

PERFORMANCE DES PERIMETRES HYDROAGRIQUES : CAS DU PERIMETRE RIZICOLE IRRIGUE DE NANAN (YAMOISSOUKRO, COTE D'IVOIRE)

K. J. Y. N'GUESSAN¹, B. ADAHI^{2*}, M. J. M. YESSOH³, A. B. KONAN-WAIDHET⁴, H. SUGIYAMA⁵,
N. E. ASSIDJO⁶

¹⁻⁴ Université Jean Lorougnon Guédé ; Unité de Formation et de Recherche Environnement (UFR-ENV) ; Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) ; BP 150 Daloa ; Tel : (+225) 32 78 75 83 ; Côte d'Ivoire. konan.jeanyves@ujlg.edu.ci, konanwaidhet@ujlg.edu.ci

²⁻³ Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) ; Département de Formation et de Recherche du Génie Rural et Sciences Géographiques (DFR-GRSG) ; BP 1093 Yamoussoukro ;

Tel : (+225) 30 64 66 66 ; Côte d'Ivoire. botou.adahi@inphb.ci, mboua.yessoh@inphb.ci

⁵ Japan International Cooperation Agency (JICA) ; 3-6, Koyadai, Tsukuba, Ibaraki 305-0074 ;

Tel: +81298381724 ; Fax : +81298381776 ; Japon. sugiyama-hironobu@jica.go.jp

⁶ Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) ; Département de Formation et de Recherche du Génie Chimique et Agro-alimentaire (DFR-GCA) ; Laboratoire de Modélisation, de l'Information et des Processus (LMIP), BP 1093 Yamoussoukro ; Tel : (+225) 30 64 66 66 ; Côte d'Ivoire. nogbou.assidjo@inphb.ci

RESUME

En vue de déceler les problèmes qui entravent la productivité d'un aménagement irrigué, une évaluation de la performance du périmètre rizicole de Nanan, en Côte d'Ivoire a été effectuée. La méthodologie adoptée a été de déterminer ces indicateurs de performance des systèmes irrigués, que sont l'efficacité d'irrigation et la productivité de l'eau. Le travail a essentiellement consisté en des mesures hydrauliques dans les canaux du périmètre. L'ETM a été déterminée à l'aide des logiciels Climwat 2.0 et Cropwat 8.0 de la FAO. L'efficacité globale de l'irrigation du périmètre de l'ordre de 35 % est faible. L'efficacité de transport de 81,5 % dissimule d'importantes faiblesses, principalement le manque d'entretien du canal principal. Quant à l'efficacité d'application à la parcelle, elle est de 42,3 % et induit des pertes en eau de 57,7 %. Cela est majoritairement dû au faible niveau de formation du riziculteur concernant les techniques d'irrigation et à la mauvaise planification de l'irrigation sur le site. On observe une productivité de l'eau de 0,42 kg/m³ de paddy, en dessous des valeurs conseillées (0,6 kg/m³) et qui est essentiellement due à une gestion inappropriée de l'irrigation sur le périmètre. Les résultats obtenus révèlent donc une faible performance du périmètre rizicole irrigué de Nanan. Des mesures immédiates et durables doivent être prises par les décideurs, telles qu'une réhabilitation complète du réseau d'irrigation et un renforcement des capacités des riziculteurs quant à la pratique de l'irrigation du riz.

Mots clés : périmètre rizicole, irrigation, efficacité d'irrigation, productivité de l'eau

ABSTRACT

PERFORMANCE OF THE IRRIGATED SYSTEMS: CASE OF THE NANAN IRRIGATED PADDY FIELDS (YAMOISSOUKRO, CÔTE D'IVOIRE)

To identify problems that hinder the productivity of an irrigated system, an evaluation of the performance of the Nanan irrigated paddy fields in Cote d'Ivoire was carried out. The methodology adopted was to determine these performance indicators for irrigated systems, such as irrigation efficiency and water productivity. The field study mainly consisted of hydraulic measurements in the irrigation network. The maximum evapotranspiration (MET) was determined using FAO's Climwat 2.0 and Cropwat 8.0 softwares. The overall irrigation efficiency in Nanan paddy fields which is 35%, is low. The 81.5% transport efficiency hides significant weaknesses, mainly the lack of maintenance of the main canal.

As for the efficiency of water application into the plot, it is 42.3% that indicates a water loss percentage of 57.7%. This is mainly due to the lack of training of the rice farmers in irrigation techniques and poor irrigation planning on the site. Water productivity of 0.42 kg/m³ of paddy rice, which stands below the recommended values (0.6 kg/m³), is mainly due to inadequate irrigation management on the paddy fields. The results obtained therefore reveal a poor performance of the irrigated paddy fields of Nanan. Immediate and sustainable measures must be taken by decision-makers, such as a complete rehabilitation of the irrigation network and capacity building towards the rice farmers dealing with water management on irrigated paddy fields.

Keywords: irrigated paddy fields, irrigation, irrigation efficiency, water productivity

INTRODUCTION

De nos jours, les incertitudes de plus en plus fortes, liées notamment au changement climatique concernant la disponibilité des ressources en eau, ont ramené la question de l'eau agricole parmi les priorités inscrites à l'agenda des acteurs du développement (Troy, 2013). Pour répondre à la forte sensibilité climatique de la plupart des systèmes d'exploitation agricoles en Afrique de l'Ouest, l'irrigation reste une composante indispensable dans la stratégie globale d'accroissement de la production agricole (Ballo, 2010). Ainsi, accroître cette production, passe nécessairement par une utilisation plus rationnelle de la ressource en eau qui reste fortement favorisée par l'aménagement des terres. L'utilisation adéquate de la quantité d'eau optimale renvoie à la notion de gestion de l'eau de manière générale et de l'eau d'irrigation en particulier.

