

Consommation en eau du gombo (*Abelmoschus esculentus*) sur sol ferrallitique au Sud du Bénin: Cas de la variété «Jowizo»

[Water consumption of okra (*Abelmoschus esculentus*) on ferralsol in South of Benin: Case of «Jowizo» variety]

E. L. Sossa¹, L. O. Sintondji², E. C. Agbangba³, W. Zoumarou⁵, K. F. Assogba⁶, A. Mensah⁶, J. O. Ayifimi¹, S. A. Dossou¹, and G. L. Amadji¹

¹Unité de Recherche d'Eco-Pédologie, Laboratoire de Sciences du Sol, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Benin

²Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Benin

³Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières, Université d'Abomey-Calavi, 03 BP 2819 Cotonou, Benin

⁴Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 2009 Cotonou, Benin

⁵Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, BP 123 Parakou, Benin

⁶Programme Cultures Maraîchères, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, 01 BP 884 Cotonou, Benin

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Okra culture is subject to water deficit which reduces its production. The study aims to evaluate water consumption that could ensure optimal production of okra (*Abelmoschus esculentus*) on ferralsol in southern Benin. It was conducted on Market Garden Crops Programme site of National Agricultural Research Institute of Benin. The experimental design is a Complete Randomized Block with the «irrigation dose» as factor at three levels such as 0, 4 and 8 mm of water per day. The volumetric water content and the water potential have been collected. Results revealed that flowering-fruitlet phase is the most detrimental phase to water stress concerning for this okra's variety. But it is possible to improve the water supply of this variety under rainy conditions with supplementary water supplies at determined doses and frequencies. For irrigation option, the dose D1= 8 mm per day is economic irrigation dose that could be recommended for «Jowizo» okra variety under similar agropedological and water availability conditions. However, irrigation dose D2 = 4 mm can be applied for this variety in case of rainfall scarcity.

KEYWORDS: Hydraulics charges, water stress, charges gradients, physiological parameters, water balance.

RESUME: La culture du gombo est sujette au déficit hydrique qui réduit sa production. L'étude vise à évaluer la consommation en eau pouvant assurer une production optimale du gombo (*Abelmoschus esculentus*) sur sols ferrallitiques au Sud du Bénin. Elle a été conduite sur le site du Programme Cultures Maraîchères de l'Institut National de Recherches Agricoles du Bénin. Le dispositif expérimental est un Bloc Aléatoire Complet avec pour facteur la «dose d'irrigation» à trois niveaux 0, 4 et 8 mm d'eau par jour. La teneur en eau volumique et le potentiel de l'eau ont été collectés. Les résultats ont révélé que la phase de floraison-fructification est la phase la plus préjudiciable au stress hydrique pour cette variété de gombo et qu'il est possible d'améliorer l'alimentation hydrique de cette variété en régime pluvial avec des apports d'appoint d'eau à doses et à fréquences déterminées. Pour l'option d'irrigation, la dose D1= 8 mm / jour est la dose d'irrigation économique qu'on pourrait conseiller pour la variété «Jowizo» dans des conditions agro-pédologiques similaires aux nôtres et en cas de disponibilité en eau. Toutefois, la dose d'irrigation D2 = 4 mm peut être appliquée pour cette variété en cas de rareté des pluies.

MOTS-CLEFS: Charges hydrauliques, stress hydrique, gradients de charges, paramètres physiologiques, bilan hydrique.

1 INTRODUCTION

Le gombo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) est un légume cultivé dans la plupart des pays des régions tropicales, subtropicales et méditerranéennes d'Afrique, d'Inde et d'Amérique (Ouedraogo, 2009). Sa production mondiale est estimée à 6,6 millions de tonne par an et représente 1,5% de la production de légumes [1]. En Afrique de l'Ouest, le gombo occupe la deuxième place dans la production légumière derrière la tomate [2]. Au Bénin, il vient en troisième position parmi les cultures maraîchères les plus produites (tomate piment et gombo) [3]. Sa culture revêt une importance économique considérable pour la gent féminine et joue un rôle essentiel dans l'équilibre nutritionnel des populations rurales [4], [5], [6]. Le gombo est une plante exceptionnelle et originale dont toutes les parties (racines, tiges, feuilles, fruits et graines) sont valorisées sur les plans alimentaire, médicinal, artisanal et même industriel [7]. Les fruits et feuilles sont les plus couramment utilisés. Les fruits entrent dans la préparation de nombreuses sauces tandis que les feuilles sont utilisées comme épinards [5]. Nonobstant ses multiples utilisations et son apport nutritionnel avéré, la production de gombo se trouve limitée par de nombreux facteurs climatiques, parmi lesquels la lumière, la température et l'eau demeurent les plus déterminants [8]. En effet, la quantité d'eau et sa répartition dans le temps sont très déterminantes pour la culture du gombo. Sa production en hors saison est souvent confrontée au phénomène de sécheresse et aux attaques parasitaires, avec pour conséquence la baisse de la croissance des plants et de son rendement [6]. Cette baisse de rendement s'explique par le stress hydrique que subissent les plants, du fait d'une faible disponibilité en eau du sol qui s'accroît souvent sous l'effet des variabilités et changements climatiques [9], [10], [11], [12], [13]. Ref [14]. ont noté que le stress hydrique à la phase de boutonaison chez le gombo réduit la longueur du fruit de 63,69%, le poids des fruits de 60,66% et le nombre de fruit de 8,83%. Très peu de travaux de recherche ont porté sur la culture du gombo qui se trouve rarement impliquée dans les programmes nationaux de recherche sur les fruits et légumes au Bénin. Les producteurs commerciaux de gombo pratiquent généralement la culture pure et préfèrent les cultivars introduits de gombo commun (*Abelmoschus esculentus*), qui sont précoces et homogènes [8]. La maîtrise des besoins en eau du gombo durant ses différentes phases phénologiques paraît opportune pour une promotion de sa culture dans les conditions pédoclimatiques du Bénin. Elle permettra de développer sa production en régime irrigué et de prévoir au besoin, des apports d'appoints d'eau en régime pluvial. La présente étude vise à évaluer la consommation en eau pouvant assurer une production optimale des plants de gombo sur sol ferrallitique au Sud du Bénin.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 MILIEU D'ETUDE ET MATERIEL VEGETAL

L'essai a été installé sur le site du Programme Cultures Maraîchères (PCM) de l'Institut National de Recherches Agricoles du Bénin (INRAB). Le matériel végétal utilisé est la variété locale de gombo (*Abelmoschus esculentus*) nommée "jowizo". C'est une variété locale provenant de Malanville, dont le cycle végétatif dure 60 jours, avec un rendement moyen d'environ 5,8 t / ha. Elle a été déjà testée par l'INRAB et diffusée en milieux paysans.

2.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET CONDUITE DE L'ESSAI

Le dispositif expérimental utilisé est un Bloc Aléatoire Complet (BAC) à trois (03) répétitions, avec pour facteur la dose d'irrigation à trois niveaux (D0 = 0 mm/jour, D1 = 8 mm/jour et D2 = 4 mm/jour). Les parcelles élémentaires de 4,8 m² sont séparées par des allées de 2,5 m.

