

Premier article : Water infiltration in the dongas soils in subhumid zone in West Africa

Par : J. Avakoudjo, F. Kouelo Alladassi, T. M. Akplo, V. Kindomihou, H. A. Azontondé, L. G. Amadji and B. A. Sinsin

Pages (pp.) 01-13.

Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) – *Décembre 2020* – Volume 30 - Numéro 05

Le BRAB est en ligne (on line) sur le site web <http://www.slire.net> et peut être aussi consulté sur le site web de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) <http://www.inrab.org>

ISSN imprimé (print ISSN) : 1025-2355 et ISSN électronique (on line ISSN) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin



Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Direction Scientifique (DS) - Service Animation Scientifique (SAS)

01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01 - République du Bénin

Tél. : (+229) 21 30 02 64 ; E-mail : sp.inrab@inrab.org / inrabdg1@yahoo.fr / brabpisbinrab@gmail.com

La rédaction et la publication du bulletin de la recherche agronomique du Bénin (BRAB)
de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

01 B.P. 884 Recette Principale, Cotonou 01

Tél. : (+229) 21 30 02 64 - E-mail: brabpisbinrab@gmail.com

République du Bénin

Sommaire

Informations générales	ii
Indications aux auteurs	iii
Bulletin d'abonnement	vii
Water infiltration in the dongas soils in subhumid zone in West Africa J. Avakoudjo, F. Kouelo Alladassi, T. M. Akplo, V. Kindomihou, H. A. Azontondé, L. G. Amadji and B. A. Sinsin	1
Typologie de l'apiculture dans le département des Collines au centre du Bénin E. B. F. Sèdégan, S. C. B. Pomalégni, H. Dakpogan, S. Salifou, A. B. Gbangboché et G. A. Mensah	14
Single nucleotide Polymorphisms in MBLG gene associated with milk traits in Borgou and White Fulani cattle breeds in Benin I. Houaga, S. K. Kassa, S. A. Assani, S. O. G. Idrissou, S. Sidi, A. W. T. Muigai et I. A. K. Youssao	24
Caractéristiques de l'agriculture familiale dans la Dépression de Tchi au Sud-ouest du Bénin M. C. Dodo et H. Satoguina	31
Profitability of organic, ecological and conventional vegetable farming systems in Southern Benin G. T. Vodouhê, R. C. Tossou et A. Adégbidi	51
Pénurie de main-d'œuvre agricole au Bénin I. O. Saliou, A. Zannou, A. N. Honlonkou et A. K. N. Aoudji	62
Pratiques culturelles et valorisation des bas-fonds de la basse vallée de l'Ouémé au Bénin C. F. Babatoundé, C. C. Ahodékon Sessou et G. Biaou	69

ISSN sur papier (on hard copy) : 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin

Informations générales

Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) édité par l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) est un organe de publication créé en mai 1991 pour offrir aux chercheurs béninois et étrangers un cadre pour la diffusion des résultats de leurs travaux de recherche. Il accepte des articles originaux de recherche et de synthèse, des contributions scientifiques, des articles de revue, des notes et fiches techniques, des études de cas, des résumés de thèse, des analyses bibliographiques, des revues de livres et des rapports de conférence relatifs à tous les domaines de l'agronomie et des sciences apparentées, ainsi qu'à toutes les disciplines du développement rural. La publication du Bulletin est assurée par un comité de rédaction et de publication appuyés par un conseil scientifique qui réceptionne les articles et décide de l'opportunité de leur parution. Ce comité de rédaction et de publication est appuyé par des comités de lecture qui sont chargés d'apprécier le contenu technique des articles et de faire des suggestions aux auteurs afin d'assurer un niveau scientifique adéquat aux articles. La composition du comité de lecture dépend du sujet abordé par l'article proposé. Rédigés en français ou en anglais, les articles doivent être assez informatifs avec un résumé présenté dans les deux langues, dans un style clair et concis. Une note d'indications aux auteurs est disponible dans chaque numéro et peut être obtenue sur demande adressée au secrétariat du BRAB. Pour recevoir la version électronique pdf du BRAB, il suffit de remplir la fiche d'abonnement et de l'envoyer au comité de rédaction avec les frais d'abonnement. La fiche d'abonnement peut être obtenue à la Direction Générale de l'INRAB, dans ses Centres de Recherches Agricoles ou à la page vii de tous les numéros. Le BRAB publie par an normalement deux (02) numéros en juin et décembre mais quelquefois quatre (04) numéros en mars, juin, septembre et décembre et aussi des numéros spéciaux mis en ligne sur le site web : <http://www.slire.net>. Un thesaurus spécifique dénommé « TropicAgrif » (Tropical Agriculture and Forestry) a été développé pour caractériser les articles parus dans le BRAB et servir d'autres revues africaines du même genre. Pour les auteurs, une contribution de quarante mille (40.000) Francs CFA est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'auteur principal reçoit la version électronique pdf du numéro du BRAB contenant son article.

Comité de Rédaction et de Publication du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin - 01 BP 884 Recette Principale - Cotonou 01 – Tél.: (+229) 21 30 02 64 - E-mail: brabpbinrab@gmail.com – République du Bénin

Éditeur : Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Comité de Rédaction et de Publication : -i- **Directeur de rédaction et de publication :** Directeur Général de l'INRAB ; -ii- **Rédacteur en chef :** Directeur Scientifique de l'INRAB ; -iii- **Secrétaire documentaliste :** Documentaliste archiviste de l'INRAB ; -iv- **Maquettiste :** Analyste programmeur de l'INRAB ; -v- **Opérateur de mise en ligne :** Dr Ir. Setchémè Charles Bertrand POMALEGNI, Chargé de recherche ; -vi- **Membres :** Dr Ir. Guy A. MENSAH, Directeur de Recherche, Dr Ir. Angelo C. DJIHINTO, Maître de Recherche, Dr Ir. Rachida SIKIROU, Maître de Recherche et MSc. Ir. Gbènakpon A. Y. G. AMAGNIDE.

Conseil Scientifique : Membres du Conseil Scientifique de l'INRAB, Pr. Dr Ir. Brice A. SINSIN (Ecologie, Foresterie, Faune, PFNL, Bénin), Pr. Dr Michel BOKO (Climatologie, Bénin), Pr. Dr Ir. Joseph D. HOUNHOUIGAN (Sciences et biotechnologies alimentaires, Bénin), Pr. Dr Ir. Abdourahmane BALLA (Sciences et biotechnologies alimentaires, Niger), Pr. Dr Ir. Kakai Romain GLELE (Biométrie et Statistiques, Bénin), Pr. Dr Agathe FANTODJI (Biologie de la reproduction, Elevage des espèces gibier et non gibier, Côte d'Ivoire), Pr. Dr Ir. Jean T. C. CODJIA (Zootechnie, Zoologie, Faune, Bénin), Pr. Dr Ir. Euloge K. AGBOSSOU (Hydrologie, Bénin), Pr. Dr Sylvie M. HOUNZANGBE-ADOTE (Parasitologie, Physiologie, Bénin), Pr. Dr Ir. Jean C. GANGLO (Agro-Foresterie), Dr Ir. Guy A. MENSAH (Zootechnie, Faune, Elevage des espèces gibier et non gibier, Bénin), Pr. Dr Moussa BARAGÉ (Biotechnologies végétales, Niger), Dr Jeanne ZOUNDJIHEKPON (Génétique, Bénin), Dr Ir. Gualbert GBEHOUNOU (Malherbologie, Protection des végétaux, Bénin), Dr Ir. Attanda Mouinou IGUE (Sciences du sol, Bénin), Dr DMV. Delphin O. KOUDANDE (Génétique, Sélection et Santé Animale, Bénin), Dr Ir. Aimé H. BOKONON-GANTA (Agronomie, Entomologie, Bénin), Dr Ir. Rigobert C. TOSSOU (Sociologie, Bénin), Dr Ir. Gauthier BIAOU (Economie, Bénin), Dr Ir. Roch MONGBO (Sociologie, Anthropologie, Bénin), Dr Ir. Anne FLOQUET (Economie, Allemagne), Dr Ir. André KATARY (Entomologie, Bénin), Dr Ir. Hessou Anastase AZONTONDE (Sciences du sol, Bénin), Dr Ir. Claude ADANDEDJAN (Zootechnie, Pastoralisme, Agrostologie, Bénin), Dr Ir. Paul HOUSSOU (Technologies agro-alimentaires, Bénin), Dr Ir. Adolphe ADJANOHOOUN (Agro-foresterie, Bénin), Dr Ir. Isidore T.GBEGO (Zootechnie, Bénin), Dr Ir. Françoise ASSOGBA-KOMLAN (Maraîchage, Sciences du sol, Bénin), Dr Ir. André B. BOYA (Pastoralisme, Agrostologie, Association Agriculture-Elevage), Dr Ousmane COULIBALY (Agro-économie, Mali), Dr Ir. Luc O.SINTONDJI (Hydrologie, Génie Rural, Bénin), Dr Ir. Vincent J. MAMA (Foresterie, SIG, Sénégal)

Comité de lecture : Les évaluateurs (referees) sont des scientifiques choisis selon leurs domaines et spécialités.

Indications aux auteurs

Types de contributions et aspects généraux

Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) accepte des articles scientifiques, des articles de synthèse, des résumés de thèse de doctorat, des analyses bibliographiques, des notes et des fiches techniques, des revues de livres, des rapports de conférences, d'ateliers et de séminaires, des articles originaux de recherche et de synthèse, puis des études de cas sur des aspects agronomiques et des sciences apparentées produits par des scientifiques béninois ou étrangers. La responsabilité du contenu des articles incombe entièrement à l'auteur et aux co-auteurs. Le BRAB publie par an normalement deux (02) numéros en juin et décembre mais quelquefois quatre (04) numéros en mars, juin, septembre et décembre et aussi des numéros spéciaux mis en ligne sur le site web : <http://www.slire.net>. Pour les auteurs, une contribution de quarante mille (40.000) Francs CFA est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'auteur principal reçoit la version électronique pdf du numéro du BRAB contenant son article.