Dans les années 1970 et 1980, la Côte d'Ivoire, qui décide d'adresser les questions d'autosuffisance et de sécurité alimentaires, a entrepris une diversification agricole tournée vers la production vivrière, elle-même axée sur la riziculture irriguée. Des périmètres rizières irrigués furent alors réalisés dans les parties Sud, centre et nord du pays (Brou *et al.*, 2005). Ainsi, dans le centre de la Côte d'Ivoire, une dizaine de périmètres, avec barrages hydro-agricoles, ceinturant la ville de Yamoussoukro furent réalisés. L'objectif étant d'accroître sur ces espaces agricoles aménagés pour les besoins de l'irrigation gravitaire, le rendement à l'hectare du riz. En effet, le riz irrigué produit en moyenne sept à dix fois plus que le riz pluvial (Bouet *et al.*, 2005 ; FAO, 2010). Mais, au fil des années, l'espoir suscité par ces aménagements a vite fait place à la désillusion : le rendement espéré est rarement atteint. De plus, la situation se trouve maintenant exacerbée avec le changement climatique hypothéquant les ressources en eau et biaisant toutes prévisions

hydriques, et aussi avec la surpopulation qui a pour effet d'accroître la demande en eau et l'accroissement continu des besoins nationaux en riz. En effet, du fait de l'urbanisation et de son accroissement rapide, le riz est devenu l'aliment principal de la population ivoirienne (N'garesseum, 2010 ; FAO, 2014) avec une consommation annuelle par habitant estimée entre 63 kg et 68,5 kg en 2009 (FAO, 2013). Une conséquence directe reste la reprise des importations massives de riz, qu'il faut forcément juguler. Les voies pour y parvenir, restent inéluctablement, une gestion optimale assortie de la productivité de l'eau sur les périmètres rizières aménagés.

Le périmètre de Nanan va servir de terrain à la présente étude sur la gestion de l'eau pratiquée sur les aménagements rizières irrigués en aval des barrages dans la région centre du pays. Pour rappel, l'aménagement du périmètre rizicole irrigué de Nanan (Yamoussoukro, Côte d'Ivoire) a été réhabilité en 1997, dans le cadre du Programme de Développement de la Riziculture Irriguée (PDRI) mis en œuvre par l'Etat ivoirien. Malheureusement, à l'instar de la plupart des aménagements hydro-agricoles de la région centre du pays, ce périmètre ne donne pas satisfaction en termes de rendement à l'hectare depuis quelques années. Ce qui pose le problème de sa performance et de sa productivité. Il s'avère donc nécessaire de s'interroger d'une part, sur les pertes d'eau occasionnées au cours de son usage et d'autre part, sur les bénéfices de production qui en résultent. D'où l'intérêt suscité par cette étude, qui devrait orienter les décideurs et les irrigants, à mettre en place des stratégies appropriées de gestion durable de l'eau d'irrigation. Ce qui permettrait une amélioration de la performance des périmètres rizières irrigués dans le centre de la Côte d'Ivoire où les conditions climatiques semblent spatialement communes.

En s'alignant sur le présent thème de recherche, l'objectif principal dans cette étude est d'évaluer

la performance du périmètre rizicole irrigué de Nanan.

En termes d'objectifs spécifiques, l'étude devrait permettre de préalablement rechercher et de déterminer l'efficacité de l'irrigation et la productivité de l'eau qui sont des indicateurs importants de l'atteinte de l'objectif principal relativement aux systèmes irrigués. L'efficacité et la productivité de l'eau sont généralement utilisées dans de nombreuses disciplines scientifiques, notamment le domaine de l'irrigation, comme moyens de jugement de son efficacité.

MATERIEL ET METHODES

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le périmètre rizicole aménagé de Nanan se situe, à l'entrée de la ville de Yamoussoukro, capitale politique et administrative de la Côte d'Ivoire, en venant de la capitale économique Abidjan. Les coordonnées géographiques du périmètre sont 5°14' de longitude Ouest et 6°47' de latitude Nord et sa superficie aménagée est d'environ 33 hectares (Figure 1). Du point de vue climatique, Yamoussoukro se trouve dans un climat tropical humide, caractérisé par quatre saisons dont deux saisons sèches et deux saisons des pluies. Les hauteurs pluviométriques annuelles varient de 900 à 1 100 mm avec une répartition temporelle très variable d'une année à l'autre (N'guessan *et al.*, 2014). Yamoussoukro est située sur le socle appartenant au substratum géologique du Précambrien Granitique. Ce bouclier géologique a pour principales formations, les sols ferrallitiques et les ferrisols.

