand il tend à persister la plante active ses mécanismes physiologiques et biochimiques pour sa survie. Si le seuil de tolérance est largement dépassé, la plante s'étiolle (Time et al., 2018).

Le but de cette étude est de suivre l'évolution du déficit hydrique des sols dans la vallée du Niari dans le temps et dans l'espace, afin de détecter les périodes et les zones favorables et défavorables pour les pratiques agricoles. Cette analyse peut constituer un point de départ pour l'optimisation du calendrier agricole et de se faire une idée sur la

quantité d'eau à apporter à la plante par irrigation et dans le choix des variétés adaptées à cette ambiance.

2. METHODOLOGIE

2.1. Données

Pour réaliser cette étude et pour des besoins d'applications agricoles, nous avons utilisé les données climatiques mensuelles (précipitations, températures, insolation et d'humidité relative) de sept stations synoptiques et climatologiques gérées par la Direction Nationale de la Météorologie du Congo. Elles couvrent la période allant de juillet 1950 à juin 2015 (année agricole dans la Vallée du Niari).

Les principaux observatoires retenus sont portés dans la Figure 1. Seuls les stations et postes pluviométriques qui disposent d'au moins 30 années d'observation et présentant un nombre limité de données manquantes et de valeurs erronées ont été retenus.

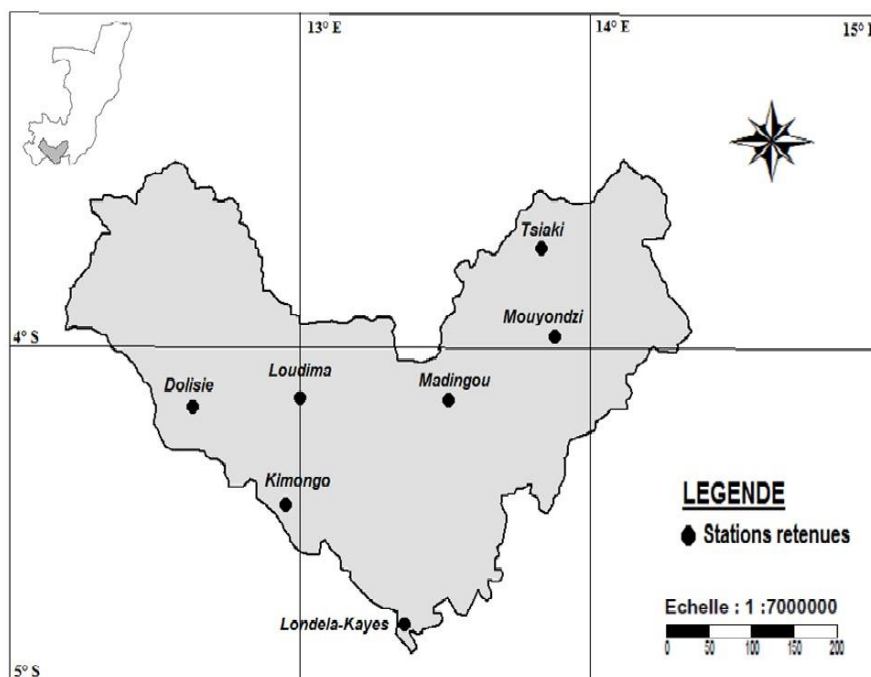


Figure 1. Localisation des stations

2.2. Méthodes

A partir des données climatologiques, nous avons calculé les différents paramètres requis pour l'évaluation du bilan hydrique (Cantat et al., 2010). Les plus importants dans le cadre de cette étude sont l'Evapotranspiration potentielle (ETP) et de l'Evapotranspiration Réelle (ETR). La différence entre ETP et ETR donne le déficit hydrique (DH). Le Déficit Hydriques est un indicateur important du bilan hydrique dans

la mesure où il renseigne sur la quantité d'eau nécessaire qu'il faudrait apporter par irrigation à des cultures.