Soumission de manuscrits

Les articles doivent être envoyés par voie électronique et/ou en trois (3) exemplaires en version papier par une lettre de soumission (*covering letter*) au comité de rédaction et de publication du BRAB aux adresses électroniques suivantes : E-mail : brabpisbinrab@gmail.com. Dans la lettre de soumission les auteurs doivent proposer l'auteur de correspondance ainsi que les noms et adresses (y compris e-mail) d'au moins trois (03) experts de leur discipline ou domaine scientifique pour l'évaluation du manuscrit. Certes, le choix des évaluateurs (*referees*) revient au comité éditorial du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin.

Les manuscrits doivent être écrits en français ou en anglais, tapé/saisi sous Winword ou Word ou Word docx avec la police Arial taille 10 en interligne simple sur du papier A4 (21,0 cm x 29,7 cm). L'auteur doit fournir des fichiers électroniques des illustrations (tableaux, figures et photos) en dehors du texte. Les figures doivent être réalisées avec un logiciel pour les graphiques. Les données ayant servi à élaborer les figures seront également fournies. Les photos doivent être suffisamment contrastées. Les articles sont soumis par le comité de rédaction à des lecteurs, spécialistes du domaine. Pour qu'un article soit accepté par le comité de rédaction, il doit respecter certaines normes d'édition et règles de présentation et d'écriture. Ne pas oublier que les trois (3) **qualités fondamentales d'un article scientifique** sont la **précision** (supprimer les adjectifs et adverbes creux), la **clarté** (phrases courtes, mots simples, répétition des mots à éviter, phrases actives, ordre logique) et la **brièveté** (supprimer les expressions creuses).

Titre

On doit y retrouver l'information principale de l'article et l'objet principal de la recherche. Le titre doit contenir 6 à 10 mots (22 mots au maximum ou 100 caractères et espaces) en position forte, décrivant le contenu de l'article, assez informatifs, descriptifs, précis et concis. Il comporte les mots de l'index *Medicus* pour faciliter la recherche sur le plan mondial. Il est recommandé d'utiliser des sous-titres courts et expressifs pour subdiviser les sections longues du texte. Ils doivent être écrits en minuscules, à part la première lettre et non soulignés. Toutefois, il faut éviter de multiplier les sous-titres. Le titre doit être traduit dans la seconde langue donc écrit dans les deux langues.

Auteur et Co-auteurs

Les initiales des prénoms en majuscules séparées par des points et le nom avec 1^{ère} lettre écrite en majuscule de tous les auteurs (auteur & co-auteurs) sont écrits sous le titre de l'article. Immédiatement, suivent les titres académiques (Pr., Prof., Dr, MSc., MPhil. et/ou Ir.), les prénoms écrits en minuscules et le nom écrit en majuscule, puis les adresses complètes (structure, BP, Tél., e-mail, pays, etc.) de tous les auteurs. Il ne faut retenir que les noms des membres de l'équipe ayant effectivement participé au programme et à la rédaction de l'article. L'auteur principal est celui qui a assuré la direction de la recherche et le plus en mesure d'assumer la responsabilité de l'article.

Résumé

Un bref résumé dans la langue de l'article est nécessaire. Ce résumé doit être précédé d'un résumé détaillé dans la seconde langue (français ou anglais selon le cas) et le titre sera traduit dans cette seconde langue. Le résumé est : un compte rendu succinct ; une représentation précise et abrégée ; une vitrine de plusieurs mois de dur labeur ; une compression en volume plus réduit de l'ensemble des idées développées dans un document ; etc. Il doit contenir l'essentiel en un seul paragraphe de 200 à 350 mots. Un bon résumé a besoin d'une bonne structuration. La structure apporte non seulement de la force à un résumé mais aussi de l'élégance. Il faut absolument éviter d'enrober le lecteur dans un amalgame de mots juxtaposés les uns après les autres et sans ordre ni structure logique. Un résumé doit contenir essentiellement : une courte **Introduction (Contexte)**, un **Objectif**,

la **Méthodologie** de collecte et d'analyse des données (**Type d'étude, Echantillonnage, Variables et Outils statistiques**), les principaux **Résultats** obtenus en 150 mots (**Résultats importants et nouveaux pour la science**), une courte discussion et une Conclusion (**Implications de l'étude en termes de généralisation et de perspectives de recherches**). La sagesse recommande d'être efficacement économe et d'utiliser des mots justes pour dire l'essentiel.

Mots-clés

Les mots clés suivront chaque résumé et l'auteur retiendra 3 à 5 mots qu'il considère les plus descriptifs de l'article. On doit retrouver le pays (ou la région), la problématique ou l'espèce étudiée, la discipline et le domaine spécifique, la méthodologie, les résultats et les perspectives de recherche. Il est conseillé de choisir d'autres mots/groupes de mots autres que ceux contenus dans le titre.

Texte

Tous les articles originaux doivent être structurés de la manière suivante : Introduction, Matériel et Méthodes, Résultats, Discussion/Résultats et Discussion, Conclusion, Remerciements (si nécessaire) et Références bibliographiques. Le texte doit être rédigé dans un langage simple et compréhensible.

Introduction

L'introduction c'est pour persuader le lecteur de l'importance du thème et de la justification des objectifs de recherche. Elle motive et justifie la recherche en apportant le background nécessaire, en expliquant la rationalité de l'étude et en exposant clairement l'objectif et les approches. Elle fait le point des recherches antérieures sur le sujet avec des citations et références pertinentes. Elle pose clairement la problématique avec des citations scientifiques les plus récentes et les plus pertinentes, l'hypothèse de travail, l'approche générale suivie, le principe méthodologique choisi. L'introduction annonce le(s) objectif(s) du travail ou les principaux résultats. Elle doit avoir la forme d'un entonnoir (du général au spécifique).

Matériel et méthodes

Il faut présenter si possible selon la discipline le **milieu d'étude** ou **cadre de l'étude** et indiquer le lien entre le milieu physique et le thème. **La méthodologie d'étude** permet de baliser la discussion sur les résultats en renseignant sur la validité des réponses apportées par l'étude aux questions formulées en introduction. Il faut énoncer les méthodes sans grands détails et faire un extrait des principales utilisées. L'importance est de décrire les protocoles expérimentaux et le matériel utilisé, et de préciser la taille de l'échantillon, le dispositif expérimental, les logiciels utilisés et les analyses statistiques effectuées. Il faut donner toutes les informations permettant d'évaluer, voire de répéter l'essai, les calculs et les observations. Pour le matériel, seront indiquées toutes les caractéristiques scientifiques comme le genre, l'espèce, la variété, la classe des sols, etc., ainsi que la provenance, les quantités, le mode de préparation, etc. Pour les méthodes, on indiquera le nom des dispositifs expérimentaux et des analyses statistiques si elles sont bien connues. Les techniques peu répandues ou nouvelles doivent être décrites ou bien on en précisera les références bibliographiques. Toute modification par rapport aux protocoles courants sera naturellement indiquée.

Résultats

Le texte, les tableaux et les figures doivent être complémentaires et non répétitifs. Les tableaux présenteront un ensemble de valeurs numériques, les figures illustrent une tendance et le texte met en évidence les données les plus significatives, les valeurs optimales, moyennes ou négatives, les corrélations, etc. On fera mention, si nécessaire, des sources d'erreur. La règle fondamentale ou règle cardinale du témoignage scientifique suivie dans la présentation des résultats est de donner tous les faits se rapportant à la question de recherche concordant ou non avec le point de vue du scientifique et d'indiquer les relations imprévues pouvant faire de l'article un sujet plus original que l'hypothèse initiale. Il ne faut jamais entremêler des descriptions méthodologiques ou des interprétations avec les résultats. Il faut indiquer toujours le niveau de signification statistique de tout résultat. Tous les aspects de l'interprétation doivent être présents. Pour l'interprétation des résultats il faut tirer les conclusions propres après l'analyse des résultats. Les résultats négatifs sont aussi intéressants en recherche que les résultats positifs. Il faut confirmer ou infirmer ici les hypothèses de recherches.

Discussion

C'est l'établissement d'un pont entre l'interprétation des résultats et les travaux antérieurs. C'est la recherche de biais. C'est l'intégration des nouvelles connaissances tant théoriques que pratiques dans le domaine étudié et la différence de celles déjà existantes. Il faut éviter le piège de mettre trop en évidence les travaux antérieurs par rapport aux résultats propres. Les résultats obtenus doivent être interprétés en fonction des éléments indiqués en introduction (hypothèses posées, résultats des recherches antérieures, objectifs). Il faut discuter ses propres résultats et les comparer à des résultats de la littérature scientifique. En d'autres termes c'est de faire les relations avec les travaux antérieurs.

Il est nécessaire de dégager les implications théoriques et pratiques, puis d'identifier les besoins futurs de recherche. Au besoin, résultats et discussion peuvent aller de pair.

Résultats et Discussion

En optant pour **résultats et discussions** alors les deux vont de pair au fur et à mesure. Ainsi, il faut la discussion après la présentation et l'interprétation de chaque résultat. Tous les aspects de l'interprétation, du commentaire et de la discussion des résultats doivent être présents. Avec l'expérience, on y parvient assez aisément.

Conclusion

Il faut une bonne et concise conclusion. Il ne faut jamais laisser les résultats orphelins mais il faut les couvrir avec une conclusion étendant les implications de l'étude et/ou les suggestions. Une conclusion ne comporte jamais de résultats ou d'interprétations nouvelles. On doit y faire ressortir de manière précise et succincte les faits saillants et les principaux résultats de l'article sans citation bibliographique. Elle fait l'état des limites et des faiblesses de l'étude (et non celles de l'instrumentation mentionnées dans la section de méthodologie). Elle suggère d'autres avenues et études permettant d'étendre les résultats ou d'avoir des applications intéressantes ou d'obtenir de meilleurs résultats. La conclusion n'est pas l'endroit pour présenter la synthèse des conclusions partielles du texte car c'est une des fonctions du résumé. Il faut retenir que la conclusion n'est pas un résumé de l'article.