Le sarclage du sol à la houe a été suivi du piquetage et de la confection des planches de 2,4 m x 2 m. Le semis direct des graines de gombo a été réalisé aux écartements de 80cm entre lignes et 50cm entre poquets. A cet effet, trois graines ont été introduites par poquet lors du semis et le démariage à 1 plant a été effectué au bout de 2 semaines. L'arrosage quotidien des parcelles irriguées a débuté après la levée et des sarclages réguliers ont été effectués tout au long du cycle cultural. Chaque plant a reçu 800g de fumure organique et 16 g d'engrais NPK (14-23-14) respectivement à 14 et 28 jours après semis. Le traitement phytosanitaire a débuté deux semaines après le semis et a consisté à l'application à intervalles de 10 jours du mélange dans 2 litres d'eau de 8,64 ml d'Acétamiprid et 4,32 g de Topsin-M, sur l'ensemble des parcelles. Au stade de fructification, le traitement phytosanitaire a consisté à l'application une fois par semaine de 0,864 ml de Laser sur l'ensemble des parcelles.

2.3 COLLECTE DES DONNEES

Le potentiel matriciel de l'eau du sol a été mesuré à l'aide de tensiomètres qui permettent de prendre tous les jours la pression effective de l'eau dans le sol non saturé. A cet effet deux cannes tensiométriques ont été installées par parcelle élémentaire aux profondeurs de 20 et 40 cm. La charge hydraulique totale H a été déterminée à partir des potentiels matriciels h (z) lus par le tensiomètre selon la formule: $H = h(z) + z$ [15], où z est la profondeur de mesure.

L'humidité du sol a été déterminée par la méthode gravimétrique (Soltner, 1989). A cet effet, trois échantillons composites de sol ont été prélevés par unité expérimentale aux profondeurs 0 - 20 cm, 20 - 40 cm, et 40 - 60 cm. Ces échantillons prélevés deux fois par semaine à l'aide de la tarière, ont été séchés à l'étuve à 105°C pendant 48 heures et l'humidité pondérale a été déterminée à chaque profondeur par la formule

$H_p = \frac{P_1 - P_2}{P_2}$ [16], [15], [17] où P_2 = Poids humide du sol en gramme; P_1 = Poids sec du sol en gramme et H_p = humidité pondérale en % du poids de sol sec. Ces mesures d'humidité du sol ont permis d'étudier le mouvement de l'eau dans le sol à partir des courbes des charges hydrauliques, des gradients de charge, des profils hydriques et des stocks d'eau dans le sol.

La densité apparente moyenne du sol a été déterminée sur les trois premiers horizons du sol suivant la formule $da = Ms/Vc$ [18] où Ms = masse du sol sec après séchage à l'étuvage à 105°C et Vc = volume du cylindre (100 cm³).

Les humidités caractéristiques (H_{pF3} = humidité du sol à la capacité au champ; $H_{pF4,2}$ = humidité au point de flétrissement) du sol ont été déterminées sur les échantillons de sol prélevés par horizon, en vue du calcul de la réserve utile.

2.4 TRAITEMENT DES DONNEES

2.4.1 CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Les valeurs de l'humidité pondérale (H_p) ont été transformées en humidités volumiques (H_v) à l'aide des valeurs de la densité apparente (da) de chaque profondeur par la formule suivante: $H_v = H_p * da$ [19]

Le stock d'eau présent dans le sol a été déterminé à partir des profils hydriques, en fonction de la profondeur. Le stock d'eau dans une couche (z) de sol est donné par la formule suivante: $Se_z = L_z * H_{vz}$ Où L_z est l'épaisseur de la couche en mm, H_{vz} est l'humidité en cm³/cm³ de sol et Se_z le stock d'eau en mm [17].

Le stock d'eau cumulé a été obtenu par la formule suivante: $Se_{0-40cm} = Se_{0-20cm} + Se_{20-40cm}$ Où Se_{0-40cm} est le stock d'eau sur la couche de sol 0-40 cm.

La variation de stock d'eau dans une couche donnée entre l'intervalle de temps t_1 et t_2 est donnée par la relation suivante: $\Delta S = [S_{ez}] * t_2 - [S_{ez}] * t_1$

La réserve utile du sol est déterminée par la formule de [10]: $RU = (H_{cc} - H_{pf4,2}) * da * 0,1$ avec RU la Réserve Utile en mm d'eau/cm d'épaisseur de sol; H_{cc} l'humidité du sol à la capacité au champ (% d'eau par rapport à la terre fine sèche).

$H_{cc} = 0,5H_{pf3} + 12$ avec H_{pf} qui est l'humidité au point de flétrissement.

2.4.2 ESTIMATION DU BILAN HYDRIQUE

Le bilan hydrique du sol a été estimé par la formule $P + I = R + \Delta S + D + ETR$ [19] où P = Précipitation en mm obtenue à partir d'un pluviomètre à lecture directe installé sur le site; I est la hauteur d'eau d'irrigation en mm; D = Drainage en mm; ΔS = Variation du stock d'eau dans le sol en mm; ETR = Evapotranspiration réelle de la culture en mm et R est le Ruissellement qui a été considéré comme nul durant toute la durée de l'expérimentation, vu que l'expérimentation a été réalisée sur un terrain quasi-plat.

2.4.2.1 DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE (ETR)

L'évapotranspiration réelle est estimée par la formule adoptée par [21] cités par [21]. Ainsi $ETR = ETM$ (Evapotranspiration Maximale) quand l'eau disponible dans le sol pour la culture est suffisante; l' ETR est inférieur à l' ETM quand cette eau est en quantité limitée. Pour calculer l' ETR , on suppose que celle-ci est égale à l'évapotranspiration maximale (ETM) jusqu'au moment où la fraction (P) de l'eau totale disponible dans le sol (RU) sur la profondeur d'enracinement (D) est épuisée. Une fois tarie la fraction (P) de l'eau totale disponible dans le sol sur la profondeur d'enracinement (D) soit (RUD), ETR tombe au-dessous de l' ETM jusqu'à l'arrosage suivant ou jusqu'à une forte pluie et est fonction de la quantité d'eau restante dans le sol ($1-p$), du $RU.D$ et de l' ETM .

En se basant sur ces hypothèses nous avons les relations ci-après:

$$ETR = ETM = \frac{-dRt.D}{dt} \text{ si } Rt.D \geq (1-p) RU.D \quad (1)$$

$$ETR = \frac{Rt.D}{(1-p) RU.D} \times ETM = \frac{-dRt.D}{dt} \text{ si } Rt.D \leq (1-p) RU.D \quad (2)$$

Avec $RU.D$ la quantité totale d'eau disponible dans le sol sur la profondeur d'enracinement, $Rt.D$ la quantité totale d'eau disponible dans le sol au moment ' t ' sur la profondeur d'enracinement et P est la fraction de la quantité totale d'eau disponible dans le sol quand $ETR = ETM$. En intégrant l'équation 1 dans Celle 2 nous obtenons;

$$ETR = \frac{RU.D}{t} \left[1 - (1-p)e^{\frac{-ETM.T}{(1-p)RU.D}} + \frac{p}{1-p} \right] \quad (3);$$

Où t' est le temps en jours pendant lequel $ETR = ETM$ et est calculée de la façon suivante: $t' = \frac{p.RU.D}{ETM}$ ETM = évapotranspiration maximale journalière pour la période considérée et ETR = évapotranspiration réelle moyenne en mm par jour sur la période considérée. Ainsi, l' ETR est calculée à partir de l'équation 3 lorsque $t \geq \frac{p.RU.D}{ETM}$ et $ETR = ETM$ quand $t < \frac{p.RU.D}{ETM}$.