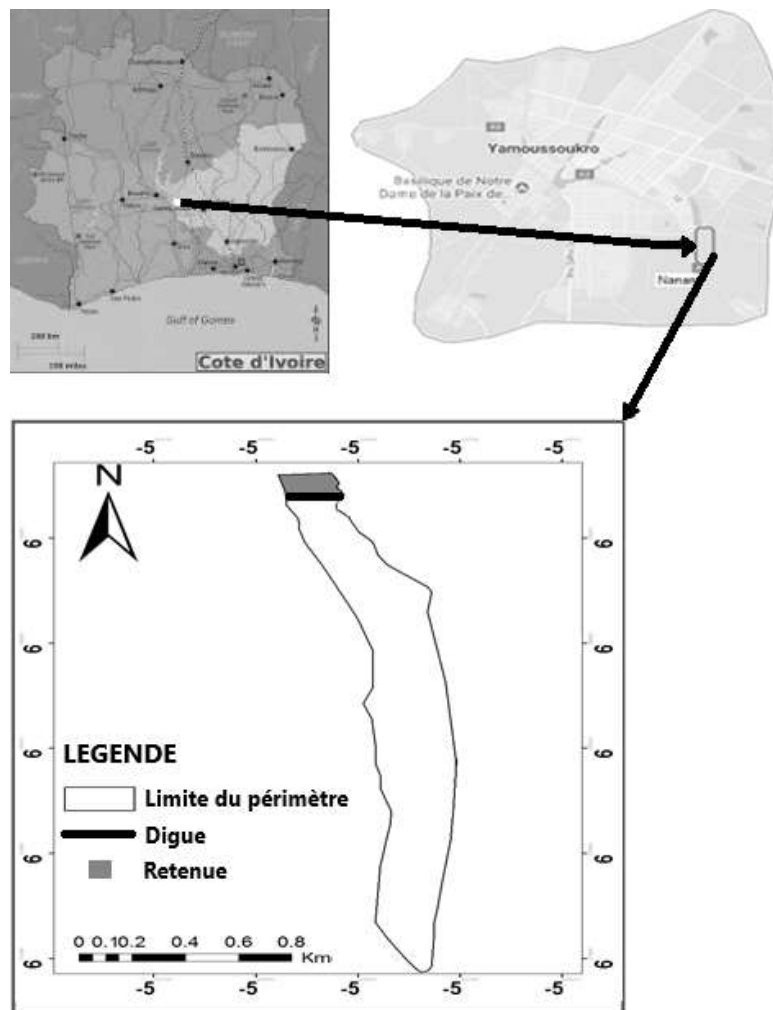


Figure 1 : Carte de la localisation géographique du périmètre rizicole irrigué de Nanan.

Map of the geographical location of the irrigated paddy fields of Nanan.

MATERIEL

Dans le cadre de ce travail, les données utilisées sont essentiellement des données hydro climatiques. L'ensemble du matériel utilisé est divisé en deux groupes : le matériel de collecte de données sur le terrain et le matériel de traitement des données.

Matériel de collecte de données

Le matériel suivant a été utilisé pour collecter les données sur le terrain :

un moulinet hydrométrique C20 équipé d'un compteur OTT Z400 a été utilisé pour le jaugeage de débit au niveau des différents points de mesures choisis dans le canal primaire. Le compteur lui, a permis d'enregistrer les différents tours de rotation d'hélices du moulinet afin de déterminer la vitesse d'écoulement de l'eau.

un Global Positioning System (GPS) Garmin Map 62s a été utilisé pour l'enregistrement des coordonnées géographiques de la zone de travail et pour la détermination des surfaces des parcelles tests.

un canal Venturi ISMA à section exponentielle de type II a été utilisé pour le jaugeage de débits dans les canaux secondaires des différentes parcelles tests.

un ruban de mesure a été utilisé pour les diverses mesures de longueurs effectuées sur le terrain.

Matériel de traitement des données

Pour traiter les données de terrain obtenues, le matériel suivant a été utilisé :

le tableur Microsoft Excel 2016 a été utilisé pour le calcul des différents débits et autres variables étudiées.

les logiciels Climwat 2.0 et Cropwat 8.0 (FAO) ont respectivement permis d'acquérir les données climatiques de la zone d'étude et de calculer les besoins en eau du riz.

les logiciels Google Earth et ArcGis 10.2 pour la délimitation de la zone d'étude et pour la réalisation de carte.

METHODES

Choix des parcelles de mesures

Trois parcelles ont été choisies sur le périmètre en vue de l'estimation de l'efficacité d'irrigation et de la productivité de l'eau (Figure 2) :

une parcelle à l'amont du réseau P_{Am} , au niveau de la prise 2 (P 2) sur canal primaire ;

une parcelle au centre du réseau P_{Cen} , au niveau de la prise 9 (P 9) sur canal primaire ;

une parcelle à l'aval du réseau P_{Av} , au niveau de la prise 14 (P 14) sur canal primaire.

Lors du déroulement de cette étude, quinze (15) prises (P) étaient utilisées sur le site pour desservir les parcelles cultivées. Ainsi, le réseau d'irrigation étudié part du bassin de dissipation (B. Diss), en tête de réseau jusqu'à la quinzième

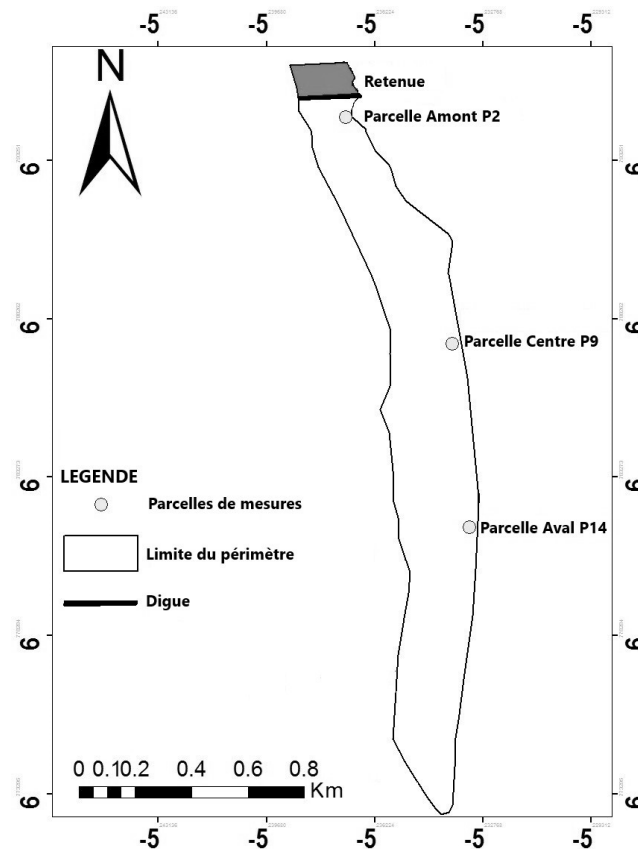


Figure 2 : Localisation des parcelles de mesures.