Références bibliographiques

Il existe deux normes internationales régulièrement mise à jour, la :

- **norme Harvard** : -i- West, J.M., Salm, R.V., 2003: Resistance and resilience to coral bleaching: implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology*, 17, 956-967. -ii- Pandolfi, J.M., R.H. Bradbury, E. Sala, T.P. Hughes, K.A. Bjorndal, R.G. Cooke, D. McArdle, L. McClenachan, M.J.H. Newman, G. Paredes, R.R. Warner, J.B.C. Jackson, 2003: Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science*, 301 (5635), 955-958.
- **norme Vancouver** : -i- WEST, J.M., SALM, R.V., (2003); Resistance and resilience to coral bleaching: implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology*, vol. 17, pp. 956-967. -ii- PANDOLFI, J.M., et al., (2003); Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science*, vol. 301 N° 5635, pp. 955-958.

Il ne faut pas mélanger les normes de présentation des références bibliographiques. En ce qui concerne le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), c'est la norme Harvard qui a été choisie. Les auteurs sont responsables de l'orthographe des noms cités dans les références bibliographiques. Il faut s'assurer que les références mentionnées dans le texte sont toutes reportées dans la liste des références et inversement. La bibliographie doit être présentée en ordre alphabétique conformément aux deux (2) exemples donnés ci-dessus comme suit : nom et initiales du prénom du 1^{er} auteur, puis initiales du prénom et nom des autres auteurs ; année de publication (ajouter les lettres a, b, c, etc., si plusieurs publications sont citées du même auteur dans la même année) ; nom complet du journal ; numéro du volume en chiffre arabe, éditeur, ville, pays, première et dernière page de l'article. Dans le texte, les publications doivent être citées avec le nom de l'auteur et l'année de publication entre parenthèses de la manière suivante : Sinsin (1995) ou Sinsin et Assogbadjo (2002). Pour les références avec plus de deux auteurs, on cite seulement le premier suivi de « *et al.* » (mis pour *et alteri*), bien que dans la bibliographie tous les auteurs doivent être mentionnés : Sinsin *et al.* (2007). Les références d'autres sources que les journaux, par exemple les livres, devront inclure le nom de l'éditeur et le nom de la publication. Somme toute selon les ouvrages ou publications, les références bibliographiques seront présentées dans le BRAB de la manière suivante :

Pour les revues :

Adjanohoun, E., 1962 : Etude phytosociologique des savanes de la base Côte-d'Ivoire (savanes lagunaires). *Vegetatio*, 11, 1-38.

Grönblad, R., G.A. Prowse, A.M. Scott, 1958: Sudanese Desmids. *Acta Bot. Fenn.*, 58, 1-82.

Thomasson, K., 1965: Notes on algal vegetation of lake Kariba.. *Nova Acta R. Soc. Sc. Upsal.*, ser. 4, 19(1): 1-31.

Poche, R.M., 1974a: Notes on the roan antelope (*Hippotragus equinus* (Desmarest)) in West Africa. *J. Applied Ecology*, 11, 963-968.

Poche, R.M., 1974b: Ecology of the African elephant (*Loxodonta a. africana*) in Niger, West Africa. *Mammalia*, 38, 567-580.

Pour les contributions dans les livres :

Whithon, B.A., Potts, M., 1982: Marine littoral: 515-542. In: Carr, N.G., Whitton, B.A., (eds), The biology of cyanobacteria. Oxford, Blackwell.

Annerose, D., Cornaire, B., 1994 : Approche physiologique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées pour l'amélioration de la production en zones sèches: 137-150. In: Reyniers, F.N., Netoyo L. (eds.). Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Ed. John Libbey Eurotext. Paris.

Pour les livres :

Zryd, J.P., 1988: Cultures des cellules, tissus et organes végétaux. Fondements théoriques et utilisations pratiques. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Suisse.

Stuart, S.N., R.J. Adams, M.D. Jenkins, 1990: Biodiversity in sub-Saharan Africa and its islands. IUCN–The World Conservation Union, Gland, Switzerland.

Pour les communications :

Vierada Silva, J.B., A.W. Naylor, P.J. Kramer, 1974: Some ultrastructural and enzymatic effects of water stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. Proceedings of Nat. Acad. Sc. USA, 3243-3247.

Lamachere, J.M., 1991 : Aptitude du ruissellement et de l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. Actes de l'Atelier sur Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Niamey, Niger, IAHS n° 199, 109-119.

Pour les abstracts :

Takaiwa, F., Tnifuji, S., 1979: RNA synthesis in embryo axes of germination pea seeds. Plant Cell Physiology abstracts, 1980, 4533.

Thèse ou mémoire :

Valero, M., 1987: Système de reproduction et fonctionnement des populations chez deux espèces de légumineuses du genre *Lathyrus*. PhD. Université des Sciences et Techniques, Lille, France, 310 p.

Pour les sites web :

<http://www.iucnredlist.org>, consulté le 06/07/2007 à 18 h. - <http://www.cites.org>, consulté le 12/07/2008 à 09 h.

Equations et formules

Les équations sont centrées, sur une seule ligne si possible. Si on s'y réfère dans le texte, un numéro d'identification est placé, entre crochets, à la fin de la ligne. Les fractions seront présentées sous la forme « 7/25 » ou « (a+b)/c ».

Unités et conversion

Seules les unités de mesure, les symboles et équations usuels du système international (SI) comme expliqués au chapitre 23 du Mémento de l'Agronome, seront acceptés.

Abréviations

Les abréviations internationales sont acceptées (OMS, DDT, etc.). Le développé des sigles des organisations devra être complet à la première citation avec le sigle en majuscule et entre parenthèses (FAO, RFA, IITA). Eviter les sigles reconnus localement et inconnus de la communauté scientifique. Citer complètement les organismes locaux.

Nomenclature de pesticides, des noms d'espèces végétales et animales

Les noms commerciaux seront écrits en lettres capitales, mais la première fois, ils doivent être suivis par le(s) nom (s) communs(s) des matières actives, tel que acceptés par « International Organization for Standardization (ISO) ». En l'absence du nom ISO, le nom chimique complet devra être donné. Dans la page de la première mention, la société d'origine peut être indiquée par une note en bas de la page, p.e. PALUDRINE (Proguanil). Les noms d'espèces animales et végétales seront indiqués en latin (genre, espèce) en italique, complètement à la première occurrence, puis en abrégé (exemple : *Oryza sativa* = *O. sativa*). Les auteurs des noms scientifiques seront cités seulement la première fois que l'on écrira ce nom scientifique dans le texte.

Tableaux, figures et illustrations

Chaque tableau (avec les colonnes rendus invisibles mais seules la première ligne et la dernière ligne sont visibles) ou figure doit avoir un titre. Les titres des tableaux seront écrits en haut de chaque tableau et ceux des figures/photographies seront écrits en bas des illustrations. Les légendes seront écrites directement sous les tableaux et autres illustrations. En ce qui concerne les illustrations (tableaux, figures et photos) seules les versions électroniques bien lisibles et claires, puis mises en extension jpeg avec haute résolution seront acceptées. Seules les illustrations dessinées à l'ordinateur et/ou scannées, puis les photographies en extension jpeg et de bonne qualité donc de haute résolution sont acceptées. Les places des tableaux et figures dans le texte seront indiquées dans un cadre sur la marge. Les tableaux sont numérotés, appelés et commentés dans un ordre chronologique dans le texte. Ils présentent des données synthétiques. Les tableaux de données de base ne conviennent pas. Les figures doivent montrer à la lecture visuelle suffisamment d'informations compréhensibles sans recours au texte. Les figures sont en Excell, Havard, Lotus ou autre logiciel pour graphique sans grisés et sans relief. Il faudra fournir les données correspondant aux figures afin de pouvoir les reconstruire si c'est nécessaire.

Water infiltration in the dongas soils in subhumid zone in West Africa

J. Avakoudjo^{1*}, F. Kouelo Alladassi², T. M. Akplo², V. Kindomihou¹, H. A. Azontondé³, L. G. Amadji⁴ et B. A. Sinsin¹

¹Dr. Ir. Julien AVAKOUDJO, Laboratory of Applied Ecology (LEA), Faculty of Agronomic Sciences (FSA), University of Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526, Cotonou 01, E-mail: julioavak@gmail.com, Tel.: (+229)97603527, Republic of Benin

Dr. Ir. Valentin KINDOMIHOU, LEA/FSA/UAC, 01 BP 526, Cotonou 01, E-mail: kindomihou@gmail.com, Tel.: (+229)95023058, Republic of Benin

Professor Dr. Ir. Brice Augustin SINSIN, LEA/FSA/UAC, 01 BP 526, Cotonou 01, E-mail: bsinsin@gmail.com, Tel.: (+229)97016136, Republic of Benin

²Dr. Ir. Félix KOUÉLO ALLADASSI, Laboratory of Microbiology of Soil and Microbial Ecology (LMSEM/FSA/UAC), BP: 711 Abomey-Calavi, E-mail: felix.kouelo@gmail.com, Tel.: (+229)95064172, Republic of Benin

Dr MSc. Tobi Moriaque AKPLO, LMSEM/FSA/UAC, BP: 711 Abomey-Calavi, E-mail: moriaqueakplo@gmail.com, Tel.: (+229)66082077, Republic of Benin

³Hessou Anatase Dr. Ir. AZONTONDE, Director of Research, Laboratory of Soil Science, Water and Environment, National Institute of Agricultural Research of Benin, BP 988, Agonkanmey, Abomey-Calavi, E-mail: anastase12000@yahoo.fr, Tel.: (+229)97762165, Republic of Benin

⁴Professor Dr. Ir. Guillaume L. AMADJI, LMSEM/FSA/UAC, BP 499 Abomey-Calavi, E-mail: gamadji@gmail.com, Tel.: (+229)95058404, Republic of Benin

*Corresponding author, E-mail: julioavak@gmail.com

Abstract

The paper focuses on soil erosion problems in the W National Park and its Land use areas. Dongas is a gully erosion that occurs in Karimama district and can be classified into three main types according to their size (i) *microdongas* (0.20 m ≤ depth ≤ 1 m), (ii) *mesodongas* (1 m < depth ≤ 3 m), (iii) *megadongas* (depth > 3 m). The study accessed the water infiltration rate in different donga types and its variation through different topographic level at dongas upstream, center and downstream. Double ring infiltrometer was used to determine the infiltration rate of water into the soil. The amount of water per surface area and time unit which penetrates the soil, were recorded. Water infiltration rate varied in different types of dongas in the W National Park and its land use areas. Infiltration rate is twice higher in W National Park than recorded values in surrounding area with (i) *microdongas*: W National Park (28.69 cm/h) and surrounding area (10.22 cm/h), (ii) *mesodongas*: W National Park (17.67 cm/h) and surrounding area (10.23 cm/h), and (iii) *megadongas*: W National Park (28.92 cm/h) and land use areas (17.54 cm/h). Topography significantly affected water infiltration rate in the study area. Thus, water infiltration rates were statistically different at the three topographic level both in W National Park (LSD = 2.319^{***}) and the surrounding area (ppds = 1.246^{***}) where the highest values were recorded at upstream (respectively 30.77 cm/h in the W National Park and 18.03 cm/h in the surrounding area). The cumulative water infiltration depth is higher in November which is the wettest month compared to April which is the driest month. Further studies on water temporal and seasonal infiltration are useful to adopt best crop and land management practices that can improve water infiltration into soil and store water for plant and reduce water runoff which causes flooding.