Pour apprécier le déficit hydrique mensuel, les indices de classification ont été définis par Mounier (1994). Ils ont été ajustés et utilisés par Samba et Diop (2000) qui ont travaillé sur le département du Pool (République du Congo), zone influencée par le même type de climat que la Vallée du Niari en dépit de quelques nuances pouvant être observées. Et les résultats obtenus sont probants. Il ressort des travaux quatre indices pour caractériser le niveau de sécheresse :

- *un mois est faiblement déficient ($DH < 25 \text{ mm/mois}$)* : quand l'offre climatique ne satisfait plus la demande ($ETR < ETP$) ;

- *un mois est sub-sec ($25 \leq DH < 50 \text{ mm/mois}$)* : quand la réserve utile commence à être sollicitée ; à ce seuil de déficience, l'épuisement de la RU devient plus important ;

- *un mois est dit sec ($50 \leq DH < 80 \text{ mm/mois}$)* : quand la réserve utile commence à atteindre ses valeurs minimales ; la sécheresse, très prononcée, se caractérise par des fentes de dessiccation sur le sol surtout argileux et par une perte maximale des feuilles chez les arbres ;

- *un mois est hyper-sec ($DH \geq 80 \text{ mm/mois}$)* : quand l'eau dans le sol est difficilement extraite par les racines des plantes.

Après leur calcul, les valeurs du déficit hydrique ont été converties en fichier Excel pour être cartographiées à partir du logiciel MapInfo Professional 8.5.

3. RESULTATS

Le déficit hydrique (DH) est un indicateur qui permet d'évaluer l'importance la durée de la sécheresse biologique d'un milieu donné (Choisnel, 1992; Bariou, 1994 ; Tiemporé, 2003; Péné et Assa, 2003 ; Nizinski et al., 2008). Dans la vallée du Niari, le déficit Hydrique s'étale sur quatre mois consécutifs : juillet, août, septembre et octobre. De novembre à mai, les pluies tombent dans la Vallée du Niari avec un fléchissement observé de janvier voire février. C'est au mois de juin et surtout de juillet que la sollicitation de la RU commence à se faire sentir pour s'empirer en août et surtout en septembre.

3.1. Mois de juillet

Les caractéristiques du mois de juillet permettent de répartir les stations de la vallée du Niari en deux principaux groupes. Le premier groupe prend en compte les stations présentant un mois de juillet faiblement déficitaire dont les valeurs sont comprises entre 27,7 et 0,2 mm d'eau. C'est le groupe le plus dominant. Il s'agit précisément de la station de Kimongo (27,7 mm d'eau/mois), de Dolisie (22,1 mm d'eau/mois), de Londela-Kayes

(19,4 mm d'eau/mois), de Mouyondzi (15,4 mm d'eau/mois) et de Tsiaki qui présente la plus faible déficience de l'ordre de 0,2 mm d'eau/mois).

Le deuxième groupe ne concerne que la station de Loudima située en plein cœur de la vallée du Niari. Elle présente un mois sub-sec, soit 31 mm d'eau/mois (Figure 2).

Ce mois marque le début de l'épuisement de la RU. Sur le plan agricole, il correspond à la fin de la récolte et au début de la préparation des champs du premier cycle agricole.