Location of measurement plots.

(15^{ème}) prise et compte seize (16) tronçons. Sa longueur totale est de 1 720 m.

Détermination de l'efficacité d'irrigation

L'efficacité de l'irrigation E_i (%) du périmètre de Nanan s'est déterminée selon la relation ci-après :

$$E_i = E_T \times E_A \times 100 \quad \text{Equation 1}$$

Où l'efficacité de transport (E_T) et l'efficacité d'application (E_A) de l'eau à la parcelle sont exprimées sans unité.

Evaluation de l'efficacité de transport

La relation suivante permet de calculer l'efficacité de transport E_T (%) sur un tronçon au niveau duquel il n'y a pas de service en route :

$$E_T = \frac{Q_{Av}}{Q_{Am}} \times 100 \quad \text{Equation 2}$$

Avec :

Q_{Am} : débit à l'entrée du tronçon considéré (m³/s ou l/s) ;

Q_{Av} : débit à la sortie du tronçon considéré (m³/s ou l/s).

L'efficacité de transport permet l'estimation des pertes d'eau P_R (%) dans le réseau par l'équation subséquente :

$$P_R = 100 - E_T \quad \text{Equation 3}$$

L'efficacité globale du réseau d'irrigation (E_T) a été déterminée en calculant la moyenne des efficacités de transport des n tronçons considérés.

Evaluation de l'efficience d'application de l'eau à la parcelle :

La méthode adoptée pour la détermination de l'efficience d'application de l'eau (efficience à la parcelle) est de mesurer la quantité d'eau « effectivement appliquée » à la parcelle et la quantité d'eau « réellement utilisée » par les plantes de cette parcelle. Généralement l'eau utilisée (E_c) est assimilée à l'évapotranspiration maximale de la culture (ETM) (Steduto et Hsiao, 2005), donc aux besoins en eau du riz. L'eau appliquée correspond à la dose réelle fournie à la parcelle par l'irrigant.

L'estimation des besoins en eau du riz a été faite à l'aide des logiciels Climwat 2.0 et Cropwat 8.0 de la FAO, à partir de l'évapotranspiration selon :

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} v (e_w - e)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34v)} \quad \text{Equation 5}$$

avec :

R_n : rayonnement net à la surface de la culture ($W.m^{-2}$) ;

G : Flux de chaleur échangé avec le sol ($MJ/m^2/j$) ;

T : température moyenne quotidienne de l'air à 2 m de hauteur ($^{\circ}C$) ;

$$ETM = E_c = ET_0 \times K_c \quad \text{Equation 4}$$

Où ET_0 : Evapotranspiration de référence (mm/j), déterminée par le logiciel Cropwat 8.0 et K_c est le coefficient cultural du riz dépendant du stade végétatif et de la variété considérée (Tableau 1).

Le calcul de l'évapotranspiration de référence ET_0 a été effectué par le logiciel Cropwat 8.0 qui s'est basé sur les données météorologiques de Yamoussoukro. Les données (précipitations et températures) ont été récupérées gratuitement sur <http://www.wamis.org/countries/cdivoire.php> et les autres données climatiques sont disponibles dans le logiciel Climwat 2.0 FAO. Le calcul de ET_0 a été effectué selon l'équation (5) de Penman-Monteith de la FAO incorporée dans le logiciel Cropwat :

Δ : pente de la courbe de pression de vapeur saturante à la température T ($kPa.^{\circ}C^{-1}$) ;

Γ : Constante psychométrique ($kPa.^{\circ}C^{-1}$) ;

e : pression de vapeur réelle (kPa) ;

e_w : pression de vapeur saturante (kPa) ;

v : vitesse du vent à 2 m de hauteur ($m.s^{-1}$).

Tableau 1 : Coefficient cultural, pluie efficace, besoin théorique en eau sur le périmètre rizicole irrigué de Nanan calculé au moyen du logiciel Cropwat 8.0 (FAO).

Crop coefficient, effective rainfall, theoretical water requirement in the NANAN irrigated paddy field computed using the FAO Cropwat 8.0 software.

Mois	ETo (mm)	Kc	ETM (mm)	Pe (mm)	Besthéo (mm)	Besthéo (m ³ /ha)
Janv	131	0,6	79	-	79	787
Fév	144	0,8	115	17	98	984
Mars	160	1	160	51	109	1087
Avril	152	1	152	85	67	674
Mai	139	1	139	127	12	123
Juin	115	1	115	95	20	201
Juil	108	1	108	110	-	-
Août	107	1,15	123	80	43	427
Sept	107	1,15	123	82	41	409
Oct	122	1,08	132	113	19	186
Nov	120	0,9	108	17	92	915
Déc	115	0,9	103	12	91	914
TOTAL					671	6707

Besthéo : Besoins théoriques mensuels.

Kc : Coefficient cultural du riz dépendant du stade végétatif et de la variété considérée.