Keywords: Dongas soil, water infiltration rates, cumulative water infiltration depth, Karimama.

Infiltration de l'eau dans les sols de dongas en zone sub-humide en Afrique de l'Ouest

Résumé

L'article se focalise sur les problèmes d'érosion des sols dans le Parc National du W et les terroirs environnants. Les dongas sont une érosion par ravinement qui se produisent dans la commune de Karimama et peuvent être classés en trois types principaux selon leur taille (i) *microdongas* (0,20 m ≤ profondeur ≤ 1 m), (ii) *mésodongas* (1 m < profondeur ≤ 3 m), (iii) *mégadongas* (profondeur > 3 m). L'étude a évalué les taux d'infiltration d'eau dans différents types de *donga* et sa variation à travers différents mois et niveaux topographiques aux *dongas* (en amont, au centre et en aval). Un infiltromètre à double anneau a été utilisé afin de déterminer le taux d'infiltration de l'eau dans le sol. La quantité d'eau par surface et unité de temps ayant pénétré dans le sol a été enregistrée. Le taux d'infiltration d'eau variait selon les types de dongas dans le parc national du W et ses environs. Le taux d'infiltration était deux fois plus élevé dans le parc national du W que les valeurs enregistrées dans les terroirs environnants avec (i) *microdongas* : Parc national du W (28,69 cm/h) et terroirs environnants (10,22 cm/h), (ii) *mésodongas* : Parc national du W (17,67 cm/h) et zone environnante (10,23 cm/h), et (iii) *mégadongas* : Parc national du W (28,92 cm/h) et zone environnante (17,54 cm/h). Les taux d'infiltration d'eau ont été statistiquement différents aux trois niveaux topographiques dans le parc national W (LSD = 2,319^{***}) et dans les environs (ppds = 1,246^{***}) où les plus grandes valeurs ont été enregistrées en amont (respectivement 30,77 cm/h pour le Parc national du W et 18,03 cm/h pour les terroirs environnants). Ainsi, la topographie affecte le taux d'infiltration d'eau dans la zone d'étude. La profondeur maximale d'infiltration de l'eau dans le sol est

plus élevée en novembre (mois humide) qu'en avril (mois plus sec). D'autres études sur l'infiltration temporelle et saisonnière de l'eau sont utiles pour adopter les meilleures pratiques de gestion des cultures et des terres qui peuvent améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol et stocker l'eau pour les plantes et réduire le ruissellement de l'eau qui provoque des inondations.

Mots clés : Sol de dongas, taux d'infiltration d'eau, profondeur maximale d'infiltration d'eau, Karimama

INTRODUCTION

Soil crusting negatively affects the productivity and sustainability of irrigated agriculture, reduces water infiltration and plant emergence, and enhances surface runoff and erosion. Crusted soils generally decrease infiltration rates, plant emergence and yield of crops, and increase surface runoff and erosion (Amezketta *et al.*, 2004). The physical disintegration of aggregates due to slaking may be more important than the mechanical effect of the raindrop impact (Le Bissonnais and Singer, 1992; Loch and Foley, 1994). Chan and Mullins (1994) and Caron *et al.* (1996) find that cultivated soils are more prone to slaking and structural decline than uncultivated soils, and Ferruzzi *et al.* (2000) conclude that most cultivated soils in their studies are prone to slaking during the irrigation events. In summary, various internal and external factors affect the susceptibility of soils to slaking (Le Bissonnais, 1990). Although the degree of slaking and dispersion of field-undisturbed and laboratory-disturbed soils may differ, laboratory measurements are useful for diagnostic and screening purposes. Infiltration rate (IR) measures the amount of water passing through the soil in a given time and is an indication of the air porosity and pore conductivity. When slaking and/or dispersion occur, seals develop, decreasing the porosity and the IR until steady-state infiltration is reached. Hence, surface sealing may be quantified using infiltration measurements obtain in disturbed soil columns. This is why studying the infiltration rate of the soils in our "dongas" erosion zones is useful for their sustainable development and well-use. The objective of this work is to compare the infiltration rate/capacity of dongas in upstream with the center and the dongas downstream. The specific objectives are (i) to test infiltration rates in three adjacent plots in W National Park and in its surrounding area, (ii) to investigate the influences of dongas size on water infiltration rates and determine cumulative water infiltration depth, (iii) to assess the month influences on the soils infiltration capacity. The cumulative water infiltration depth gives an idea of the maximum depth of water infiltration and how far the plant can draw its water requirements. Guo (2020) evaluates in his studies the maximum infiltration depth and soil water resource use limit by plants and soil water carrying capacity for vegetation, and realize the sustainable use of soil water resources (Guo, 2020). The dynamic relationship between plant growth and soil moisture in the root zone has become a key issue in the study of plant ecological water requirements (Yan *et al.*, 2007). It is hypothesized that (i) The water infiltration rates of the donga upstream center and downstream are different; (ii) Dongas size influences the infiltration capacity of soils and (iii) Month influence the infiltration capacity of soil. In the current rainfall conditions and soils conditions, to optimize agricultural production, is it necessary to promote the infiltration of water into the soil and its maximum retention through inputs of organic matter such as manure, compost and green manure?

STUDY AREA

The study was carried out in the subhumid zone of Africa precisely in the Sudanese dry zone of Benin in the Karimama district between 11 ° 26' - 12 ° 25' North latitudes and 2 ° 48' - 3 ° 05' longitudes East (Figure 1). It is bounded to the North by the Niger River, to the South-West by the Banikoara district, to the South-East by the Kandi district, to the East by the Malanville district and to the West by Burkina-Faso. It covers 6,102 km² of which 92.3% (5,085 km²) is occupied by the W National Park and 16.67% (1,017 km²) for the land use areas. It is located in the dry Sudanian zone with two contrasting seasons: a rainy season from May to September and a dry season from October to April.

The 30 years' annual average precipitation is 900 mm. The temperatures undergo significant variations with an annual average of 28 ° C. The relief is a vast granito-gneissic peneplain dominated by a few hills (Viennot, 1978). The geological substratum of the area is composed of quartzites, basic rocks, micaschists, schists, granites, gneisses, sandstone (Szaniawsky, 1982). The soils are raw minerals, little evolved, tropical ferruginous and gley minerals. The hydrographic network brings together the Mékrou (410 km) and Alibori (338 km). In addition to these large rivers, there are small ones connected in many places along their course. The plant formations encountered correspond mainly to wooded shrub savannas, islands of riparian forests and dense dry forests (Adomou *et al.*, 2006). The main crops grown by local populations of the study area are sorghum or millet, rice, maize (PDREGDE, 2013; INSAE, 2016 and 2017). Sampled Dongas and characteristics are given by Table 1 and the location of studied dongas and measurement points in Figure 1.

Table 1. Sampled *Donga* (gullies) location and characteristics

Characteristics of <i>Donga</i> (Gully)		DP ₁	DP ₂	DP ₃	DT ₁	DT ₂	DT ₃
Location		W Park	W Park	W Park	Gouroukambou land use area	Baruland use area	Karguiland use area
Geographic coordinate	Longitude (E)	03°04'27"	03°03'19"	03°00'36"	03°08'08"	03°11'47"	03°13'39"
	Latitude (N)	11°59'59"	11°59'30"	11°56'26"	11°57'49"	11°56'23"	11°55'22"
Depth (m)	Minimum	1.20	0.25	0.81	1.48	0.25	0.20
	Maximum	4.20	1.22	2.53	4.20	1.10	2.71
Mean diameter (m)		171	62	176.3	103	191.2	430
<i>Donga</i> type	Class	> 3 m	≤ 1 m	1 m < Depth ≤ 3 m	> 3m	≤ 1m	1 m < Depth ≤ 3 m
	Type	<i>Mega-donga</i>	<i>Micro-donga</i>	<i>Mesodonga</i>	<i>Megadonga</i>	<i>Micro-donga</i>	<i>Meso-donga</i>
Upstream slope (%)		4.5	5.0	6.5	4.25	4.0	3.75
Middle slope (%)		4.0	3.0	4.5	3.0	2.75	3.0
Downstream slope (%)		2.0	1.0	4.0	1.5	1.5	2.0

DP = *Donga* in the W National Park; DT = *Donga* in the land use area; 1, 2 and 3 = Number of *donga*; *the used coordinate system was WGS_1984_UTM_Zone_31N.