Les valeurs de p sont lues dans le tableau 1.

Tableau 1. Coefficient de Tarissement p du gombo

ETM (mm/j)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	0,675	0,575	0,475	0,4	0,35	0,325	0,275	0,25	0,225

Source: FAO (1987)

L'évapotranspiration maximale (ETM) est calculée par la formule suivante énoncée par la FAO (1987): $ETM = K_c \cdot ETP$ avec ETP = évapotranspiration potentielle du milieu d'étude pendant la période culturale et K_c est le coefficient cultural (tableau 2).

Tableau 2. Coefficients culturaux du gombo

Phases phénologiques	Phase initiale	Phase de croissance	Mi-saison	Arrière-saison
K_c	0,45	0,75	1,1	0,8

Source: FAO (1987)

2.4.2.2 CALCUL DU DRAINAGE

Le drainage D a été déterminé à partir de l'équation du bilan hydrique, après avoir calculé tous les autres paramètres. A cet effet, $D = P - ETR - [\Delta S] (0-z)$ avec D = drainage, P = pluviométrie, ETR = évapotranspiration réelle et $[\Delta S] 0-Z$ = variation de stock entre la surface du sol et une profondeur z.

2.5 ANALYSE DES DONNEES

Le tableur Excel a été utilisé pour traiter et analyser les données relatives à la tensiométrie et à l'humidité du sol. Ensuite les résultats ont été convertis sous forme de graphes et tableaux.

3 RESULTATS

3.1 EVOLUTION DES CHARGES HYDRAULIQUES SUIVANT LA DOSE D'IRRIGATION

La figure 1 présente l'évolution des charges hydrauliques sous les régime pluvial et irrigués (D1 et D2) suivant les différentes phases phénologiques. L'analyse de cette figure, révèle une grande fluctuation des charges hydrauliques en régime pluvial. En effet, pendant la période du 4/8 au 1/9 (phase végétative), les charges hydrauliques varient fortement aux profondeurs 20 cm et 40 cm. Au cours de la phase de floraison-fructification (du 1/9 au 6/10), ces charges hydrauliques ont été plus élevées au niveau des parcelles non irriguées aussi bien à 20 cm qu'à 40 cm de profondeur, avec de faibles fluctuations. Les charges hydrauliques baissent progressivement avec des fluctuations faibles (- 3,3 à - 44,55 cm CE) durant la phase de fin fructification (entre 6/10 et 20/10) (figure 1 A).

De faibles variations de charges hydrauliques ont été observées tout au long du cycle (- 17,1 à -190,7 cm CE) sur les parcelles irriguées à 8 mm d'eau (D1) par jour (figure 1 B). De même les valeurs de charges hydrauliques aux profondeurs 20 cm et 40 cm décroissent progressivement pendant la phase végétative (04/08 au 01/09), passant de - 17 et - 34 cm CE au 4/8 à - 40 et - 67 cm CE au 24/8, respectivement aux profondeurs 20 cm et 40 cm. Au-delà du 24/8, les valeurs de charges hydrauliques ont continué à se réduire jusqu'à la date du 22/9, où il est observé une plus faible valeur notamment à la profondeur 40 cm (-435,08 cm CE).

Sur les parcelles irriguées à 4 mm d'eau par jour (D2), Les charges hydrauliques observées dans la période de 4/8 au 1/9 (phase de croissance végétative) ont été les plus fortes (-22,7 à -29,78 cm CE) à la profondeur 20 cm, mais les plus faibles (-22,7 à -53,9 cm CE) à la profondeur de 40 cm, traduisant de faible développement racinaire des plants au-delà de 20 cm de profondeur. Entre le 1/9 et le 6/10, il est noté une grande variation des charges hydrauliques à 20 cm et 40.