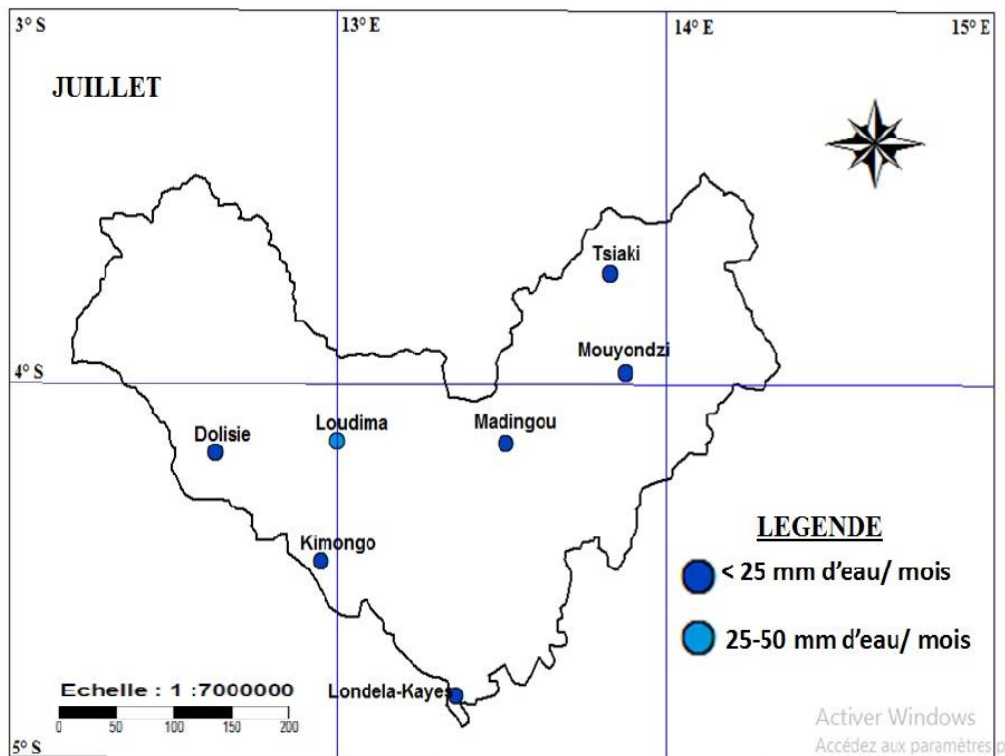


Figure 2. Déficit hydrique pendant le mois de juillet (1950-2015)

3.2. Mois d'août

L'analyse de la situation moyenne montre qu'en août, la Vallée du Niari se subdivise en trois grands ensembles (Figure 3) :

- la zone faiblement déficient ne concerne que la station de Tsiaki dont la valeur est de 5 mm d'eau/mois ;
- la zone sèche constituée par Dolisie (DH=72 d'eau mm/mois), Madingou (DH=64 d'eau mm/mois), Mouyondzi (DH=63 mm d'eau/mois) et Londela-Kayes (DH=59 mm d'eau /mois) ;
- la zone hyper-sèche : elle concerne essentiellement, par ordre de sévérité, les stations de Kimongo et de Loudima qui enregistrent respectivement un déficit hydrique évalué respectivement à 93 mm d'eau/mois et à 93 mm d'eau/mois.

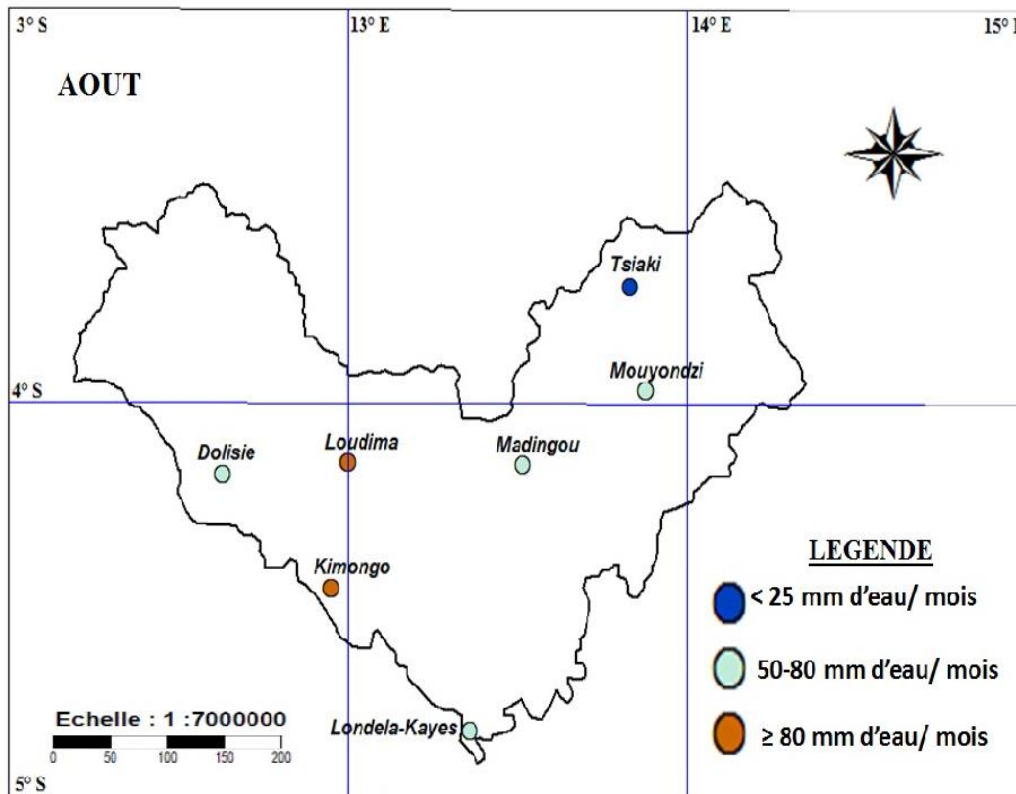


Figure 3. Déficit hydrique pendant le mois d'aout (1950-2015)

