Article de recherche **Rev. Cong. Sci. Technol., Vol. 05, No. 01, pp. 133-143 (2026)**

OPEN ACCESS

Revue Congolaise des Sciences & Technologies

ISSN: 2959-202X (Online); 2960-2629 (Print)

https://www.csnrdc.net/

REVUE CONGOLAISE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Analyse des caractéristiques hydro-pédologiques pour l'estimation des besoins en eau du riz et la conception d'un système d'irrigation d'un périmètre rizicole dans le bassin versant de N'djili, à Kinshasa

[Analysis of hydro-pedological characteristics for the determination of rice water requirements and the design of an irrigation system for a rice-growing perimeter in the N'djili watershed, Kinshasa]

Fiston Kayembe Kayembe[1*], Abdelhadi Ammari[2], Génie-Spirou Kiala Lutonadio[1], Patty Mayo Aluda[1], Landry Nzamipiele Nkaba[1], Yves Aseke Lukuke[1], Jean Shikayi Kalume[1], Pascal Masawula Kazwenga[1] & Raphael Muamba Tshimanga[1]

[1]Ecole Régionale de l'Eau (ERE) & Centre de Recherche en Ressources en Eau du Bassin du Congo (CRREBaC), BP 117 Université de Kinshasa (UNIKIN), RD Congo

[2]Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH), Algérie.

Résumé

Cette étude vise à optimiser l'ingénierie des systèmes d'irrigation dans le bassin versant de la rivière N'djili pour augmenter la productivité du riz et les revenus des agriculteurs. Une approche holistique a été d'usage, avec des enquêtes pour évaluer les perceptions des agriculteurs, l'analyse d'indices hydro-climatiques, la collecte de données sur le sol, l'analyse de la qualité de l'eau, et la modélisation hydraulique du périmètre rizicole. Le périmètre rizicole de Masina Rail 1 présente des possibilités d'accroître la production de riz, mais les riziculteurs se limitent à la saison pluvieuse. La culture du riz irrigué se déroule de mi-septembre à janvier et de mars à mi-juin, soulignant la forte dépendance de la production aux précipitations. L'évolution de la production révèle une faible progression annuelle, limitée aux rendements de la saison pluvieuse. L'absence de systèmes d'irrigation efficaces pendant la saison sèche représente un potentiel de rendements supplémentaires non exploité. Les besoins en eau de la culture varient, étant plus élevés en mai. Un débit moyen de 22,3 m³/s est suffisant pour satisfaire les besoins en eau, même durant la saison sèche. Les analyses de la qualité des eaux d'irrigation respectent les normes de l'USDA et de la FAO, sans risque pour les cultures. Le plan d'aménagement nécessite une mise à niveau des infrastructures d'irrigation en raison de leur vétusté. Les simulations du modèle hydraulique sont optimales avec les vitesses d'eau se situant entre 0,65 m/s et 1,46 m/s et des pressions dans les conduites variant de 1,07 m.c.e à 21,51 m.c.e.

Mots-clés : Besoin en eau du riz, modèle hydraulique, qualité de l'eau, irrigation, bassin versant de N'djili.

Abstract

The aim of this study is to optimise the engineering of irrigation systems in the N'djili River watershed in order to increase rice productivity and farmers' incomes. A holistic approach was adopted, incorporating surveys to evaluate farmers' perceptions, analysis of hydro-climatic indices, soil data collection, water quality analysis and hydraulic modelling of the rice-growing area. The Masina Rail 1 rice perimeter has the potential to increase rice production, but rice farmers are currently restricted to growing rice during the rainy season. Irrigated rice cultivation takes place from mid-September to January and from March to mid-June, highlighting the high dependence of production on rainfall. Production trends show low annual growth, limited to yields during the rainy season. The lack of effective irrigation systems during the dry season represents untapped potential for increased yields. Water requirements for cultivation vary, being highest in May. An average flow of 22.3 m³/s would be sufficient to meet these requirements, even during the dry season. Analyses of irrigation water quality comply with USDA and FAO standards and pose no risk to crops. The development plan requires the upgrading of the dilapidated irrigation infrastructure. Hydraulic model simulations show that optimal water velocities range from 0.65 m/s to 1.46 m/s, with pipe pressures varying from 1.07 m.c.e. to 21.51 m.c.e.

Keywords: Water requirements for rice production, hydraulic model, water quality, irrigation, N'djili watershed.