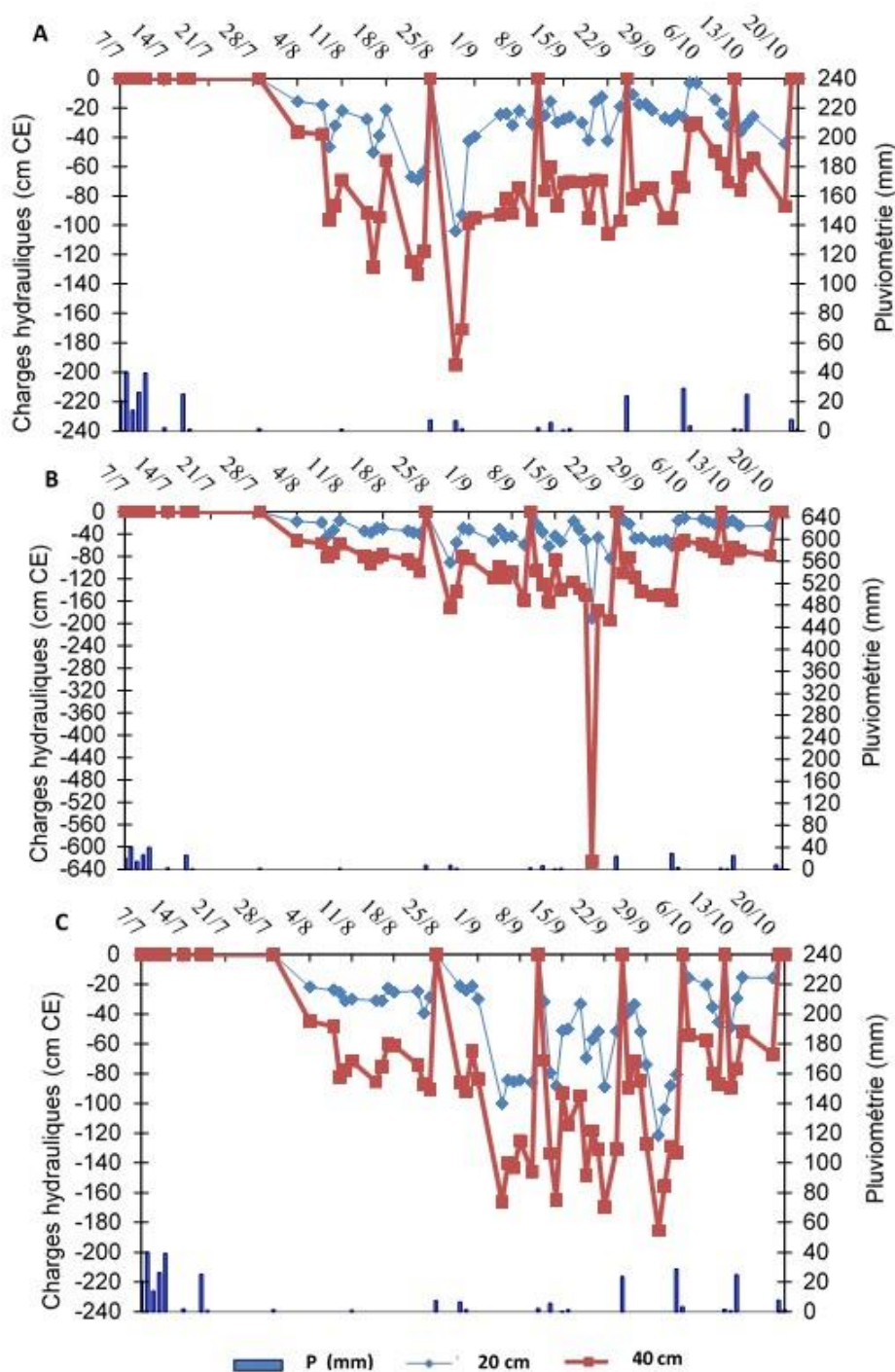


Fig. 1. Evolution des charges hydrauliques du sol sur les parcelles sous régime pluvial (A) et les parcelles irriguées aux doses D1 (B) et D2 (C)

3.2 EVOLUTION DES GRADIENTS DE CHARGES HYDRAULIQUES SUIVANT LA DOSE D'IRRIGATION

L'évolution des gradients de charges à 30 cm de profondeur, suivant la dose d'irrigation est présentée par la figure 2. De l'analyse de cette figure, il ressort que sous le régime pluvial, les valeurs du gradient de charges ont été négatives tout au long du cycle cultural, sauf entre le 25/8 et le 1/9, où des valeurs positives ont été enregistrées (Figure 4 A). Les gradients de charge observés sur les parcelles soumises à la dose d'irrigation D1 = 8 mm d'eau par jour ont été négatifs sur toute la durée du cycle cultural (Figure 4 B). Sur les parcelles soumises à la dose d'irrigation D2= 4 mm d'eau par jour, les gradients de charges ont été négatifs entre le 4/8 et le 1/9, puis entre le 17/10 et le 20/10, ce qui traduit un drainage de l'eau pendant cette période végétative ou le système racinaire est en installation (Figure 4 C).

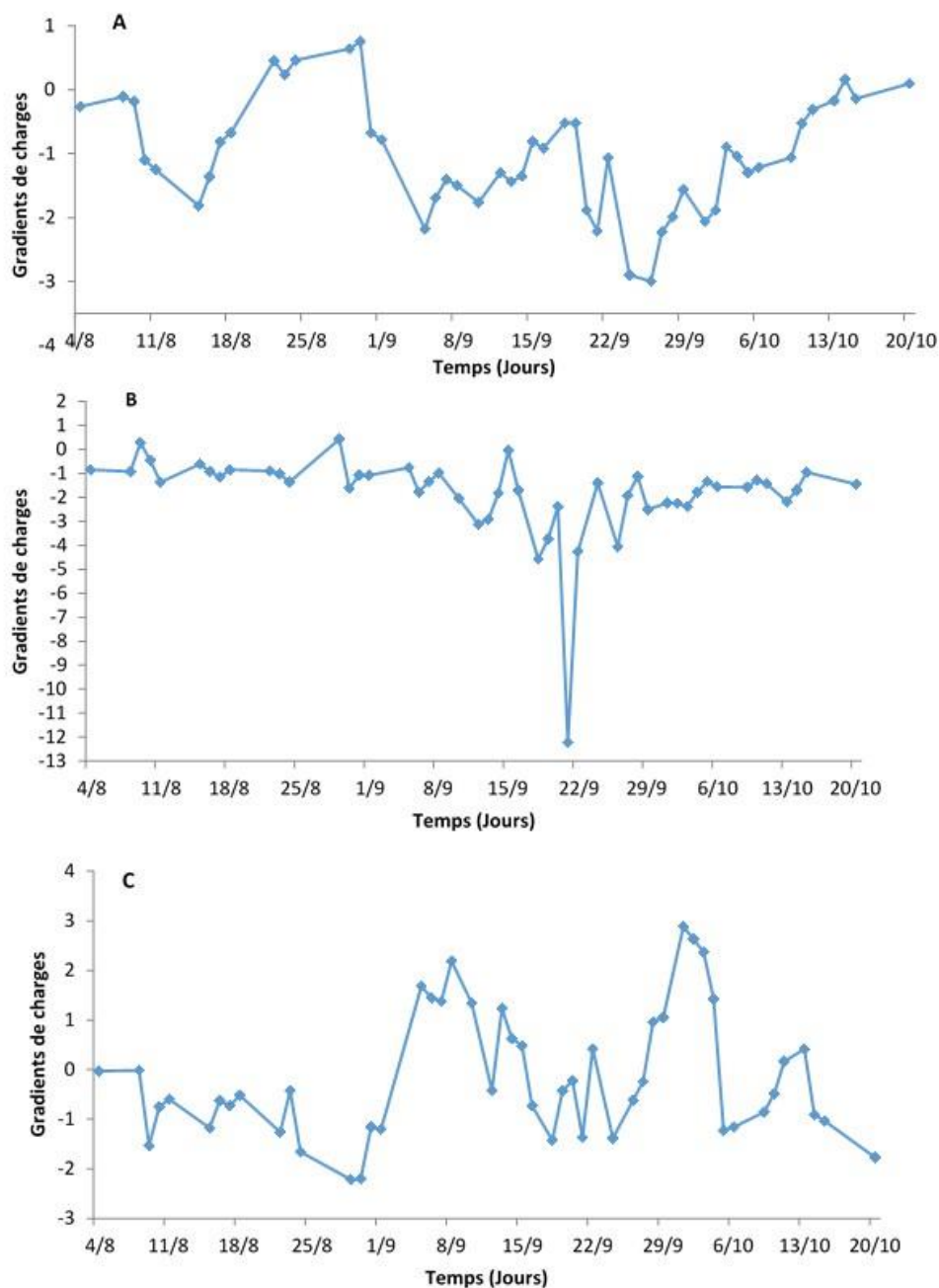


Fig. 2. Evolution des gradients de charges à 30 cm de profondeur sur les parcelles sous régime pluvial (A) et les parcelles irriguées aux doses D1 (B) et D2 (C)

3.3 EVOLUTION DES STOCKS D'EAU DU SOL SUIVANT LA DOSE D'IRRIGATION

La figure 3 présente l'évolution des stocks d'eau au cours du cycle cultural sous les différentes doses d'irrigation. L'analyse de cette figure révèle une augmentation globale du stock d'eau du sol avec la profondeur, quelque soit la dose d'irrigation. Toutefois de fortes variations des stocks d'eau sont observées sur les parcelles sous régime pluvial. A cet effet, on note une baisse relative des stocks d'eau du 4/8 au 6/9, traduisant une réduction progressive de la teneur en eau du sol, sur les parcelles non irriguées, sous l'influence de la demande évaporatoire et de la forte consommation en eau des plants. De plus les différences entre les stocks d'eau d'une profondeur à une autre sont très nettes durant cette période. Au-delà du 6/10, on note une élévation des stocks d'eau notamment sur les parcelles non irriguées, sous l'influence des fortes pluies observées en fin d'essais (figure 3 A). Sur les parcelles irriguées, les stocks d'eau à 60 cm de profondeur sont demeurés nettement plus élevés qu'en surface (figures 3 B et 3 C), indiquant le drainage des eaux de la surface en profondeur.