ETM : Evapotranspiration maximum ; ETo : Evapotranspiration de référence

Le volume d'eau appliquée (E_p) à la parcelle durant la production, correspondant aux besoins apportés par doses successives (dose réelle DR en mm) a été déterminé par :

$$E_p = DR = \frac{m \times T_i}{S} \times 1000 \quad \text{Equation 6}$$

avec :

m : module d'irrigation (l/s ou m³/h) ;

T_i : durée d'irrigation (h) ;

S : superficie de la parcelle (m²).

L'efficacité d'application sur une parcelle E_A (%) a été déterminée par le quotient de la quantité d'eau consommée par le riz (E_c en mm) et la quantité d'eau appliquée à la parcelle (E_p en mm). Elle s'exprime par :

$$E_A = \frac{E_c}{E_p} \times 100 \quad \text{Equation 7}$$

Le pourcentage de pertes en eau d'irrigation P (%) à la parcelle est déterminé à partir de l'efficacité d'application E_A (%). Il se calcule selon :

$$P = 100 - E_A \quad \text{Equation 8}$$

L'efficacité globale d'application E_A (%) du périmètre a été déterminée en faisant la moyenne des efficacités de chacune des trois parcelles choisies.

Détermination de la productivité de l'eau

La productivité de l'eau P_E (kg/m³) sur une parcelle a été calculée par la relation qui suit :

$$P_E = \frac{Pr}{E_f} = \frac{Pr}{E_p + P_e} \quad \text{Equation 9}$$

Où :

Pr est la production de riz paddy en kg ;

E_f est le volume d'eau fournie à la parcelle en m³, qui correspond à la somme du volume d'eau appliquée à la parcelle E_p et de la pluie efficace ramenée à la superficie de la parcelle P_e . Dans les bassins rizicoles avec diguettes, le ruissellement est négligeable, voire inexistant. La pluie tombée s'assimile à la pluie efficace.

La moyenne des productivités de l'eau des parcelles étudiées a permis de déterminer la productivité de l'eau du périmètre (P_E). Elle

correspond à la quantité de récolte en kg produite par un (1) m³ d'eau sur un hectare.

RESULTATS

EFFICIENCE DE TRANSPORT

Le graphique suivant présente le résultat des calculs des efficacités de transport et des pertes

d'eau sur des tronçons du réseau du périmètre de Nanan (Figure 3).

En tête de réseau, sur le tronçon 1, l'efficacité de transport est maximale et est de 88,0 % pour des pertes en eau de 12 %, sur un linéaire de 75 m. Sur le 7ème tronçon, l'efficacité de transport est minimale par rapport à l'ensemble des tronçons mesurés et elle est de 69,8 % pour 30,2 % de pertes d'eau sur une longueur de 114,5 m.

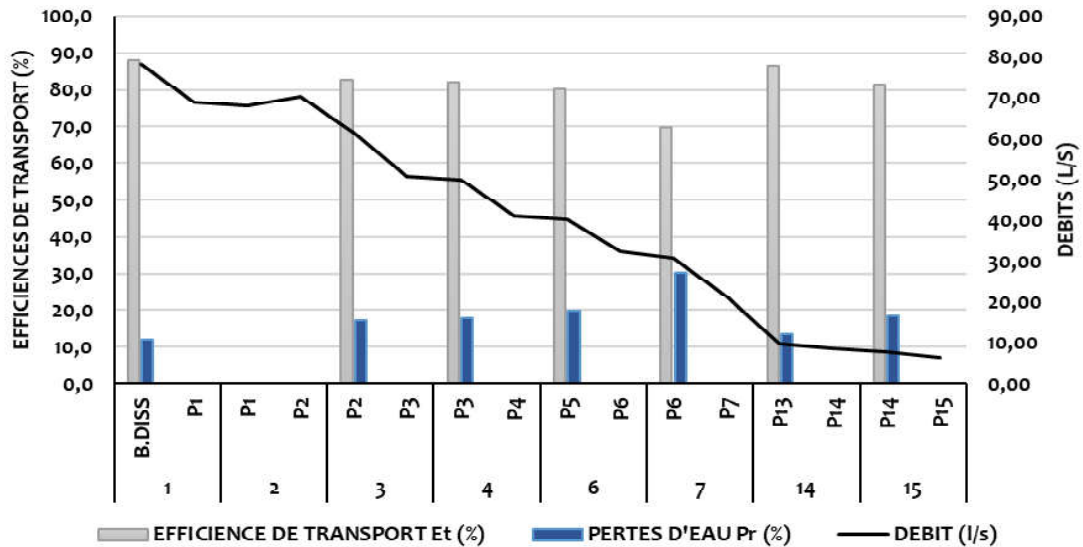


Figure 3 : Diagramme des débits, efficacités de transport et pertes d'eau par tronçon.

Diagram of flows, transport efficiencies and water losses by section.

L'efficacité de transport de l'eau sur le périmètre de Nanan déduite est de 81,5 % avec des pertes en eau de 18,5 %.

EFFICIENCE D'APPLICATION

Le Tableau 2 donne les résultats des efficacités

d'application par parcelle étudiée et sur l'ensemble du périmètre. La parcelle Amont P 2 a l'efficacité d'application la plus faible (39,5 %), alors que la parcelle Centre P 9 et la parcelle Aval P 14 présentent des efficacités d'application sensiblement égales, de 43,6 % et 43,9 % respectivement. On note donc que l'efficacité d'application devient importante au

Tableau 2 : Efficacité d'application de l'eau sur le périmètre de Nanan.

Efficiency of water application into the Nanan paddy fields.