*Auteur correspondant : Fiston Kayembe Kayembe, (fkayembe60@gmail.com). Tél. : (+243) 81042 0044

https://orcid.org/0009-0003-5618-2472; Reçu le 22/12/2025; Révisé le 16/01/2026 ; Accepté le 11/02/2026

DOI: https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i1.228

Copyright: ©2026 Kayembe et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

La République démocratique du Congo (RDC) détient environ 52 % des réserves en eau douce de l'ensemble du continent africain (Tshimanga et al., 2022). Les précipitations en RDC sont non seulement régulières, mais aussi abondantes, avec une moyenne annuelle estimée à environ 6 000 milliards de mètres cubes et une pluviosité moyenne de 1 545 mm par an. Toutefois, ces précipitations varient en fonction des zones géographiques et des saisons, oscillant entre 800 mm et 1 800 mm (PNUE, 2011 ; Nkaba et al., 2022). Le pays bénéficie d'un vaste réseau hydrographique qui couvre environ 77 810 km², par rapport à une superficie terrestre totale de 2 267 600 km² (PNUE, 2011 ; MEDD, 2006). Malgré cette richesse en eau, le développement des services liés à l'eau, tels que l'approvisionnement en eau potable, la production d'hydroélectricité, le transport fluvial, la préservation des écosystèmes et l'irrigation, demeure largement insuffisant.

Par ailleurs, la RDC possède plus de 80 millions d'hectares de terres arables, qui sont sous-exploitées, ainsi qu'une diversité climatique propice à une variété de spéculations agricoles (FAO et al., 2022). Il est à noter que l'agriculture en RDC est principalement pluviale, ce qui la rend moins résiliente aux impacts prévisibles du changement climatique, notamment la variation des régimes pluviométriques et leurs conséquences sur le calendrier agricole (Tshimanga et al., 2022 ; IPC, 2022 ; FAO, 2021 ; Sultan et al., 2015 ; Moula et al., 2012).

Le bassin versant de la rivière N'djili, situé en RDC, est une zone à vocation agricole, mais comme l'ensemble du pays, il fait face à des défis en matière de sécurité alimentaire. Néanmoins, ce bassin offre des opportunités d'irrigation grâce à son réseau hydrographique dense, à la disponibilité de terres arables et à des précipitations abondantes, des éléments cruciaux pour développer une agriculture économiquement compétitive et durable (Kakundika et al., 2019 ; Falasi, 2018 ; Luboya, 2002 ; ACF, 2009). Malheureusement, la population de la ville de Kinshasa, en particulier celle du bassin versant de la rivière N'djili, doit relever de nombreux défis alimentaires, entraînant un besoin d'importation.

C'est dans ce contexte que cette étude a été initiée, afin d'analyser les perceptions et les expériences des riziculteurs sur la nécessité de mettre en place des aménagements hydroagricoles pour la culture du riz dans le bassin versant de N'djili, et d'explorer l'utilisation des technologies de télédétection pour le suivi des rendements agricoles.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation du milieu d'étude

Le bassin versant de la rivière N'djili s'étend de la province du Kongo central, où elle prend sa source dans les collines, jusqu'à la ville de Kinshasa qu'elle traverse du sud au nord. Le bassin versant mesure près de 2000 km² et est compris entre 15°9' et 15°39' de longitude est, et 4°22' et 4°59' de latitude sud. La partie urbaine du bassin versant, située dans la ville de Kinshasa, représente environ 625 km², soit 31,2% de l'ensemble du bassin versant. Cette partie urbaine est localisée entre 15°9' et 15°18' de longitude est, et 4°22' et 4°37' de latitude sud (Luboya, 2002 ; UNEP 2011 ; Ndolo, 2015).

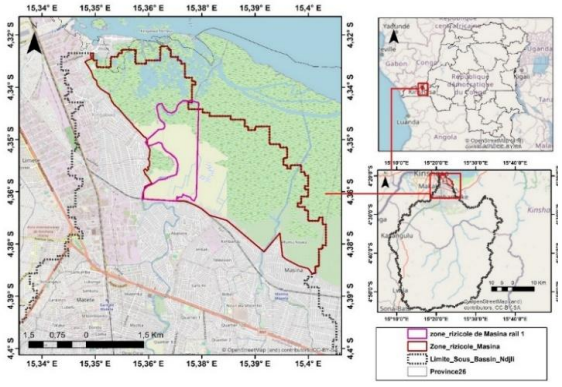

Figure 1. Carte de la Zone Rizicole Masina Rail 1

Le milieu d'étude se situe dans le site rizicole de Masina Rail 1, qui s'étend le long de la rivière N'djili, dans la région du pool Malebo. Ce site fait partie du bassin versant de la rivière N'djili, situé au nord de celui-ci, et est marqué par une activité agricole significative et prometteuse. La zone, riche en ressources en eau, est particulièrement adaptée à la riziculture. Elle se trouve entre 4°19' et 4°23' de latitude sud, et entre 15°20' et 15°24' de longitude est.