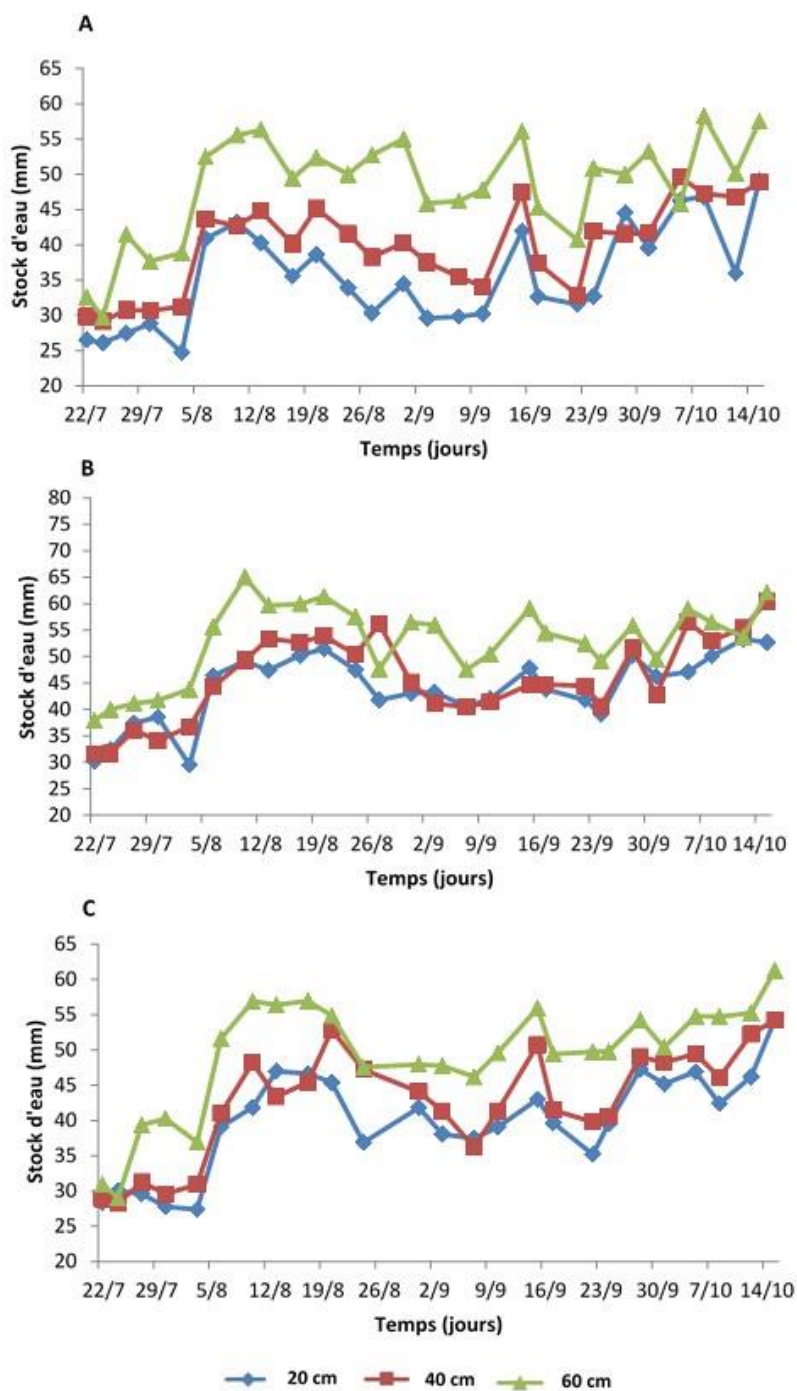


Fig. 3. Evolution des stocks d'eau sur les parcelles sous régime pluvial (A) et les parcelles irriguées aux doses D1 (B) et D2 (C)

3.4 EVOLUTION DU PROFIL HYDRIQUE DU SOL SUIVANT LA DOSE D'IRRIGATION

La figure 4 présente le profil hydrique du sol suivant la dose d'irrigation. De l'analyse de cette figure, on note en régime pluvial, une variation importante de l'humidité volumique du sol sur la tranche 20-40 cm, surtout pendant les phases végétatives et de floraison-fructification où on a une forte consommation en eau des plants (figure 4 A). Sur les parcelles soumises aux doses d'irrigation D1 et D2, on note une forte variation des humidités volumiques à la profondeur de 40 cm, mais elles sont plus resserrées à 60 cm. Ceci traduit une variation beaucoup plus importante de l'humidité en surface qu'en profondeur (figure 4 B et 4 C).