	Parcelle Amont	Parcelle Centre	Parcelle Aval	Périmètre
Efficacité d'application (%)	39,5	43,6	43,9	42,3
Pertes d'eau (%)	60,5	56,4	56,1	57,7

fur et à mesure qu'on évolue de l'amont vers l'aval du périmètre. L'efficacité d'application du périmètre déduite des efficacités au niveau des parcelles est de 42,3 % pour des pertes de 57,7 %.

EFFICACITÉ DE L'IRRIGATION

L'efficacité de l'irrigation du périmètre de Nanan est de 34,5 %. Elle est déduite, pour rappel, de l'efficacité de transport (E_t) et de l'efficacité d'application (E_A) du périmètre.

PRODUCTIVITÉ DE L'EAU

A la parcelle Amont P 2, la productivité de l'eau est la plus faible (0,21 kg/m³ de paddy). La productivité de l'eau sur la parcelle Centre P 9 est de 0,43 kg/m³ de paddy. Et la productivité de l'eau sur la parcelle P 14, de 0,6 kg/m³ de

Tableau 3 : Productivité de l'eau du périmètre de Nanan.

Water productivity in the Nanan paddy fields.

	Parcelle Amont	Parcelle Centre	Parcelle Aval	Périmètre
Productivité de l'eau (kg/m ³)	0,21	0,43	0,6	0,42

paddy est la plus élevée (Tableau 3). La productivité de l'eau sur le périmètre de Nanan, déduite des productivités de l'eau calculées au niveau de chaque parcelle choisie, est donc de 0,42 kg/m³.

DISCUSSION

Sur l'ensemble du réseau du périmètre irrigué de Nanan, l'efficacité de transport est de 81,5 % pour une perte globale dans le réseau de 18,5 %. Pour un canal en béton, cette efficacité de transport est légèrement en dessous des valeurs données par certains chercheurs. En effet, selon Pierre-Olivier Malaterre *et al.* (2013), hormis quelques cas particuliers, les pertes d'eau sont généralement inférieures à 10 ou 15 % dans les canaux bétonnés. Ces pertes observées pourraient s'expliquer par le fait que dans leur quasi-totalité, il existe des fuites d'eau au niveau des vannes mobiles des prises qui souffrent d'un problème d'étanchéité, compte tenu de leur vétusté. Le manque d'entretien du canal principal et la présence d'herbes dans le fond et sur les parois pourraient également en être responsables. Cela a également été démontré par Bakache (2017) par des essais sur trois périmètres irrigués au Maroc. Aussi, Bhourri Khila *et al.* (2015) soulignent que les pertes dépendent de l'état des canaux ou des conduites qui permettent le transport de l'eau à partir de la source d'eau jusqu'aux exploitations agricoles. Pierre-Olivier Malaterre *et al.* (2013) soutiennent

également cette assertion.

A l'échelle du périmètre de Nanan, l'ETM du riz est en moyenne de 4,39 mm/j. Cependant, selon les sites, la consommation en eau dans les bassins rizicoles peut augmenter et atteindre 7,3 mm/j (Adahi Botou *et al.*, 2001).

L'efficacité à la parcelle augmente lorsqu'on évolue de l'amont vers l'aval du périmètre. Cela pourrait s'expliquer par le fait que, du fait de sa proximité avec la retenue, le riziculteur positionné en amont, sur la parcelle P 2, prélève dans le canal primaire, une quantité importante d'eau que ceux situés plus en aval. Sur l'ensemble du périmètre, l'efficacité d'application est de 42,3 % avec des pertes à la parcelle de 57,7 %. La progression de la qualité de l'efficacité de l'amont vers l'aval montre qu'en amont les pertes d'eau sont plus importantes qu'en aval, ce qui laisse penser que la gestion d'eau en amont serait plus défaillante qu'en aval. En effet, le riziculteur de Nanan généralement ne respecte pas le calendrier prévu : il irrigue pendant plus de temps que nécessaire. Cette efficacité à la parcelle pourrait être également imputable à une concurrence relative à l'utilisation de l'eau entre les riziculteurs eux-mêmes et entre les riziculteurs et les cultivateurs de maraîchers. Ces derniers, installés en amont du périmètre prélèvent alors qu'ils n'y sont pas autorisés, l'eau d'irrigation dans le canal primaire à l'aide de motopompes ; ce qui a tendance à baisser la quantité d'eau reçue par les riziculteurs plus en aval de

l'aménagement. Barro (2004) a aussi fait ce constat sur un périmètre rizicole irrigué dans la vallée du Kou au Burkina Faso. Ces valeurs, qui montrent l'inadéquation des arrosages par rapport aux besoins effectifs en eau des cultures, se justifient principalement par le faible degré de connaissances par les riziculteurs des caractéristiques du sol cultivé et des paramètres d'irrigation. En effet, selon Hanafi (2011), l'efficacité d'application est généralement influencée par la décision prise en termes de pilotage de l'irrigation. Les pertes d'eau au niveau des parcelles pourraient être essentiellement entraînées par la mauvaise préparation du sol, par le mauvais nivellement (planage) des casiers, mais aussi par l'irrégularité des hauteurs des diguettes entre les casiers de riz. Bouazziz *et al.* (2002) l'ont démontré selon une étude réalisée sur plusieurs périmètres irrigués au Maroc. Une submersion excessive du riz dans les casiers pourrait aussi engendrer ces pertes d'eau et favoriser ainsi, la percolation profonde et le drainage latéral de l'eau appliquée aux parcelles. Cette remarque est en adéquation avec celle de Lage et El Mourid (1996), qui stipulent que la technique de l'irrigation par submersion conduit à une consommation excessive d'eau surtout quand les lames d'eau de l'itinéraire technique du riz ne sont pas respectées. Walker (1999) fait aussi cette remarque. Cet auteur a montré que les rizières avec diguettes permanentes engendrent des pertes importantes d'eau par infiltration latérale dans la diguette et à partir de là, verticalement vers les eaux souterraines. Les pertes d'eau en profondeur peuvent aussi être occasionnées par les caractéristiques physiques du sol (texture et structure). Des auteurs comme Brown *et al.* (1978), Soriano (1993), cités par Lage et El Mourid (1996) l'ont également observé.