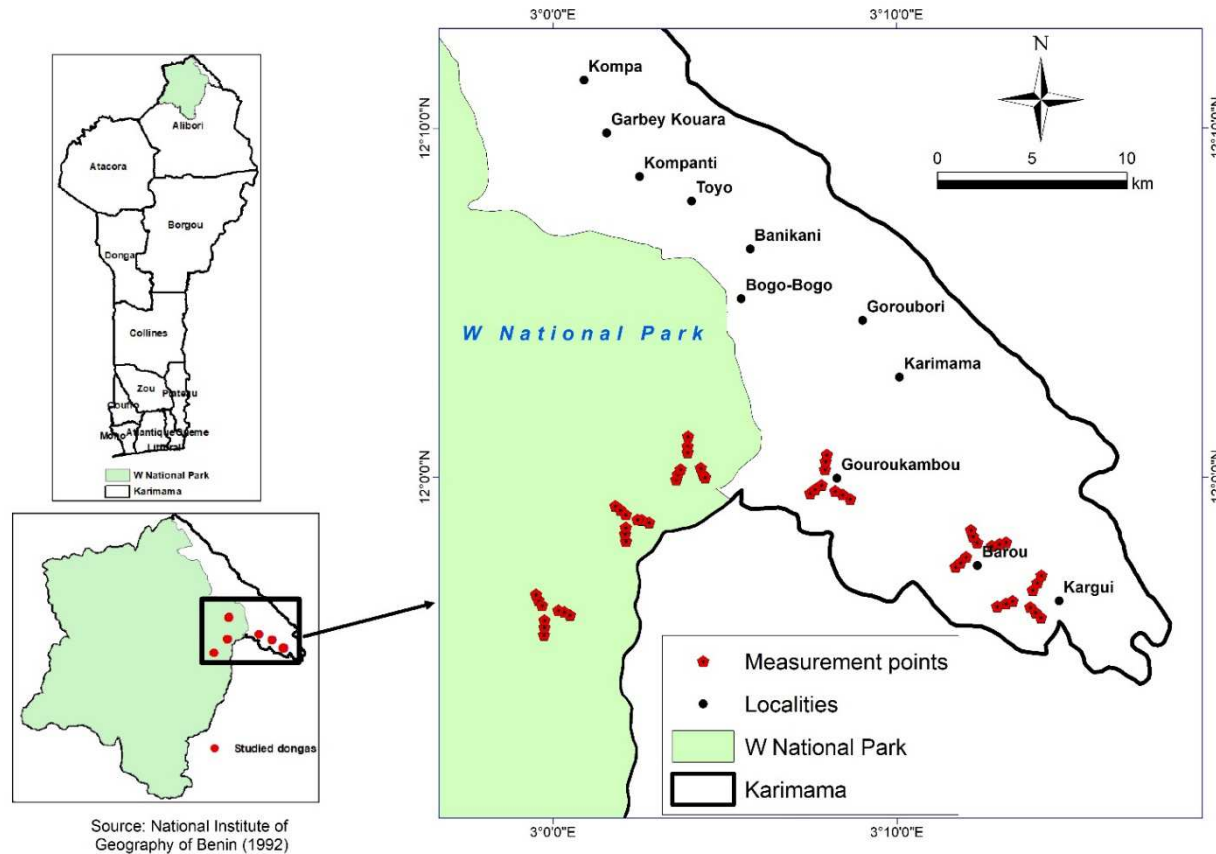


Figure 1. Studied dongas and measurement points location

In the study area, serious economic and environmental problems related to dongas and soil erosion become recurrent (Avakoudjo, 2016). Local communities must cope with a considerable decrease in their productivity and incomes resulting in a rapid depletion of soils, as the watersheds are still out of protection against water and wind erosion (MEPN, 2010). To compare the water infiltration rate of the donga upstream with middle and downstream values, we randomly selected three sites both in the W National Park and its periphery (farmland or land use areas). Donga sizes were taken into account and water infiltration rate were measured in the *microdongas* (donga depth ≤ 1 m), *mesodongas* ($1 \text{ m} < \text{donga depth} \leq 3 \text{ m}$) and *megadongas* (Donga depth $> 3 \text{ m}$).

METHODOLOGY

Soil water infiltration information was collected in two (2) ecosystems (i) W National Park and (ii) its land use areas (farmland), on three type of dongas (i) *microdongas* (donga depth ≤ 1 m), (ii) *mesodongas* ($1 \text{ m} < \text{donga depth} \leq 3 \text{ m}$) and (iii) *megadongas* (Donga depth $> 3 \text{ m}$), at three (3) topography level (i) top slope (ii) middle and (iii) down slope with three replications in each dongas.

A total of 54 measurement points were selected within Karimama district in W National Park (27), and its land use areas (27): (i) Kargui land use area (9), Baru land use area (9) and Gouroukambou land use area (9). Global positioning system was used to collect the coordinates of those 54 selected plots. Different types of instruments were used to measure infiltration rate. The most common was the double-ring infiltrometer (Bouwer, 1986), which was used by Moroko to measure the infiltration rate under different tillage systems in eastern Botswana and other field conditions (Moroko *et al.*, 2009; Armer, 2011).

Soil infiltration was measured using a cylinder type infiltrometer. To avoid divergent flow, a 20 cm diameter infiltration ring was put inside a 40 cm ring. The outer ring was flooded simultaneously with the inner ring to serve as a buffer, helping ensure one-dimensional vertical flow from the inner flow. The rate of water depth decreased in the inner ring was then measured and maintained at a roughly constant depth for the duration of the test.

Statistical analysis

The data were subjected to an analysis of variance with the SAS software (Version 9.4) on the General Linear Model procedure. The analysis of variance was achieved separately for the W National Park and for its land use areas (farmland). In each of these sites (ecosystems), a two-way ANOVA was carried out.

The factors tested were (i) the type of Donga, (ii) the Topography and (iii) their combination. Least Significant Difference (LSD) test was used for mean comparison. In order to compare the two ecosystems with each other, the t-Student test to compare two means was carried out. The level of significance considered was 5%.

RESULTS

Variation of Water infiltration rate in different type of donga soil in W National Park and the land use area

Water infiltration rate varied in different types of dongas in both ecosystems. Table 2 compared the mean infiltration rate in the soil of different type of dongas. Recorded values were the same in *microdongas* (28.69 cm/h) and *megadonga* (28.92 cm/h) and were different to recorded value (17.67 cm/h) in *mesodonga* (LSD = 2.317***). However, in the surrounding area of the W national Park, water infiltration rate was the same in *microdonga* (10.22 cm/h) and *mesodonga* (10.23 cm/h) and different to the recorded value (17.54 cm/h) in *megadonga* (LSD = 1.255***).

Table 2. Comparison of the mean of water infiltration rate in the soil in different type of dongas

Type of Donga	W National Park		Land use areas	
	Mean Infiltration (cm/h)	Standard Error	Mean Infiltration (cm/h)	Standard Error
Microdonga	28.69a	1.09	10.22b	1.55
Megadonga	28.92a	1.8	17.54a	0.81
Mesodonga	17.66b	0.73	10.23b	0.25
LSD	2.317***		1.255***	
CV (%)	19,26		19.28	
R ²	0,74		0.85	

LSD: Least Significant Difference; CV: Coefficient of variation; * p-value significant at 5%; ** p-value significant at 1%; *** p-value significant at 0.1%. Means with the same letter were not significantly different according to the LSD test.

Effect of topography on water infiltration rate in W National Park and the land use the soil at the area

The effect of topography on the water infiltration rate in the W National and the land use area were analyzed. Table 3 compared the mean water infiltration rate into the soil at different level of slope. The mean water infiltration rate was different at the three level of the slope (LSD = 2.319***). Recorded value at the top slope was higher than water infiltration values recorded in down slope and middle. Decreased trend was observed from top to down slope in W National Park. In the land use areas, water infiltration rate was statistically different for at the three level of topography (ppds = 1.246***). Recorded value was higher (18.03 cm/h) in top slope and low in the middle (10.15 cm/h)

Table 3. Comparison of the mean of water infiltration rate into the soil according to the topography

Topography	W National Park		Land use areas	
	Mean Infiltration (cm/h)	Standard Error	Mean Infiltration (cm/h)	Standard Error
Top slope	30.77a	1.69	18.03a	1.34
Middle slope	23.74b	1.27	10.15c	0.81
Down slope	20.274c	1.13	11.48b	0.58
LSD	2.319***		1.246***	
CV (%)	19.26		19.28	
R ²	0.74		0.85	

LSD: Least Significant Difference; CV: Coefficient of variation; * p-value significant at 5%; ** p-value significant at 1%; *** p-value significant at 0.1%. Means with the same letter were not significantly different according to the LSD test.

Interactive effect of the type of dongas and the topography on water infiltration rate in W National Park and the land use area

The effect of dongas size (type of dongas) and the topography on water infiltration rate were analyzed. Figure 2 showed the combined effect of both factors. In the *microdongas* recorded water infiltration rate at different slope were the same ($p = 0.1457$) while in the *megadongas* water infiltration rate was different ($p < 0.0001$) in the top slope (39.36 cm/h), middle (29.18 cm/h) and down slope (17.30 cm/h) and decreased trend were observed in W National Park. Water infiltration rate was the same at down slope (16.59 cm/h) and middle (15.12 cm/h) in *mesodongas* and different ($p = 0.0005$) to the recorded water infiltration rate in the top slope (21.28 cm/h).

In the land use areas of W National Park, the water infiltration rates were very high at the top slope in *microdongas* (23.51 cm/h) and *megadongas* (22.39 cm/h) and statistically different ($p < 0.05$) to the

recorded values in the middle and down slope which were the same in *megadongas* and different in *microdongas* (Figure 3). Water infiltration values recorded in this site (surrounding area) were the same for *mesodongas* ($p = 0.4599$) at different level of slope.