3.3. Mois de septembre

Les caractéristiques du mois de septembre opposent trois types des stations à savoir (Figure 4) :

- la station à faible déficient est constituée par la station de Tsiaki avec 22 mm d'eau/mois ;
- les stations sèches qui sont situées dans le Chaillu et ses bordures. Il s'agit de Mouyondzi et Londela-Kayes. Le déficit hydrique oscille entre 50 et 80 mm/mois ;
- les stations hyper-sèches sont en majorité situées au centre et à l'ouest de la Vallée du Niari. Le déficit hydrique dans ces stations est ≥ 80 mm/mois. Ces stations sont : Dolisie (DH=80 mm/mois), Madingou (DH=86 mm/mois), Loudima (DH=88 mm/mois) et Kimongo (DH=103 mm/mois).

3.4. Mois d'octobre

Le mois d'octobre est sec principalement dans les stations situées dans le sud-ouest de la Vallée du Niari: Kimongo (DH=76 mm/mois), Londela-Kayes (DH=56 mm/mois) et Dolisie (DH=51 mm/mois). A Loudima (DH=44 mm/mois), le mois d'octobre est sub-sec.

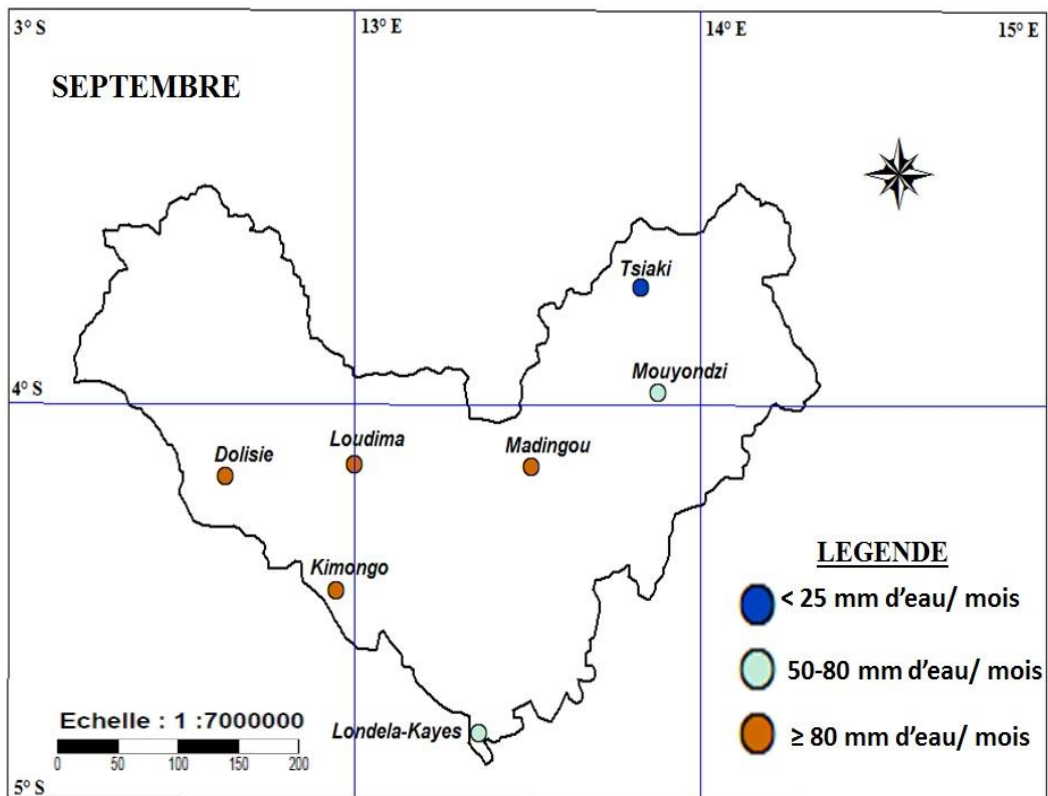


Figure 4. Déficit hydrique pendant le mois de septembre (1950-2015)