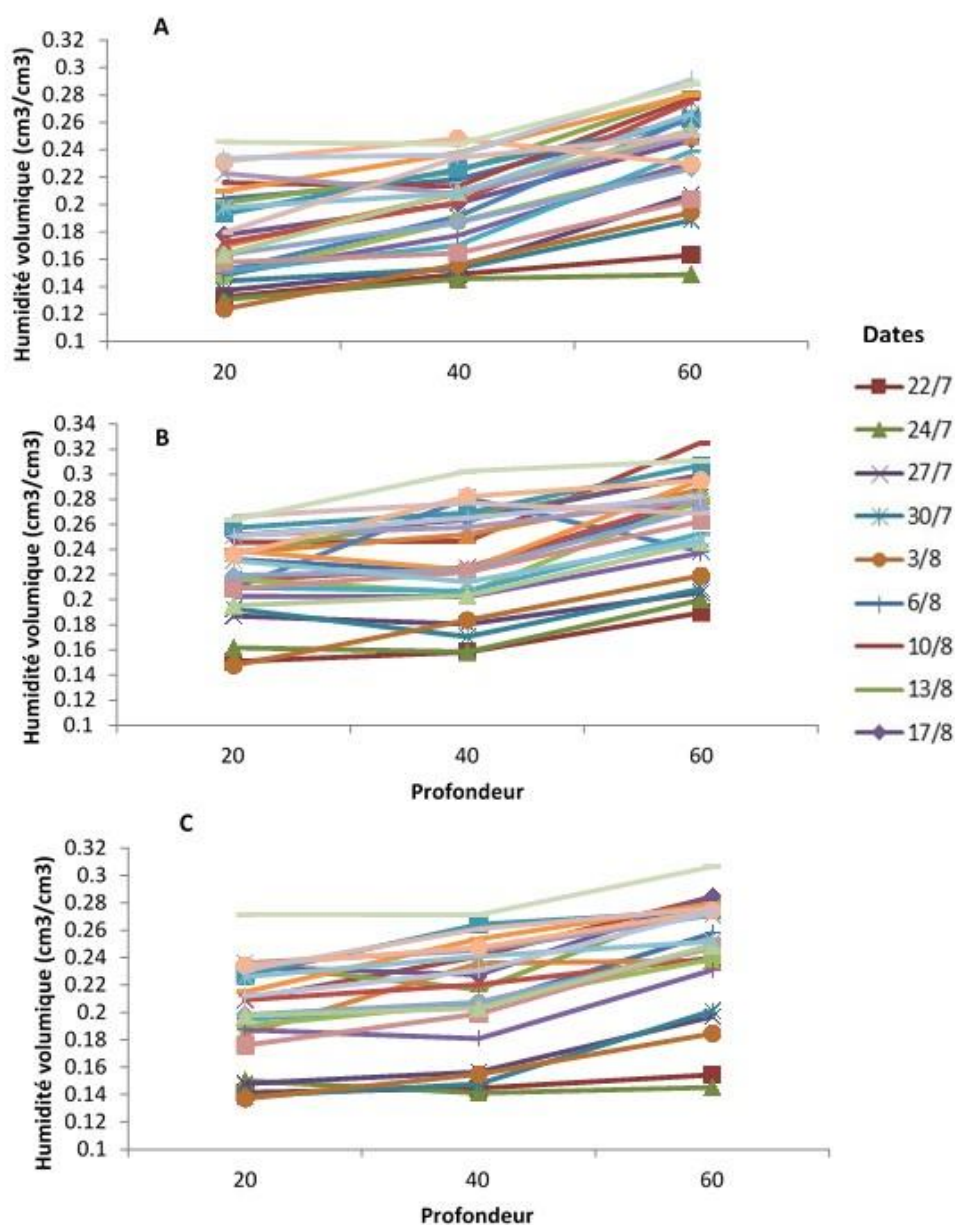


Fig. 4. Evolution du profil hydrique sur les parcelles sous régime pluvial (A) et les parcelles irriguées aux doses D1 (B) et D2 (C)

3.5 ESTIMATION DE LA CONSOMMATION EN EAU DES PLANTS SUIVANT LA DOSE D'IRRIGATION

La période couverte par le calcul du bilan hydrique est celle du 7/7 au 23/10 et comprend trois phases phénologiques. Il s'agit de la phase de croissance végétative (du 21/07 au 08/09), de la phase de floraison-fructification (du 08/09 au 13/10) et de la phase de fin fructification (du 13/10 au 20/10). Le tableau 3, présentent les valeurs des consommations en eau du gombo pendant les phases de végétation, de floraison-fructification et de fin fructification respectivement sur les parcelles sous régime pluvial et irriguées aux doses D1 et D2. L'analyse de ce tableau révèle que les besoins en eau des plants ont été satisfaits à la phase de fin fructification ($ETR/ETM = 1$), quelque soit la dose d'irrigation. Les plants ont été soumis au déficit hydrique (rapports $ETR/ETM < 1$) pendant les phases végétatives et de floraison - fructification et ce de façon plus prononcée sous la dose D0, suivie des doses D2 et D1. A cet effet, les rapports ETR/ETM obtenus au cours des phases végétatives et de floraison - fructification sont de 0,38 et 0,37; 0,43 et 0,41 puis 0,47 et 0,43 respectivement sous les doses D0, D2 et D1. Le nombre de jours (t') pendant lesquels les besoins en eau des plants ont été satisfaits représente respectivement 23% et 17% de la durée totale des phases végétatives et de floraison-fructification. Il augmente avec la dose d'irrigation Ainsi, on note que sous les doses D0 à D1, le nombre de jours t' passe de 11 à 14; 6 à 7 et 12 à 13, respectivement au cours des phases végétatives, de floraison- fructification et de fin fructification.

Tableau 3. Consommation en eau du gombo suivant la dose d'irrigation et les différentes phases

Phases Phénologiques	Dose D0 (Régime pluvial)			Dose D1			Dose D2		
	Phase végétative	Phase de Floraison et formation des fruits	Phase de fin fructification	Phase végétative	Phase de Floraison et formation des fruits	Phase de fin fructification	Phase végétative	Phase de Floraison et formation des fruits	Phase de fin fructification
Durée phase t (jours)	48	35	7	48	35	7	48	35	7
ETP (mm)	179,07	143,35	29,87	179,07	143,35	29,87	179,07	143,35	29,87
Kc	0,75	1,1	0,8	0,75	1,1	0,8	0,75	1,1	0,8
ETM (mm)	134,30	157,69	23,90	134,30	157,69	23,90	134,30	157,69	23,90
ETM/j (mm) /j	2,80	4,51	3,41	2,80	4,51	3,41	2,80	4,51	3,41
P	0,62	0,45	0,54	0,62	0,45	0,54	0,62	0,45	0,54
RUD (mm)	51,38	59,26	73,54	63,84	69,92	82,97	58,12	65,39	81,45
P x RUD (mm)	31,86	26,67	39,71	39,58	31,47	44,81	36,03	29,43	43,98
t' (jours)	11	6	12	14	7	13	13	7	13
ETR/J (mm/J)	1,07	1,68	3,41	1,32	1,96	3,41	1,21	1,84	3,41
ETR (mm)	51,28	58,67	23,90	63,35	68,48	23,90	57,86	64,38	23,90
ETR/ETM	0,38	0,37	1	0,47	0,43	1	0,43	0,41	1

ETM = évapotranspiration maximale, ETP = évapotranspiration potentielle, ETR = évapotranspiration réelle, P = pluviométrie, RUD = Eau totale disponible dans le sol sur la profondeur d'enracinement D, D0 = 0 mm/jour, D1 = 8 mm/jour et D2 = 4 mm/jour.

3.6 EVALUATION DU DRAINAGE

Les évolutions du drainage suivant chaque phase phénologique et la dose d'irrigation sont présentées dans le tableau 2. Sous régime pluvial, le drainage est positif au cours de la phase végétative (0,56 mm / jour chez) et négatif pour les autres phases. Ces valeurs négatives observées sont imputables à la remontée capillaire déjà révélée plus haut par les gradients de charges hydrauliques qui présentent des valeurs positives sur ces périodes. Sur les parcelles irriguées aux doses D1 et D2, le drainage a été positif durant toutes les phases phénologiques. La moyenne journalière de drainage est plus élevée sous la dose D1 que sous la dose D2, quelque que soit le stade phénologique, Ainsi, les quantités moyennes d'eau drainée par jour sous les doses D1 et D2 sont estimées à 5,65 et 2,61; 6,18 et 3,11 et 7,34 et 3,06 mm respectivement au cours des phases végétatives, de floraison-fructification et de fin-fructification.

Tableau 4. Evaluation du drainage suivant les différentes phases phénologiques et la dose d'irrigation

Dose irrigation	Phases Phénologiques	Durée phase t (jours)	Pluie (mm)	ETR (mm)	ΔS (mm)	Drainage (mm)
Dose D0: Régime pluvial	Phase végétative	48	102,3	69,21	6,10	27,02
	Phase de floraison et formation des fruits	35	67	77,47	12,06	-22,53
	Phase de fin fructification	7	24,7	12,19	14,19	-1,68
Dose D1	Phase végétative	48	17,6	83,05	14,82	271,53
	Phase de floraison et formation des fruits	35	67	88,21	18,30	216,35
	Phase de fin fructification	7	24,7	23,90	1,99	51,39
Dose D2	Phase végétative	48	17,6	77,41	12,79	125,56
	Phase de floraison et formation des fruits	35	67	84,06	12,57	108,73
	Phase de fin fructification	7	24,7	23,90	9,15	21,43

ETR = évapotranspiration réelle, D0 = 0 mm/jour, D1 = 8 mm/jour et D2 = 4 mm/jour, ΔS = variation de stock.