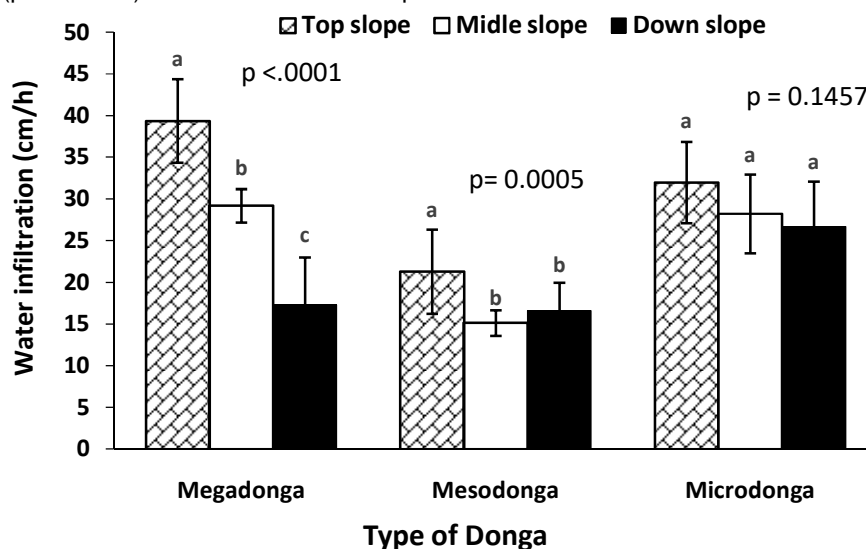


Figure 2. Combined effect of the type of dongas and the topography on the water infiltration rate in the W Park

LSD: Least Significant Difference. The histograms with the same letter were not significantly different according to the LSD test.

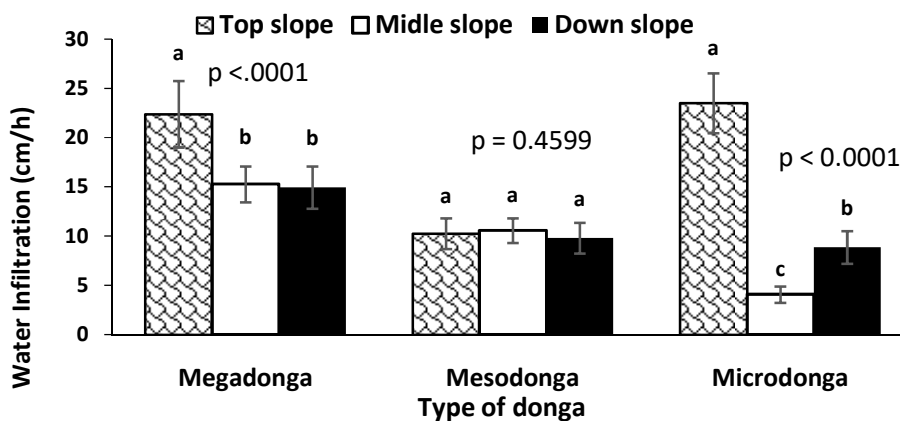


Figure 3. Interactive effect of the type of dongas and the topography on water infiltration rate in the land use area

LSD: Least Significant Difference. The histograms with the same letter were not significantly different according to the LSD test.

Influence of the site on the water infiltration rate into the soil

The influence of the site on water infiltration rate into the soil was analyzed through the difference in recorded value in W National Park and land use areas. Table 4 showed the difference in water infiltration rate between W National Park and the land use area compared to the same type of dongas. Higher difference was obtained in *microdongas* (18.46 cm/h) followed by *megadongas* (11.39 cm/h) and *mesodongas* (7.42 cm/h). Those differences were significant (p -value < 0.0001) for all type of *dongas*.

Table 4. Difference in water infiltration rate between W National Park and the land use area compared to the same type of dongas

Types of donga	Park W	Land use areas	Difference	p-value
Megadonga	28.92	17.54	11.39	< 0.0001***
Mesodonga	17.66	10.24	7.42	< 0.0001***
Microdonga	28.69	10.22	18.46	< 0.0001***

*** p-value significant at 0.1%.

In Table 5 was presented the difference in water infiltration rate between W National Park and the land use areas. Through the topography level, higher difference was obtained in middle slope (13.6 cm/h) followed by the Top slope (12.74 cm/h) and down slope (8.8 cm/h). Those differences were significant (p-value < 0.0001) for all the slope level.

Table 5. Difference in water infiltration rate between W National Park and the land use area compared to the topography.

Topography	Park W	Land use areas	Difference	p-value
Top slope	30.77	18.03	12.74	< 0.0001***
Middle slope	23.74	10.15	13.6	< 0.0001***
Down slope	20.27	11.48	8.8	< 0.0001***

*** p-value significant at 0.1%.

Influence of the month on the water infiltration rate into the soil

The effect of the month on water infiltration rates in W National Park and its surrounding area was analyzed. In Table 6 were compared the mean water infiltration rates into the soil during different months. The mean water infiltration rates were different in W National Park (LSD = 2.74***). However, the recorded values were the same in April (22.79 cm/h) and October (24.21 cm/h). In the land use areas of W National Park, the mean water infiltration rates were also different during the different months (LSD = 2.65***), but recorded values in April (10.42 cm/h) and June (10.65 cm/h) were the same.

Table 6. Variation of the water infiltration trough the month in W National Park and its surrounding area

Months	W National Park		Surrounding area	
	Water infiltration (cm/h)	Standard Error	Water infiltration (cm/h)	Standard Error
April	22.79b	1.04	10.42c	0.9351
June	17.71c	0.86	10.65c	0.9786
October	24.21b	0.99	14.87b	0.8630
November	28.70a	1.04	18.08a	1.0288
LSD	2.74***		2.65***	
CV (%)	25.73		39.95	
R ²	0.4831		0.3252	

LSD: Least Significant Difference; CV: Coefficient of variation; *** p-value significant at 0.1%. Means with the same letter were not significantly different according to the LSD test.

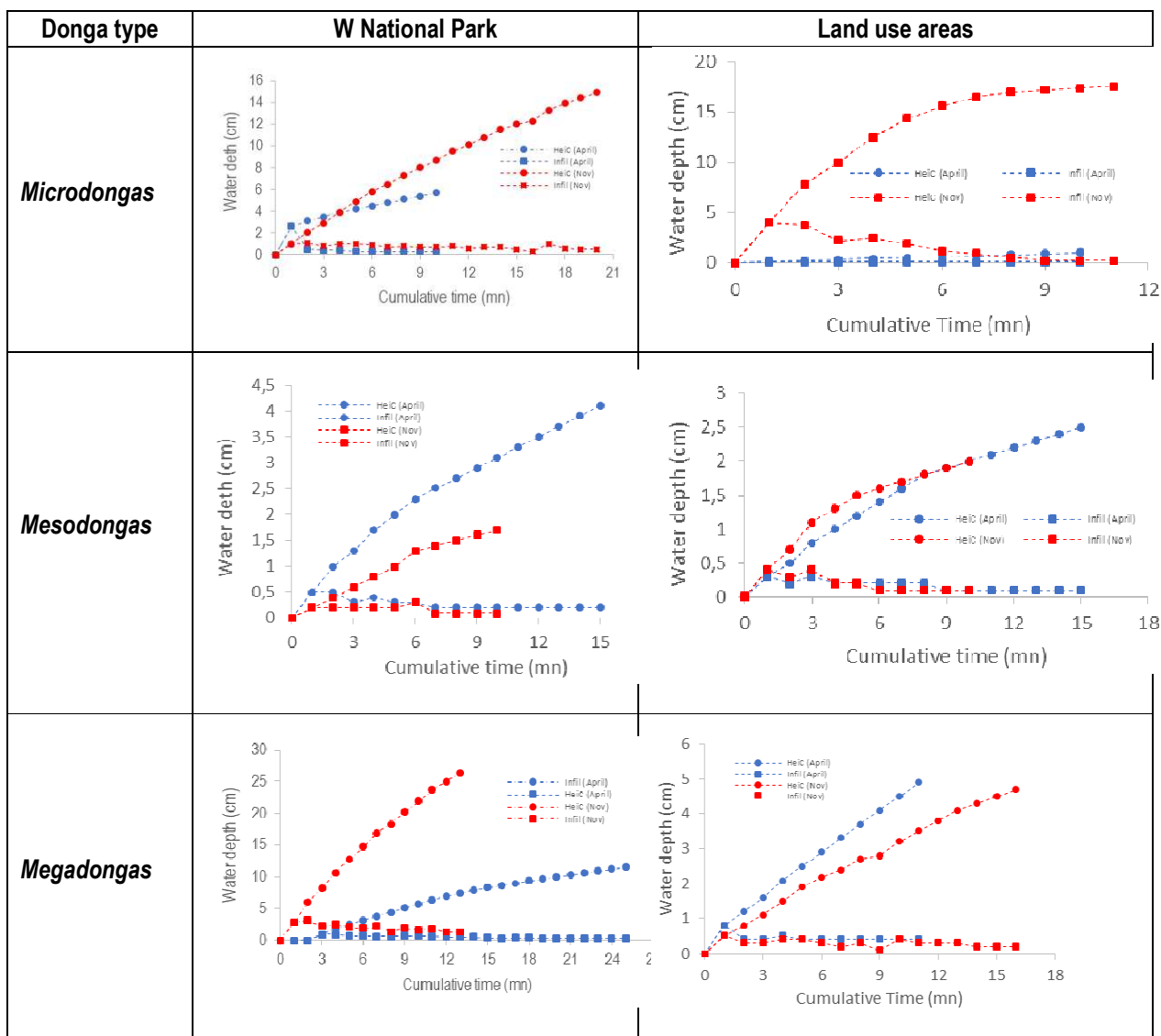
In the two type of ecosystems (W National Park and its surrounding area (Farmland)), the influence of the month on water infiltration rate into the soil was analyzed through the difference in recorded values. In Table 7 was shown the difference in water infiltration rate between W National Park and its surrounding area compared to the same month. Higher difference was obtained in April (12.35 cm/h, magnitude 54%) followed by November (10.63 cm/h; magnitude 37%). Those differences were significant for the different months (p-value < 0.0001). The following graphs presented in table 10 show the dynamics of water infiltration into the soil in different dongas type in the W National Park and the surrounding area.