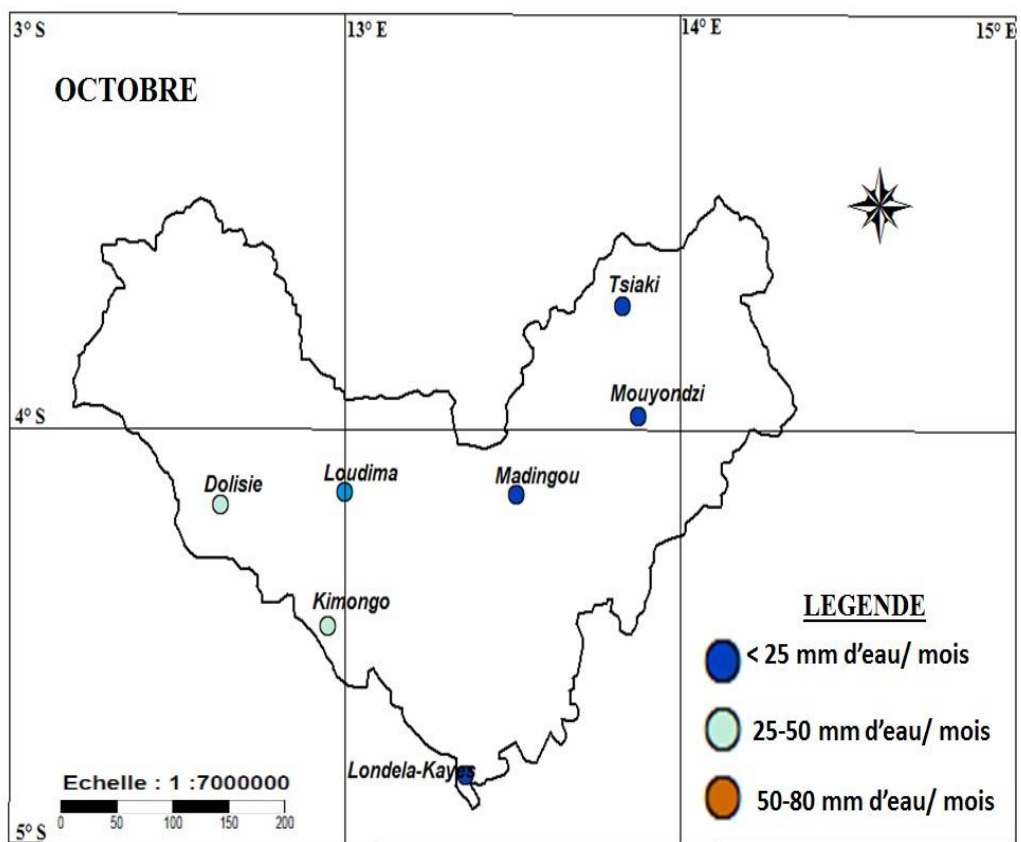


Figure 5. Déficit hydrique pendant le mois d'octobre (1950-2015)

Le reste de la vallée du Niari est dans une situation de faible déficience hydrique. Les valeurs sont comprises entre 0 et 17 mm d'eau/an (Figure 5).

Il est important de noter que la période allant du mois de juillet à septembre, pour la Vallée du Niari, n'est pas propice pour une agriculture non irriguée. Le déficit hydrique est très critique pendant cette période. Un apport d'eau s'impose pour juguler ce problème. Dans la Vallée du Niari, les semis d'octobre sont souvent exposés aux risques de faux démarrage des saisons des pluies ; le manque d'eau dans le sol tend à persister.

4. DISCUSSION

Les travaux antérieurs ont montré que le déficit hydrique suit le rythme de l'évolution annuelle des pluies. Il commence à se manifester entre la première décennie du mois de juillet au centre de la Vallée du Niari et la deuxième décennie de septembre au Nord-ouest du Massif du Chaillu et le Nord des plateaux Batéké (Samba Kimbata, 2002). Or, le rythme annuel des précipitations met évidence une saison sèche de deux à cinq mois dans la Vallée du Niari (de juin à septembre dans la partie ouest et de juin à août dans le secteur Est) marquée par un arrêt total des précipitations (Nzila, 1992 ; Koubouana, 2010). Mais à la suite de cette étude, force est de constater que la période déficitaire n'a pas la même durée que la période déficitaire. Alors que la saison sèche va de juin à septembre, de façon générale, la période de déficience hydrique se manifeste d'août à octobre. La saison sèche et la période déficitaire ont en commun les mois d'août et de septembre. Ces résultats riment bien avec les travaux de Mounzeo (2010), Mankessi (2013) et Massouangui Kifouala (2015) qui rapportent que le déficit hydrique dure trois mois dans la vallée du Niari.