4 DISCUSSION

L'étude de la consommation en eau du gombo sur un sol ferrallitique a révélé une grande variation des charges hydrauliques sous le régime pluvial, pendant la phase végétative. Cette variation est imputable d'une part au régime hydrique caractérisé par de faibles niveaux de précipitation à cette période et d'autre part à l'évaporation engendrée par la faible couverture du sol et la perte par percolation facilitée par le faible développement racinaire. En phase de floraison-fructification, ces charges sont également élevées avec de faibles fluctuations aussi bien à 20 cm qu'à 40 cm de profondeur. Les valeurs élevées de charges hydriques à 20 cm pendant cette période seraient dues aux faibles pluies enregistrées, et à la forte consommation d'eau par les plants dont les racines sont prédominantes à 20 cm de profondeur. L'accroissement des charges hydrauliques en absence des pluies a été observé par plusieurs auteurs sur sol ferrallitique [9], [22], [23], [24], [25]. Lors de la phase de fin fructification, les charges hydrauliques ont connu une baisse progressive qui s'expliquerait par la faible consommation en eau des plants pendant cette phase de fin fructification où les besoins sont faibles et aux précipitations enregistrées vers la fin de la période d'essai. Sur les parcelles irriguées à 8 mm d'eau par jour, les valeurs de charges hydrauliques observées aux profondeurs 20 et 40 cm

décroissent progressivement pendant la phase végétative, ce qui s'expliquerait par une élévation progressive de la teneur en eau du sol sur les parcelles soumises à la dose d'irrigation D1. Ces charges hydrauliques prennent de faibles valeurs vers la fin de la phase végétative, surtout à la profondeur de 40 cm. Ces faibles valeurs pourraient s'expliquer par la saturation du sol aux profondeurs 20 cm et 40 cm, sous l'effet de la dose d'irrigation de 8 mm d'eau par jour. Cette dose d'irrigation semble alors trop élevée pour cette variété. Sous la dose d'irrigation de 4 mm par jour, les charges hydrauliques sont faibles surtout à 40 cm de profondeur avec de grandes variations à 20 et 40 cm. Cette fluctuation de charges hydrauliques pendant cette période est imputable à la forte consommation en eau de la plante en phase de floraison et de fructification. Les valeurs élevées des charges hydrauliques observées à 20 cm en fin d'essai peuvent se justifier par une demande évaporatoire élevée et les faibles valeurs en profondeur, traduisant le faible développement racinaire des plants au-delà de 20 cm de profondeur. Les faibles valeurs de charges hydrauliques sous régime pluvial sont confirmées par les valeurs négatives du gradient de charges à 30 cm de profondeur tout au long du cycle cultural. Ce qui traduit un drainage d'eau à 30 cm de profondeur; exceptés quelques jours pluvieux où le gradient de charges prend des valeurs positives. Les racines n'arrivent donc pas à extraire de façon efficiente l'eau se trouvant à 30 cm de profondeur. Les gradients de charge observés ont été également négatifs tout au long de l'expérience, sur les parcelles irriguées à 8 mm d'eau par jour. Ces gradients indiquent un drainage presque permanent dû à la dose d'arrosage. Cela pourrait signifier aussi que les apports (notamment 8 mm d'eau par jour) sont trop élevés pour cette variété et donc peu économiques. Des résultats similaires ont été obtenus par [25] sur la tomate qui a trouvé que la dose d'irrigation de 11 mm sur des planches de 3,5 x 1,2 m² était très élevée. De même, [26] trouve que des fortes doses d'irrigation à des fréquences faibles sur des sols à faibles réserves utiles ont engendré de fortes pertes par percolation. Sous la dose d'irrigation de 4 mm par jour, la forte variation des gradients de charges au cours des phases de floraison-fructification et de fin fructification, avec des valeurs positives mettent en exergue une sollicitation intense des ressources en eau du sol et la contribution de l'horizon 20- 40 cm par remontée capillaire d'eau pour alimenter les plants.

La teneur en eau du sol a augmenté avec la profondeur sur tout le cycle cultural du gombo. Cela pourrait s'expliquer par la teneur élevée en argile du sol en profondeur. Des stocks d'eau élevés en profondeur ont été déjà observés sur le même site d'Agonkanmey par [25] sous culture de la tomate, par [27] sous culture du maïs, de même que par [28] sous culture du maïs, sur les terres de barre du Togo. Les stocks d'eau en profondeur sont plus importants qu'en surface également sous irrigation à 8 mm d'eau par jour. Ceci se justifie par le drainage des eaux de la surface en profondeur. Les valeurs prises sont plus élevées et la variation est aussi plus faible, surtout pour les profondeurs 20 et 40 cm; ce qui traduit une réalimentation permanente des différents horizons. Avec 4 mm d'eau par jour, les variations sont plus prononcées surtout aux horizons inférieurs; traduisant un prélèvement constant d'eau par les plantes dont les racines occupent les premières couches du sol. Aussi est observé sous le régime pluvial, une variation importante de l'humidité volumique surtout pendant les phases végétatives et de floraison-fructification. Ainsi, pour une même date, on note en général une augmentation de l'humidité volumique de la surface en profondeur traduisant le drainage presque permanent déjà révélé par les gradients de charges négatifs, et une faible variation de l'humidité volumique à la profondeur de 60 cm due aux taux élevés d'argile à cette profondeur selon les travaux de [27]. Soumis à 8 mm d'eau d'arrosage par jour, les plants présentent une forte variation des humidités volumiques à la profondeur de 40 cm mais elles sont plus resserrées à 60 cm. Cela montre une variation beaucoup plus importante de l'humidité en surface qu'en profondeur. Le resserrement des profils d'humidité à 60 cm traduit les faibles variations des teneurs en eau en profondeur, conséquence de la rareté des racines à cette profondeur et du drainage des eaux des couches supérieures saturant le profil à la base [28]. Toutefois, les valeurs d'humidité relativement élevées à la profondeur de 40cm traduisent une accumulation d'eau à cette profondeur signe de la présence d'argile dans cette couche de sol. Cette forte variation des humidités volumiques à la profondeur de 40 cm est également observée au niveau des plants soumis à 4mm d'eau d'arrosage journalier mais elles sont plus resserrées à 60 cm. Cela montre une variation beaucoup plus importante de l'humidité en surface qu'en profondeur. Le resserrement des profils d'humidité à 60cm sous ce régime d'irrigation traduit les faibles variations des teneurs en eau en profondeur, conséquence du drainage des couches supérieures saturant le profil à la base. La forte variation des humidités volumiques à la profondeur de 40 cm traduit une forte consommation d'eau par les plants dont les racines sont abondantes à cette profondeur [29].