Table 7. Results of T-Student test on the water infiltration in the W NationalPark and its surrounding area

Months	W National Park	Surrounding area	Difference	p-value
April	22.77	10.42	12.35	< 0.0001***
June	17.71	10.65	7.06	< 0.0001***
October	24.21	14.87	9.34	< 0.0001***
November	28.70	18.08	10.63	< 0.0001***

The graphs in the Table 8 showed the evolution of water infiltration in the dongas in the W National Park and its land use areas in April (start of rain season) and November (end of rain season).

Table 8. Water infiltration dynamics in different dongas type in the W National Park and its surrounding area



In the *megadongas* and *microdongas* of the W National Park, the cumulative water depth was higher in November which was the wettest month compared to April which was the driest month. In November, the water dropped to a depth of 23 cm and 14.9 cm (respectively in *megadongas* and *microdongas*). In April, the total water depth was 14 cm and 5.7 cm (respectively in *megadongas* and *microdongas*). As regards infiltration, it was on average 0.48 cm/min in April and November in the *megadongas* of W National Park. But at the *microdongas* level, the average infiltration was 0.52 cm/min in April while it was 0.70 cm/min in

November. Contrary to the *megadongas* and *microdongas*, infiltration and water depth were higher in the driest month (April) than in the wettest month (November) at the level of the *mesodongas*. In April the total water depth is 4.1 cm while it was 1.7 cm in November. The Infiltration was higher at the beginning but declines and stagnates with time and averages 0.26 cm/min in April and 0.15 cm/min in November.

In the land use areas, the water dropped to about 5 cm in November and April. However, average infiltration was slower in November (0.27 cm/min) compared to April (0.44 cm/min) in the *megadongas*. The Infiltration was higher at the beginning but declines and stagnates with time. In the *microdongas*, water infiltrated up to 1 cm with a velocity of 0.09 cm/min in April and up to 17.6 cm with a velocity of 1.46 cm/min in November. In the *mesodongas*, the water depth was respectively 2 cm and 2.5 cm in April and November. In April, the average infiltration was 0.16 cm/min while it was 0.18 cm/min in November.

DISCUSSION

Water Infiltration rate is twice higher in W National Park than recorded values of its land use areas. This result can be explained by the fact that W National Park is richer in organic matter and vegetation cover than land use areas with farmland and weak vegetation cover. Regularly cultivated soils undergo fine particle (clay) depletion in surface horizons by selective erosion due to runoff at the time of the first rains, when the canopy is completely clear after passing fires (Van Wambeke, 1995; Alongo, 2012). The plowed horizon sees its storage capacity of rainwater reduced due to the decrease in infiltration and reduction of soil colloids (Alongo, 2012). Conversely, in the forest, the more clay texture of surface horizons of soils can be explained by the existence of a closed plant screen that protects the soil against surface erosion (Yemefack *et al.*, 2004). In addition, earthworms and termites abundantly found in the study sites can play an important role on soil texture, because their activity is likely to go up, from subsurface horizons to the fine soil particles on surface (Yemefack *et al.*, 2004). The infiltration capacity of soil depends on the soil physical properties ie texture of soil, bulk density, soil porosity. According to Ahanuke (2011) in Nigeria, the infiltration characteristics of soils depend on soil physical properties namely hydraulic conductivity, bulk density, porosity and antecedent soil moisture.

The Soil erosion in Karimama mostly results from the overland flow that is produced when the rainfall rate exceeds the ability of the soil to absorb water. Therefore, the soil infiltration capacity and rainfall intensity are the most important physical factors for soil erosion (Avakoudjo, 2016). The crusts result in reduced soil infiltration (USDA, 1996). Loamy sandy soil texture that occurs in the study area facilitated particles transport (Avakoudjo, 2016). One of the processes that determine water erosion is infiltration (Deyanira, 2003). Therefore the infiltration capacity of the soil in the study area help to understand the extent of donga phenomenon because when the water is on the soil surface that reduces splash effect and when the water infiltration capacity in the soil is low, more the runoff is high and the particles and organic matter, transported from the soil surface, is also high (Avakoudjo, 2016). Infiltration is an indicator of the soil's ability to allow water movement into and through the soil profile. Soil temporarily stores water, making it available for root uptake, plant growth and habitat for soil organisms. Initial moisture content of the soil affects the infiltration rate/capacity of soil (Ruggenthaler *et al.*, 2016). The factors that affect the infiltration rate are: - (a) the soil structure (b) the soil porosity (c) the gradient of the land (d) the humus content of the soil (e) the initial moisture content of the soil (f) soil texture (Mahapatra, 2020). Infiltration is affected by crop and land management practices that affect surface crusting, compaction, and soil organic matter. Bombino *et al.* (2019) highlighted that the importance of a good infiltration capacity of soil is clear. This can be Water achieved by adopting suitable soil management techniques. The higher infiltration induced the higher the water availability for crops, which is desirable in semi-arid environment characterized by chronic water shortage (Bombino *et al.*, 2019). The overexploitation of soil by local populations due to the rapid increasing of population growth and annual wildfire naturally increases the high frequency of dongas in the land use area. W National Park presence oblige local people to use *microdongas* (depth ≤ 1 m) as cropping area with low yield because of the departure of the topsoil and its organic matter.

Donga type ($p < 0.0001$) and the rainfall month ($p < 0.0001$) have significant effect on water infiltration rate. Water infiltration rate is the same statistically in deeper dongas (*megadongas*) and less deep dongas (*microdongas*) and are different with recorded value of *mesodongas* ($1\text{m} < \text{donga depth} \leq 3\text{m}$). Recorded infiltration capacity rates of April (rain started month) and November (end of rain month) are the same statistically and differed to June and October infiltration values which are lower. Runoff rate are lower in April and November and higher in June and October, the rainy months in the study area. These results suggest that runoff is the best way of transport of particles and soil organic matter that is higher in the

surrounding area (farmland) than in the W National Park. The same trend is observed when the infiltration is low in *mesodongas* and *microdongas*. Highest runoff carried more particles and organic matter from less deep donga. Similarly, the infiltration is lower in June and October and the runoff will likely be higher in these months. Most of the dongas are found near the rivers beds and therefore receive all the runoff water from dongas upstream. It is well known that a cover of herbages and shrubs may protect a loose soil from being carried away by rain, or even by the ordinary action of a river, and may prevent hills of loose sand from being blown away by the wind (Collins *et al.*, 2004). For the roots bind together the separate particles into a firm mass and the leaves intercept the rain water, so that it dries up gradually, instead of flowing off in a mass and with great velocity (Collins *et al.*, 2004). The transversal slopes are low on plateau, there is sheet erosion (favored by crust) which blade is thicker at downstream and the most important begins to erode the soil with the particularity that this erosion is extended (several ten meters). The most affected soils by erosion in the study area are the clay and loam soils that do not give a great chance to rainfall infiltration. Crusting on bare soils or annual crops soils induced sometimes runoff water precipitated over than 80% (MEPN, 2010). The erosion is perpendicular to the flow and built small donga (gullies) erosion. Since a long time, rain is recognized as an essential agent of soil erosion (Leguédou, 2010). Hydrologically the infiltration process separates rain into two parts. One part stored within the soil supplies water to the roots of vegetation and recharges ground water (Monteiro da Costa *et al.*, 2019), while the other part which does not penetrate the soil surface is responsible for surface runoff (Blocken *et al.*, 2012). Water erosion effect will be less in W national Park. Rainfall from the canopy can infiltrate into the soil, known as the infiltration process, or run off along the slope when rainfall intensity exceeds the infiltration rate (Guo& Shao, 2009; Guo, 2014; Wang *et al.*, 2016). Some of the water that infiltrates into soil can be stored in soil for plants to utilize or passes through the soil layer and replenishes groundwater (Guo, 2020). Soil erosion is a worldwide land degradation process and a serious threat to sustainability of agriculture (Wang *et al.*, 2016). Vegetation measures and soil management practices are of vital importance in preventing soil erosion in agricultural lands (Wang *et al.*, 2016). In view of the importance of infiltration in soil water management, infiltration depth is determined by double ring infiltrometer and point measurements methods. The cumulative water infiltration depth is higher in November which is the wettest month compared to April which is the driest month. In November, the water dropped to a depth of 23 cm and 14.9 cm (respectively in *megadongas* and *microdongas*). Hao *et al.* (2008) used Wet-dry boundary method to determined infiltration depth by digging in the soil. However, this method is unsuitable for continuous measuring in undisturbed soil such as forests. Li *et al.* (2004) studied the changes of wetting front in disturbed soil over time in the process of infiltration using a large lysimeter with a long access pipe (Li *et al.*, 2004). In addition, Li and Shao (2007) analyzed the influences of vegetation cover, rainfall intensity and soil texture on infiltration rate. Wang and Li (1995) determined the maximum infiltration depth MID (the deepest point of cumulative infiltration depth) using an oven drying method. Esteves *et al.* (2000) reported the soil moisture profile at the center of a runoff plot to illustrate the change of infiltration depth with time and compared the observed versus computed values of infiltration depth at the neutron probe access tube; Li (2001) reported MIDs in the range of 1–3 m in woodlands of the Loess Plateau. In a long-term study, we should determine the start time to measure soil water infiltration after the rainfall event because it influences the soil water supply and infiltration depth for this event. Suitable method should be reached to improve measurement precision of water infiltration into the soil and the maximum cumulative infiltration depth which approved that the estimating method is right in order to highlight the best management practices to improve soil infiltration include: reduced tillage, avoid soil compaction, crop rotation, and keeping the soil covered with residue and cover crops. A soil with good infiltration can utilize and store plant available water and reduce water runoff which causes flooding. Under natural conditions, the two-curve method also can be used to determine the use depth of soil water and soil water consumption by plants in a given period.