La zone agricole de Masina couvre une superficie de 1 500 hectares, avec une prédominance de cultures rizicoles au nord et de maraîchage. Le plan d'aménagement du réseau d'irrigation rizicole se concentre sur la partie centrale de cette zone, qui s'étend sur 238,49 hectares.

2.2. Collecte et analyse des données

2.2.1. Enquête socioéconomique

Le public cible de cette étude était constitué des agriculteurs du site rizicole de Masina Rail 1. Les enquêtes auprès des ménages ont été menées du 7 octobre au 10 décembre 2023. L'échantillon comprenait 250 individus, répartis en 10 agriculteurs par bloc, sélectionnés de manière aléatoire selon la méthode décrite par (Lututala, 2022). La collecte des données a été réalisée à l'aide d'un questionnaire numérisé via Kobocollect. Les données recueillies ont ensuite été analysées par le biais d'analyses de fréquences relatives, à l'aide du logiciel SPSS, afin d'identifier les perceptions et les expériences des répondants concernant la nécessité d'implémenter un aménagement hydro-agricole pour la culture du riz.

2.2.2. Analyse des indices de végétation

Le NDVI est utilisé pour suivre les cultures et prédire les rendements, notamment du riz, entre 2010 et 2019. Des images satellites Landsat 7 ETM+ de résolution 30m x 30m ont été téléchargées via Sentinel-hub et analysées. La fréquence de passage du satellite est de deux semaines, permettant de mesurer les variations significatives de NDVI. Les données ont ensuite été utilisées pour développer un modèle régressif de la production rizicole en tenant compte des besoins d'irrigation en contre-saison et du climat

2.2.3. Collecte des données édaphiques et analyse de la qualité de l'eau

Des échantillons de sol ont été prélevés fin septembre-octobre 2023 dans quatre blocs rizicoles, totalisant 16 échantillons composites prélevés à 30 cm de profondeur. Sur le terrain, des mesures de la teneur en eau, de la température et de la conductivité électrique ont été effectuées avec un humidimètre. Les échantillons ont été envoyés au laboratoire du CRRESol à l'Université de Kinshasa pour des analyses texturales, afin d'estimer les besoins en eau des cultures. Parallèlement, des échantillons d'eau ont été prélevés sur la rivière N'djili et analysés in situ pour mesurer divers paramètres, dont le pH et la salinité. Ces données sont nécessaires pour la gestion des ressources en eau et l'irrigation

3. Résultats

Cette partie est consacrée à la présentation des résultats des perceptions et expériences des riziculteurs ; évolution de la production rizicole ; estimation des besoins en eau de la culture du riz ; évaluation de la qualité des eaux et des sols ; le protocole de dimensionnement ainsi que leur discussion.

3.1. Opportunités pour la mise en place d'un plan d'aménagement de la riziculture irriguée

La figure 2 (a) 4 indique que 83,2 % des exploitants ne sont pas membres d'une coopérative agricole, tandis que seulement 16,8 % le sont. Une analyse plus approfondie pourrait révéler des tendances et des corrélations entre ces variables. Ceci souligne un manque d'organisation collective parmi les agriculteurs de la zone. Cette situation pourrait avoir des répercussions significatives sur leur accès aux ressources, à l'information et aux formations, ainsi que sur leur capacité à négocier des prix plus avantageux pour leurs produits.

La figure 2 (b) révèle que 91,6 % des répondants disposent d'un dispositif d'irrigation pour leurs champs rizicoles, tandis que 8,4 % déclarent ne pas en avoir. Cette majorité indique une bonne accessibilité à l'irrigation dans la zone étudiée. Ainsi, la présence de ces dispositifs d'irrigation pourrait également favoriser une intensification des pratiques agricoles et la diversification des cultures, c'est qui pourrait palier tant soit peu la sécurité alimentaire locale dans les conditions de changement climatique.