L'efficacité d'irrigation du périmètre de Nanan de 34,5 % est faible mais elle est de justesse conforme à l'intervalle proposé par van Halsema *et al.* (2012). Effectivement, selon ces auteurs, la fourchette d'efficacité généralement utilisée pour caler les débits à libérer à la source selon la technique est de l'ordre de 30 % à 70 % en irrigation de surface. Compaoré (1999) quant à lui, stipule que l'efficacité d'irrigation gravitaire à canaux revêtus est de l'ordre de 50 à 60 %. Cependant, Walker (1999) et Lage *et al.* (2004), cités par Donkora *et al.* (2014) confirment également ce faible résultat d'efficacité d'irrigation. Ces derniers stipulent en effet, que dans plusieurs pays rizicoles, l'efficacité de

l'irrigation est faible et varie entre 25 et 48 %. Le mode de gestion de l'eau (planification et application de l'irrigation) par les irrigants du périmètre semble être le principal responsable des pertes d'eau, surtout au niveau des parcelles. Cela a été également démontré par Barbier *et al.* (2009) sur d'autres périmètres au Niger.

La productivité de l'eau sur la parcelle Amont P 2 est la plus faible (0,21 kg/m³) sur l'ensemble du périmètre. Cela montre effectivement que le riziculteur de cette parcelle utilise en excès, l'eau nécessaire au bon développement des plantes et à l'obtention d'une production optimum. La productivité de l'eau du périmètre de Nanan est de 0,42 kg/m³. Cette valeur de productivité de l'eau est inférieure à celle proposée par l'IIMI (1997) qui est de 0,6 kg/m³. Cette faible productivité de l'eau pourrait se justifier par des apports d'eau sur les parcelles, en quantité inappropriée et à un moment inopportun durant le cycle de culture. Barbier *et al.* (2009) corroborent également cette remarque mais aussi, Bhourri Khila *et al.* (2015) affirment que la productivité de l'eau dépend de la répartition des apports d'eau durant le cycle de culture. En somme, la faible productivité de l'eau sur le périmètre de Nanan pourrait être principalement attribuée à l'inefficacité de la mise en œuvre de l'irrigation et des pratiques culturales sur le site par les riziculteurs. Ce qui entraîne un mauvais développement des plantes qui fournissent un rendement non-satisfaisant à la récolte selon des membres de la coopérative qui évoquent au maximum un rendement moyen de 5 t/ha sur les parcelles étudiées pour un potentiel de 9 t/ha. Effectivement, d'après Zwart et Bastiaanssen (2004), une stratégie d'irrigation inadaptée aux conditions locales peut même être préjudiciable à la productivité des cultures.

CONCLUSION

Il apparaît, au terme de cette recherche que le système d'irrigation du périmètre rizicole de Nanan souffre de plusieurs défaillances. Ces dernières s'illustrent, notamment au niveau du canal principal et des infrastructures hydrauliques mais également, au niveau de la maîtrise des techniques culturales et des apports d'eau aux parcelles par les riziculteurs. En effet sur ce site, en interprétant l'efficacité globale de l'irrigation établie à 35 %, on constate que dans sa pratique quotidienne d'irrigation, le

riziculteur, qui semble ignorer l'utilisation du traditionnel calendrier d'arrosage, prélève près de trois fois plus d'eau qu'il ne lui en faut. Cet état de fait, associé à d'autres éléments comme entre autres, la qualité des intrants, la gestion institutionnelle du périmètre, mais aussi les perturbations ou changements climatiques, constituent les principales causes pouvant être responsables des baisses de rendement à l'hectare observées sur ce site en particulier et dans le pays en général.

Un accent particulier devra être mis sur les principaux facteurs influençant, positivement comme négativement, l'efficacité de l'irrigation et la productivité de l'eau sur les aménagements rizicoles irrigués. Ceci permettrait aux décideurs et aux producteurs de mettre en place des mesures correctives appropriées et durables pour une amélioration de la performance de ces aménagements. Une réhabilitation complète du réseau d'irrigation devrait être effectuée et être accompagnée par un renforcement des capacités des riziculteurs sur les techniques et pratiques d'irrigation. La gestion de l'irrigation pourrait également être professionnalisée. Cela s'avèrerait une importante contribution quant à la lutte contre la pauvreté, l'insécurité alimentaire et la préservation de la ressource en eau.

Cette étude a été réalisée dans le but d'effectuer une évaluation de l'irrigation du périmètre rizicole de Nanan, à travers deux indicateurs de performance : l'efficacité d'irrigation et la productivité de l'eau. Elle a été menée dans le cadre d'une amélioration de la performance et de la productivité d'un périmètre rizicole irrigué, pour un usage optimum de la ressource en eau et pour concourir à la sécurité alimentaire.