CONCLUSION

The use of double-ring infiltrometer to measure water infiltration rate in W National Park and its land use areas and the cumulative water infiltration depth during different months, shows that the water Infiltration rate is twice higher in W National Park than recorded values of its surrounding areas. Donga type and the month have significant effect on water infiltration rates. Water infiltration rate is the same statistically in *megadongas* (deeper dongas) and in *microdongas* (less deep dongas) and are different with recorded values of *mesodongas* ($1\text{ m} < \text{donga depth} \leq 3\text{ m}$). Recorded infiltration capacity rates of April (rain started month) and November (end of rain month) are the same statistically and differed to June and October

infiltration values which are lower. The cumulative water infiltration depth is higher in November which is the wettest month compared to April which is the driest month. In November, the water dropped to a depth of 23 cm and 14.9 cm (respectively in the *megadongas* and *microdongas*).

In view of the importance of the water infiltration rate and the cumulative infiltration depth in soil water management, suitable method should be reached to improve measurement precision of water infiltration into the soil and the cumulative maximum infiltration depth in order to adopt the best management practices that improve good infiltration and store plant available water and reduce water runoff which causes flooding. It will be useful in the current rainfall conditions, to promote the infiltration of water into the soil and its maximum retention by providing the inputs of organic matter such as manure, compost and green manure in order to optimize agricultural production. Further studies are useful to highlight the others factors that influenced the infiltration rates of dongas soils in Karimama in order to build the restoration strategies of those degraded ecosystems.

REFERENCES

- Adomou, A.C., B. Sinsin, L.J.G. van der Maesen, 2006: Phytosociological and chorological approaches to phytogeography: a meso-scale study in Benin. *Systematics and Geography of Plants*, 76, 155-178.
- Ahaneku, I. E., 2011: Infiltration Characteristics of Two Major Agricultural Soils in North Central Nigeria. *Agricultural Science Research Journals*, 1(7) :166-171.
- Alongo Longomba, S., 2012 : Etude microclimatique et pédologique de l'effet de lisière en Cuvette centrale congolaise : impact écologique de la fragmentation des écosystèmes, cas des séries Yangambi et Yakonde à la région de Yangambi (R.D. Congo). Thèse de Doctorat, Faculté des sciences. Ecole Interfacultaire de Bio-ingénieurs. Service d'Ecologie du paysage et Systèmes de Production Végétale. 316 p.
- Amezketta, E., T. Aragües, R. Gazol, 2004: Infiltration of water in disturbed soil columns as affected by clay dispersion and aggregate slaking. Department of Soils and Irrigation. Research and Agronomic Technology Center. Diputación General de Aragón. Apdo. 727. 50080 Zaragoza. Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2 (3), 459-471
- Armer, A. M., 2011: Effects of water infiltration and storage in cultivated soil on surface irrigation. *Agr Water Manage.*98, 815–822 (2011).
- Avakoudjo, J., 2016 : Evaluation des « dongas » : Processus, Gestion et Possibilités de mise en valeur dans la commune de Karimama au Nord du Bénin. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-calavi, Bénin, 258 pages.
- Blocken, B., D. Derome, J. Carmeliet, 2012: Rainwater runoff from building facades: a review. *Building and Environment*(October 17, 2012), 1-40.
- Bombino G., P. Denisi, J. A. Gómez, D. A. Zema, 2019: Water Infiltration and Surface Runoff in Steep Clayey Soils of Olive Groves under Different Management Practices. *Water* 11: 240; doi: 10.3390/w11020240
- Bouwer, H. 1986: Intake rate: cylinder infiltrometer. In: Klute, A. Methods of soil analysis, monograph No. 9. *Am. Soc. Agron. Madison*, 9, 825–843.
- Caron, J., C. R. Espindola, D. A. Angers, 1996: Soil structural stability during rapid wetting: Influence of land use on some aggregate properties. *Soil Sci Soc Am J.* 60, 901-908.
- Chan, K. Y., Mullins, C. E., 1994: Slaking characteristics of some Australian and British soils. *Europ J Soil Sci* 45, 273-283.
- Collins, D. B. G., R. L. Bras, G. E. Tucker, 2004: Modeling the effects of vegetation-erosion coupling on landscape evolution, *J. Geophys. Res.*, 109, F03004, doi:10.1029/2003JF000028.
- Esteves, M., X. Faucher, S. Galle, M. Vauclin, 2000: Overland flow and infiltration modelling for small plots during unsteady rain: numerical results versus observed values. *Journal of hydrology*.228, 265–282.
- Ferruzzi, G. G., N. Pan, W. H. Casey, 2000: Mechanical properties of gellan and polyacrylamide gels with implications for soil stabilization. *Soil Sci* 165, 778-792.
- Guo, Z. S., Shao, M. A., 2009: Soil water infiltration process in afforested land on slopes of the semiarid region of Loess Plateau, *Chin. J. SOIL SCI*.46, 953–958.
- Guo, Z. S. 2014: Theory and Practice on Soil Water Carrying Capacity for Vegetation (ed. T., Guo) 216–241 (Beijing, 2014).
- Guo, Z. 2020: Estimating Method of Maximum Infiltration Depth and Soil Water Supply. Scientific Report RtS, (2020) 10:9726 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66859-0www.nature.com/scientificreports>
- Hao, Z., J. Zheng, Q. Ge, X. Guo, 2008: Relationship between precipitation and the Infiltration depth over the middle and lower reaches of the Yellow River and Yan gze-Huaihe River Valley. *Progress in Natural Science* 18 (2008) 1123–1128.

- Le Bissonnais, Y., Singer, M. J., 1992: Crusting, runoff and erosion response to soil water content and successive rainfalls. *Soil Sci Soc Am J.* 56, 1898-1903.
- Le Bissonnais, Y., 1990: Experimental study and modelling of soil surface crusting processes. *Catena Suppl.* 17, 13-28.
- Leguédois, S., 2010 : Mécanismes de l'érosion diffuse des sols Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, France, 158 p
- Li, Y., Shao, M. 2007. Experimental study on influence factors of rainfall and infiltration under artificial grassland coverage. *Transactions of the CSA E.*23, 18–23.
- Li, X. F., Y. F. Li, F. L. Fan, 2004: Experimental research on the process of rainfall infiltration feeding. *Chin. J. South-North Water Transfer.*3, 40–42.
- Li, Y. S., 2001: Effects of forest on water cycle on the Loess Plateau. *Chin. J. Natural RESOUR.*6, 427–432
- Deyanira, L. L., 2003: Soil Physical Properties Affecting Soil Erosion in Tropical Soils Faculty of Agronomy, Institute of Soil Science, Central University of Venezuela, Maracay, Venezuela. *Lecture given at the College on Soil Physics Trieste*, 3:232-243
- Loch, R. J., Foley, J. L., 1994: Measurement of aggregate breakdown under rain: Comparison with tests of water stability and relationships with field measurements of in-filtration. *Aust. J. Soil Res*, 32, 701-720.
- MEPN (Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature), 2010 : Etude de référence de l'état de dégradation des terres des sols dans les communes de Ouaké, Banikoara, Karimama, Kpomassè, Ouèssè, et Ségbana. Programme Spécial de reboisement et de restauration des terres (PSRT). Rapport Cabinet Golf Expertises, 60 p.
- Mahapatra, S., M. K. Jha, S. Biswal, D. Senapati, 2020: Assessing Variability of Infiltration Characteristics and Reliability of Infiltration Models in a Tropical Sub-humid Region of India. *Sci Rep.* 2020; 10. 1515doi: [10.1038/s41598-020-58333-8](https://doi.org/10.1038/s41598-020-58333-8).
- Monteiro da Costa, A., H.H. Cardoso de Salis, J. H. Moreira Viana, F.A.L. Pacheco, 2019: Groundwater Recharge Potential for Sustainable Water Use in Urban Areas of the Jequitiba River Basin, Brazil. *Sustainability*, 11, 2955; doi:10.3390/su11102955
- Moroke, T. S., O. Dikiny, C. Patrick, 2009: Comparative assessment of water infiltration of soils under different tillage systems in eastern Botswana. *Phys. Chem. Earth.* 34, 316–323 (2009).
- PDREGDE (Projet de Développement des Ressources en Eau et de Gestion Durable des Écosystèmes dans le Bassin du Niger), 2013 : Études techniques pour le développement de petits périmètres irrigués dans la plaine alluviale du fleuve Niger à Karimama et à Malanville. Étude d'impact environnemental et social. CeRPA-Borgou-Alibori (Centre Régional pour la Promotion Agricole du Borgou et de l'Alibori)/MAEP & Autorité du Bassin du Niger, Bénin. Code livrable : 003/2012/EWI-SIGEM-BAOBAB/PDREGDE-DPPI. Rapport définitif. 129 p. <http://documents1.worldbank.org/curated/ru/>
- Ruggenthaler, R., G. Meibla, C. Geitnera, G. Leitingerb, N. Endstrasserb, F. Schöberla, 2016: Investigating the impact of initial soil moisture conditions on total infiltration by using an adapted double-ring infiltrometer. *Hydrological Sciences Journal* Vol. 61 N° 7, 1263-1279. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2015.1031758>
- USDA (United States Department of Agriculture), 1996: Soil Quality Indicators: soil crust. Sheet. USDA, *Natural Resources Conservation Service*. 2 p. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051593.pdf.
- Van Wambeke, A., 1995 : Les sols des tropiques : propriétés et appréciation. *CTA & Huy Trop. asbl*, 335 p.
- Wang, M. B. H. J. Li, 1995: Quantitative study on the soil water dynamics of various forest plantations in the Loess plateau region in northwestern Shanxi. *Chin. J. Ecology.*15, 178–184 (1995).
- Wang, Y., J. Fan, L. Cao, Y. Liang, 2016: Infiltration and Runoff Generation Under various Cropping Patterns in the Red Soil Region of China. *Land Degrad Dev.* 27, 83–91, <https://doi.org/10.1002/ldr.2460> (2016)
- Yan, D. H., H. Wang, F. Wang, Y. Tang, 2007: Frame of research work on ecological water demand and key topics. *Chin. J. Hydraulic Engineering.* 38, 267–273.
- Yemefack M., L. Nounamo, R. Njomgang, P. Bilong, 2004: Influence des pratiques agricoles sur la teneur en argile et autres propriétés agronomiques d'un sol ferrallitique au sud Cameroun. *Tropicicultura*, 22: 3-10.