Le mois de juillet pose particulièrement problème à Loudima où le déficit hydrique atteint 31 mm d'eau/mois. Dans les autres stations, le mois de juillet est caractérisé par la sollicitation de la Réserve Utile. Mais c'est en août que commence réellement le déficit hydrique dans la Vallée du Niari.

En plus, la période de déficience hydrique sépare les deux cycles agricoles : le premier cycle qui va d'octobre à décembre et le second de mars à mai. Les paysans sont donc confrontés au problème de choix des cultivars capables de traverser sans risque cette phase de déficit sévère. Les observations faites sur le terrain ont révélé que les paysans ont réduit la gamme des cultures. Les champs du deuxième cycle sont essentiellement occupés par la culture d'arachide à cycle court parfois en association avec le maïs. La culture du manioc surtout à cycle long n'est plus cultivée. Elle finit par s'assécher pendant la traversée de la phase déficitaire (Mounzeo, 2010).

Il paraît tout à fait évident que le déficit hydrique est un facteur très limitant pour le bon développement de la plante.

Les paramètres de la plante affectés par déficit hydrique sont généralement: la photosynthèse, l'alimentation minérale, la croissance végétative, la croissance des organes reproducteurs, le rendement, la composition et la qualité des grains (Chafika; 2013; Bouazzama, 2015). A la suite des expériences menées à travers le monde par des nombreux auteurs, il ressort que la déficience hydrique réduit considérablement la surface foliaire et affecte la transpiration potentielle des cultures (CHAVES, 2002 ; Chafika, 2013 ; Durand, 2014).

En plus, les plants stressés produisent moins de la biomasse que les plants soumis à un régime hydrique normal (Vorasoot, 2003 ; Siene, 2016).

Une diminution importante de la croissance des plants sous stress hydrique peut être également constatée. Cette réduction est plus importante pendant la phase de floraison que lors de la phase végétative (Nana, 2009 ; Son, 2010 ; Son et al., 2011 ; Radhouane, 2014 ; Loyla, 2017).

Le stress hydrique a des impacts sur le développement de la vigne, sur les rendements et sur les processus de maturation du raisin avec des répercussions sur la qualité du vin (Leeuwen et Vivin. 2008 ; Ollat et Touzard, 2014).

Il est aussi important de noter que pendant la période de déficience hydrique, les paysans consacrent leur temps au maraichage et à la préparation des champs du premier cycle. Les jardins sont installés le long des cours d'eau permanents. Cette position leur permet d'apporter sans peine de l'eau aux cultures et sans dépenser financièrement. Ils utilisent souvent des arrosoirs ou des récipients pour arroser leurs jardins.

5. CONCLUSIONS

Le déficit hydrique des sols est un paramètre très important à prendre en ligne de compte dans la gestion des risques en agricole. Il a été analysé dans la Vallée du Niari à partir des indices de classification. Cette analyse a permis de constater que le déficit hydrique est très inégalement réparti dans le temps et dans l'espace.

La période allant d'août à octobre est marquée par une sécheresse assez sévère, elle survient à la fin de la deuxième saison pluvio-agricole (mars-avril-mai). Les cultures à système racinaire superficiel ont du mal à la traverser. Les paysans sont donc obligés de réduire la gamme des cultures et de faire un choix judicieux de variétés adaptées à cette saison. Pendant cette période, les paysans s'adonnent au maraichage et à la préparation des champs de la première saison pluvio-agricole (octobre-novembre-décembre). Les jardins sont installés le long des cours d'eau permanents. Cette situation offre des facilités pour l'arrosage. Le mois de septembre est le plus sec de l'année

Le déficit est plus sévère dans la vallée du Niari. C'est la zone la moins pluvieuse en République du Congo en général, et à Loudima en particulier. Les mois d'août et de

septembre sont hyper-secs. Le mois d'octobre est sec grâce à l'arrivée de premières pluies. La localité de Loudima du Niari présente plus des risques en agriculture que les autres.