Le nombre de jours pendant lesquels les besoins en eau des plants ont été satisfaits représentent respectivement 23% et 17% de la durée totale des phases végétatives, et de floraison-fructification. Ceci traduit que le déficit hydrique est plus prononcé pendant la phase de floraison-fructification et plus faible voire inexistant au cours de la phase de fin-fructification sous régime pluvial. Ce nombre de jours au cours desquels les besoins en eau des plants ont été satisfaits augmente avec la dose d'irrigation. Les résultats obtenus indiquent que le stress hydrique sur le gombo pendant la phase de floraison-fructification et de végétation est susceptible de provoquer une réduction du rendement.

5 CONCLUSION

L'étude de la consommation en eau du gombo sur sol ferrallitique au sud-Bénin a révélé que la phase de floraison-fructification est la phase la plus critique au stress hydrique pour la variété étudiée. Des apports d'appoint d'eau à doses et à fréquences déterminées sont nécessaires pour améliorer l'alimentation hydrique en régime pluvial. La dose de 8 mm/jour est la dose d'irrigation qu'on pourrait conseiller dans les conditions agro-pédologiques similaires aux nôtres et de disponibilité en eau. Par contre, la dose d'irrigation 4 mm/jour peut être appliquée en cas de rareté des pluies.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Programme Cultures maraîchères pour son appui matériel dans le cadre de ce travail.

REFERENCES

- [1] FAO, Statistique de production agricole, 2020. [en line] disponible: faostat@fao.org (02 septembre, 2020).
- [2] S. Hamon et A. Charrier: Les gombos. L'Amélioration des Plantes Tropicales. Coédition CIRAD–ORSTOM, France, 1997.
- [3] PNUD, Rapport national sur le développement humain, 2015. Agriculture, Sécurité alimentaire et Développement humain au Bénin, 144 p.
- [4] S. Hamon, Organisation évolutive du genre *Abelmoschus* (gombo). Coadaptation et évolution de deux espèces de gombo cultivées en Afrique de l'Ouest, *A. esculentus* et *A. caillei*. Paris: ORSTOM, Travaux et documents microédités 46, 191 p, 1988.
- [5] Z.A. Ouédraogo. Caractérisation agromorphologique comparée de cinq variétés de Gombo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en développement rural. Université Polytechnique de Bobo-dioulasso, 61 p, 2009.
- [6] L. Fondio, H.A Djidji, C. Kouame et D.Traore, "Effet de la date de semis sur la production du gombo (*Abelmoschus* spp.) dans le centre de la cote d'ivoire", *Int. J. Biol. Chem.*, vol. 5, no. 3, pp. 1178-1189, 2011.
- [7] C. Marius, V. Gerard et G. Antoine, "Le gombo, *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench, une source possible de phospholipides". *Agronomie et Biotechnologies, Oléagineux, corps gras, lipides*, vol. 4, no. 5, pp. 389-392, 2011.
- [8] J.S. Siemonsma et C. Kouamé, *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. [Internet] Record from PROTA4U. G.J.H. Grubben and O.A. Denton (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands, 2004.
- [9] K.E. Agbossou, "Etude de la consommation en eau de la canne à sucre sur le complexe sucrier de Savè au Bénin: Contribution à l'amélioration de l'utilisation de l'irrigation", Thèse de doctorat de l'ENGREF centre de Montpellier, France, 115p, 1994.
- [10] N. Aho et D.K. Kossou, "Précis d'Agriculture Tropicale: bases et éléments d'applications Ed Flamboyant, Cotonou Bénin 464p, 1997.
- [11] K.E. Agbossou et L. Sintondji, "Impact du paillage de *Senna siamea* sur le bilan hydrique et la productivité en maïs sur un sol ferrallitique". *Annales et sciences Agronomiques du Bénin*, vol. 2, no. 1, pp. 1-22, 2000.
- [12] C. Toukon, Caractérisation de la variabilité du régime hydrologique Ouest-africain et ses impacts sur la production vivrière. Cas du maïs (*Zea mays* L) au Bénin, 11-19pp, 2001.
- [13] L. Sintondji, G. Thomas, H. Claudia, G. Simone, D. Bernd, E. Andreas et G. Heiner, Scénarios futurs et leurs impacts sur la sécurité alimentaire et sur les ressources naturelles au Bénin, 2009.
- [14] M. Sawadogo, Z. Gérard et B. Didier, Expression de différents écotypes de gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) au déficit hydrique intervenant pendant la boutonnisation et la floraison, 10 (1) 2005.
- [15] A. Musy et M. Soutter, *Physique du sol*, 1ère Ed. Presses Polytechnique et universitaire Romandes, Centre Midi, CH-10-15 Lausanne-suisse, 335p, 1991.
- [16] D. Soltner, *Les Bases de la production végétale le sol-le climat-la plante Tome1-le sol*, 14ème Ed. 463p. France, 1989.
- [17] R. Kabalan, *Consommation en eau et productivité d'une culture du soja à la bekaa*, INRA, 1998, 30 p.
- [18] C.K. Agossa, Contrôle du ruissellement et de l'érosion par l'amélioration des techniques de lutte anti-érosive dans le bassin versant de DRA, commune de DJIDJA, Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Thèse d'Ingénieur Agronome, 2005, 87 p.
- [19] D. Hillel, *L'eau et le sol, Principes et processus physiques*, Accadémie press, New- York, 1974.
- [20] P.E. Rijtema et A. Aboukhaled, *Crop Water use. In research on crop Water use, salt affected soils and drainage in the Arab Republic of Egypt* FAO regional office for the near East p 5-61, 1975.
- [21] FAO, Réponse des rendements à l'eau. Bulletin d'irrigation et de drainage n° 33. FAO, Rome 235p, 1987.
- [22] L. Sintondji, Impact du paillage d'un sol ferrallitique avec *Senna Siamea* sur le bilan hydrique et sur l'efficacité de l'engrais minéral NPK 14-23-14. Thèse d'ingénieur, 108p, 1998.
- [23] G.S. Amoussou, Influence du système cultural sur le bilan hydrique et la charge en nitrate sur sol ferrallitique au Sud – Bénin. Cas de l'association Citrus- Niébé thèse d'ingénieur, 74p, 2001.
- [24] E. Attakin, Etude de la consommation en eau de l'ananas sur un sol ferrallitique au Sud du Bénin. Thèse d'ingénieur Agronome et Gestion d'environnement (AGE). pp 20-70, 2001.
- [25] E. Newman, Etude de la consommation en eau de la tomate (*lycopersycum esculentus*) sur sol ferrallitique au Sud – Bénin. Thèse d'ingénieur Agronome 91p, 2002.
- [26] CTIFL, *Maitrise de l'irrigation fertilisante de la tomate sous serre et abris*. Les éditions INRA, 220p, 1994.
- [27] H.A. Azontondé, Dynamique de la matière organique et de l'Azote dans le système *Mucuna*-maïs sur un sol ferrallitique (Terres de Barre) Au Sud du Bénin, 144p, 2000.
- [28] R. Poss, Transfert de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de barre du Togo, Conséquences agronomiques. Thèse de doctorat, 335p, 1991.
- [29] M.M. Hanafi, S.M. Shahidullah, M. Niazuddin, Z. Abd Aziz et C.H. Mohammud, Crop water requirement at different growing stages of pineapple in BRIS soil, *Journal of Food, Agriculture and Environment*, vol. 8, no. 2, pp. 914 – 918, 2010.