REFERENCES

- Adahi B., Nomura N., Fujiki T. and Satoh M. 2001. Return flow analysis in Okazeki irrigated paddy fields in the Kokai River Basin of Japan. *Trans of JSIDRE*, 212: 1-7.
- Bakache M. 2017. Contribution à l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation dans les seguias en terre dans les périmètres de Petite et Moyenne Hydraulique au Maroc. *Rev. Mar. de Sci. Agro. et Vét.* 5 (1) : 13 - 22.
- Ballo K. 2010. Evaluation des performances du périmètre irrigué de Karfiguela. Mémoire de Master, Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 2iE-Ouagadougou (Burkina Faso), 60 p.
- Barro M. 2004. Besoin en eau des rizières et évaluation de l'irrigation des périmètres rizicoles à l'aide de BIRIZ. Mémoire de fin d'études, Equipement Rural, EIER-ETSHER, Ouagadougou (Burkina Faso), 101 p.
- Barbier B., Dessouassi R., Kouanda B., Kouakou M., Ogou C., Illou M., Patrick B., Lidon B. et Jamin J.Y. 2009. Productivité de l'eau d'irrigation dans le bassin du fleuve Niger. Rapport définitif pour le BFP Niger, 16 Novembre 2009, 166 p.
- Bhourri Khila S., Douh B., M'guidiche A. & Boujelben A. 2015. Synthèse des principaux indicateurs de performance des systèmes irrigués. *Larhyss Journal*, 24 : 263 - 279.
- Bouaziz A. et Belabbes K. 2002. Efficacité productive de l'eau en irrigué au Maroc. *Revue H.T.E.*, 124 : 57 - 74.
- Bouet A., N'cho A. L., Kéli Z. J., Yoboué N., Yayha C. M., N'guessan P. 2005. Bien cultiver le riz irrigué en Côte d'Ivoire. Fiche technique du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), 4 p.
- Compaoré M.L. 1999. Les données de base de l'irrigation. 2e Edition Polycopié EIER, mars 1999, 176 p.
- Donkora K., Xanthoulis D., Ouattara K. et Degré A. 2014. Concepts d'efficacité et de productivité de l'eau (synthèse bibliographique). *Bio. Agro. Soc. and Env.* 18 (1) : 108 - 120.
- FAO. 2010. Aperçu du développement rizicole-Côte d'Ivoire. Brochure de la Division de la production végétale et de la protection des plantes (AGP) de la FAO en collaboration avec le bureau sous régional de la FAO pour l'Afrique de l'Ouest, 9p.
- FAO. 2013. Projet « Amélioration de la production de riz en Afrique de l'Ouest en réponse à la flambée des prix des denrées alimentaires » composante Côte d'Ivoire (GCP/RAF/453/SPA). Rapport final du Projet APRAO-FAO, Coordination Nationale Côte d'Ivoire, août 2010-décembre 2013, 18 p.
- FAO. 2014. Evaluation finale du projet « Amélioration de la Production de Riz en Afrique de l'Ouest en Réponse à la Flambée des Prix des denrées alimentaires » (APRAO) GCP/RAF/453/SPA. Rapport de synthèse FAO. Rome, Italie, janvier 2014, 88 p.
- Hanafi S. 2011. Approche d'évaluation de la performance des systèmes irrigués à l'échelle des exploitations agricoles. Cas du périmètre irrigué de Borj Toumi (Vallée de la Metjerda-Tunisie). Thèse de Doctorat, Agro Paris Tech-Paris (France), 103 p.
- IIMI. 1997. Projet management de l'irrigation au

- Niger : Rapport final de synthèse. Niamey, IIMI 70 p.
- Lage M. et El Mourid M. 1996. Besoins en eau et quelques méthodes de gestion de l'irrigation au niveau de la parcelle du riz (*Oryza Sativa L.*) irrigué (Revue bibliographique). *Al Awamia*, 94 : 65 - 86.
- Lage M., Bamouh A., Badawi T. et El Mourid M. 2004. Productivité de l'eau et efficience de son utilisation par le riz conduit sous différents régimes d'irrigation dans la région du Gharb au Maroc. In : Actes du séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée, 19-24 avril 2004, Rabat, Maroc : pp 95 - 96.
- Malaterre P-O., Dorchies D. et Bauma J-P. 2013. La modernisation des canaux d'irrigation : Apports de l'automatisation pour la gestion opérationnelle. *Sciences Eaux & Territoires*, 11 (2) : 44 - 47.
- N'garesseum D.K.T. 2010. Evolution de la production et des importations de riz en Côte d'Ivoire de 1965 à 2008. *Politique Economique et de Développement*, 08 : 29 p.
- N'guessan K.A., Kouassi A.M., Gnaboa R., Traoré K.S. et Houenou P.V. 2014. Analyse de phénomènes hydrologiques dans un bassin versant urbanisé : cas de la ville de Yamoussoukro (Centre de la Côte-d'Ivoire). *Larhyss Journal*, 17: 135-154.
- Steduto P. and Hsiao T. 2005. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Cahier Options méditerranéennes. Water Use Efficiency and Water Productivity*, (57): 59-62.
- Troy B. 2013. Gestion de l'eau agricole et sécurité alimentaire : de nouveaux défis pour les pays en développement. *Fondation FARM, Demeter 2013*, 43 - 64.
- van Halsema G.E. and Vincent L. 2012. Efficiency and productivity terms for water management: a matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agric. Water Manag.*, 108: 9-15.
- Walker S.H. 1999. Causes of highwater losses from irrigated rice fields: field measurements and results from analogue and digital models. *Agric. Water Manag.*, 40: 123-127.
- Zwart S.J. and Bastiaanssen W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agric. Water Manag.*, 69 : 115-133.