En perspective, il serait très intéressant de mener des études sur le comportement des cultures vivrières face au déficit hydrique dans la Vallée du Niari.

6. REFERENCES

- ALSON TIME, A., GARRIDO M, ACEVEDO, E. 2018. Water relations and growth response to drought stress of *Prosopis tamarugo* Phil. A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18 (2), pp 329-343.
- BARIOU, R. 1994. Dynamique de l'eau et télédétection, Université de Rennes 2, France, 187 pages.
- BILLAUX, P. 1978. Estimation du régime hydrique des sols au moyen des données climatiques. La méthode graphique : son utilisation dans le cadre de la Taxonomie des sols, cah. ORSTOM, sér. Pedol., vol.3 ; pp 317-338.
- BOUZZAMA, B., BOUAZIZ A., XANTHOULIS, D., BAHRI A. 2015. Effet du déficit hydrique sur la croissance, le rendement et l'efficience d'utilisation de l'eau chez la luzerne (*Medicago sativa* L.) au Tadla, *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 3 (2), pp 16-26.
- CANTAT, O. ; LE GOUEE P., BENSALD, A. ET SAVOURET, E. 2010. Une méthode originale de spatialisation d'échelle fine des bilans hydriques, *23^{ième} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Rennes, pp 101-106.
- CHAVES, M.M., PEREIRA, J.S., MAROCO J., RODRIGUEZ, M.L., RICARDO, C.P.P, OSORIO, M. L., CARVELHO, I, FARIA T. AND PINHEIRO. 2002. How Plants Cope with Water Stress in the Field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany* 89, pp 907-916
- CHOISNEL, E. 1992. Le calcul du bilan hydrique du sol : options de modélisation et niveaux de complexité, *Science du sol*, Vol.30, pp. 15-31.
- DANCETTE, C. 1978. Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne, *l'Agronomie Tropicale* 38-4, pp 281-294.
- DURAND, J.L. 2007. Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques ; Journées AFPP – Productions fourragères et adaptations 44 à la sécheresse – 27 et 28 mars 2007 ; 10 p.
- ELDIN, M. 1994. Analyse des risques de déficit hydrique au cours des différentes phases phénologiques du mil au Niger. Conséquences agronomiques, Ed. John Libbey, Paris, pp17-30.
- ESCUDIER, J.L., BES M., SALMON J.M., CAILLE S., SAMSON A. 2014. Stress hydrique prolongé des vignes : comment adapter les pratiques œnologiques en conséquence ? *Innovations Agronomiques* 38, pp 67-86.

- HOUASLI, CH., NASSERLHAQ, N., ELBOUHMADI, K., MAHBOUB, S., SRIPADA, U. 2013. Effet du stress hydrique sur les critères physiologiques et biochimiques chez neuf génotypes de pois chiche (*Cicerarietinum* L.). *Revue « Nature & Technologie ». B-Sciences Agronomiques et Biologiques*, n° 11, pp8-16.
- KOUBOUANA, F. 2010. Composition floristique et déterminisme de la répartition des forêts dans la vallée du Niari (Congo). *Annales de l'Université Marien NGOUABI*, 11 (4) : 22-37. *Sciences et Techniques*.
- LEEUWEN, C.V, VIVIN, P. 2008. Alimentation hydrique de la vigne et qualité des raisins. *Innovations Agronomiques* 2, pp 159-167.
- LOYLA, R.-P., CARLOS EDUARDO NÚSTEZ, L., AND LIZ PATRICIA MORENO, F. 2017. Drought stress affects physiological parameters but not tuber yield in three Andean potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Agronomía Colombiana* 35(2), 158-170, 2017, pp 161-170.
- MANKESSI, J. 2013. Les contraintes climatiques et bioclimatiques et leurs indices sur l'agriculture pluviale sur les plateaux Babembé (Congo-Brazzaville), Thèse de Doctorat, Université Marien Ngouabi, FLSH (République du Congo), 288 pages.
- MASSOUANGUI KIFOUALA, M. 2015. Aléas pluviométriques et pratiques paysannes dans les Pays du Niari (République du Congo), Edilivre, Paris, 270 pages.
- MBAYI, R. 2005. Variabilité climatique dans la Vallée du Niari (République du Congo), Thèse de doctorat, Univ. De Dijon, 250 pages.
- MOUNIER, J. 1994. Données quantitatives, bilan hydrique, bilan hydrologique. Dynamique de l'eau et télédétection. *QA 94*, pp 133-188.
- MOUNZEO, L, NGANGA, D., PANDZOU, J., DIANGANA, DZABA, D. 2010. Déficit hydrique dans les plantations industrielles d'eucalyptus (*Eucalyptus grandis* W. hill Ex Maid) du littoral et de la canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) de la Vallée du Niari au Congo, *Agronomie Africaine* 22(3), pp 295-304.
- NANA, R., TAMINI, Z., SAWADOGO, M. 2009. Effets d'un stress hydrique intervenu pendant le stade végétatif et la phase de floraison chez le gombo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 3(5), pp1161-1170, 2009.
- NIZINSKI, J. J., MORAND, D., LOUMETO, J. J., LUONG-GALAT, A. ET GERARD, G. 2008. Bilan hydrique comparé d'une plantation d'eucalyptus dans le bassin du Kouilou (République du Congo), *Climatologie*, vol. 5 ; pp 99-112.
- NZILA, J.D.D. 1992. Pratique de l'écobuage dans la Vallée du Niari : Conséquences sur l'évolution d'un sol ferrallitique acide. Document ORSTOM, Montpellier, N°7. 193p.
- OLLAT, N. ET TOUZARD, J.M. 2014. Stress hydrique et adaptation au changement climatique pour la viticulture et l'œnologie : le projet LACCAGE. *Innovations Agronomiques* 38, pp 131-141.

- OSMOLOVSKAYA, N., SHUMILINA, T., KIM A., DIDIO, A., GRISHINA, T., BILOVA, T., KELTSIEVA, O.A., ZHUKOV, V., TIKHONOVICH, I., TARAKHOVSKAYA, E., FROLOV, A., WESSJOHANN, L.A. 2018. Methodology of Drought Stress Research: Experimental Setup and Physiological Characterization. *Int. J. Mol. Sci.* , 19, 4089, 25 p.
- POSS, R., SARAGONIE, B., IMBERNON, J. 1988. Bilan hydrique simulé du maïs au Togo méridional. *Bulletin Agriculture Tropicale*, vol 43, n°01 ; pp 18-29.
- POUYAUD, B. 1987. Variabilité spatiale et temporelle des bilans hydriques de quelques bassins versants d'Afrique de l'ouest en liaison avec les changements climatiques, the influence of climate change and climatic variability on the hydrologic regime and water resources (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987), IAHS Publ. n° 168 : pp 447-461.
- RADHOUANE, L., AISSA, N., ROMDHANE, L. 2014. Effets d'un stress hydrique appliqué à différents stades de développement des semences chez un écotype autochtone de sorgho grain (*Sorghum bicolor*). *Journal of Applied Biosciences* 74 : 6149–6156.
- SAMBA, G., DIOP, M. 2000. Les bilans hydriques dans la Région du Pool (République du Congo), cahier de l'agriculture, n° 9 ; pp 47-53.
- SAMBA KIMBATA, M. J. 2002. Rythme bioclimatique et comportement phénologique de la végétation en République du Congo, *Ann. Univ. M. Ngouabi, Serie C* , pp 81-92.
- SIENE, L.A.C., SOKO, D. F, DIOUF, O., AKE, S. 2016. Evaluation de l'impact de stress hydriques sur la croissance et le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) pour deux conditions de fertilisation azotée dans un environnement tropical semi-aride. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. Vol. 14 No. 3, pp. 779-789.
- SON, D., COMPAORE, E., BONKOUNGOU, S., SANGARE, S.C. 2011. Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame (*Sesamum indicum*), *Journal of Applied Biosciences* 37, pp 2460-2467.
- SON, D. 2010 : Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du Sésame (*Sesamum indicum* L.). Mémoire de Master, Université Polytechniques de Bobo-Dioulasso. Institut de Développement rural, 52 pages.
- TIEMPORE, C. B. 2001. Zonage agroclimatique des riz pluviaux, de coton et de maïs dans l'ouest du Burkina, Université polytechnique de Bobo Dioulasso, IDR, 152 pages.
- VORASOOT, N., SONGSRI, P., AKKASAENG, C.H., JOGLOY, S., PATANOTHAI, A. 2003. Effect of water stress on yield and agronomic characters of peanut Songklanakarini. *J. Sci. Technol.*, 25 (3), pp 283-288.