La figure 2 (c) présente les opinions des exploitants sur la production du riz pendant la saison sèche dans la zone d'étude. Il ressort de cette figure que la majorité des répondants (83,6 %) ne produisent pas de riz en saison sèche. Seulement 16,4 % des répondants produisent du riz pendant cette période. Cette situation pourrait être due à divers facteurs, tels que le manque d'accès à des techniques d'irrigation appropriées, des connaissances limitées sur les pratiques de culture en saison sèche ou des contraintes économiques.

La figure 2 (d) quasi-totalité des répondants (99,6 %) jugent l'irrigation indispensable pour leurs cultures, soulignant ses bénéfices en termes de rendement et de résilience climatique. Seuls 0,4 % des agriculteurs estiment qu'elle n'est pas nécessaire, ce qui pourrait révéler un manque d'information ou de connaissances sur les meilleures pratiques agricoles. Ces résultats justifient des actions de sensibilisation et de formation afin de promouvoir l'irrigation.

La figure 2 (e) présente les moyens d'exhaure utilisés dans le périmètre rizicole. De cette figure, il en découle que la motopompe est le moyen d'exhaure le plus couramment utilisé, avec une fréquence de 79,2 %. Environ 15,6 % des répondants utilisent des seaux comme moyen d'exhaure. 66,8 % des répondants utilisent un arrosoir. La combinaison de ces différents moyens d'irrigation souligne l'importance d'une

approche adaptée aux ressources disponibles et aux besoins spécifiques de chaque exploitation.

Cependant, cette situation pourrait également signaler un besoin d'amélioration et de modernisation des équipements d'irrigation, notamment en ce qui concerne l'accès à des technologies plus avancées et durables.

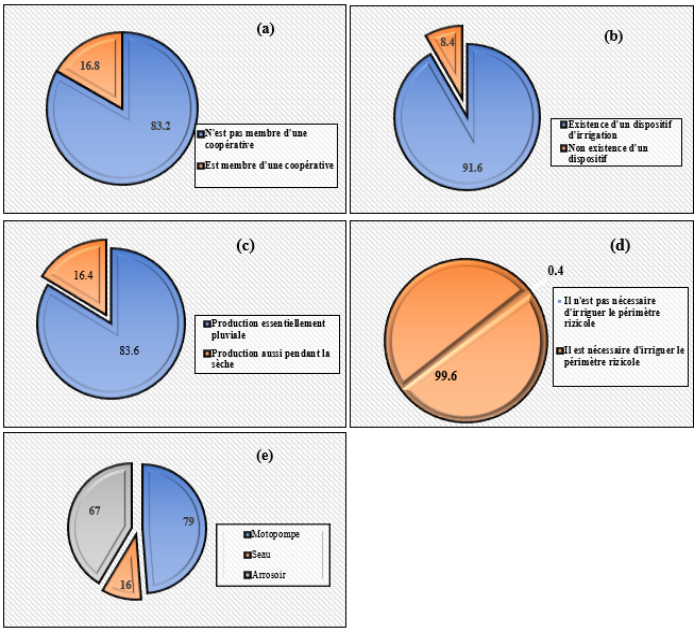

Figure 2. (a) Appartenance à une coopérative agricole; (b) Pratique de l'irrigation dans les exploitations ; (c) Production du riz pendant la saison sèche; (d) Besoin d'irriguer le périmètre rizicole; (e) Moyens d'exhaure utilisés dans le périmètre rizicole

3.2. Evolution de la production rizicole 2010 à 2019

3.2.1. Production rizicole estimée

a. Matrice de corrélation entre la production observée et les valeurs du NDVI

Le modèle régressif obtenu concerne six mois considérés comme critiques en termes de cycle végétatif du riz, non pas nécessairement en raison d'une faible pluviosité, mais plutôt parce qu'ils correspondent à une forte demande en eau due à la nouaison et à la maturation du riz. Ces phases phénologiques nécessitent une quantité suffisante d'eau pour répondre aux besoins énergétiques des plantes. Le modèle prend en compte deux récoltes par an pour les variétés ayant un cycle végétatif de 120 à 150 jours après le semis (Wikifarmer, 2020). Les valeurs négatives observées dans l'analyse sont principalement dues aux sols gorgés d'eau durant certaines périodes.

Tableau I. Matrice de corrélation

Variables	Février	Mars	Juin	Août	Septembre	Novembre	Production
Février	**1.000**	0.259	0.371	-0.034	0.749	0.188	**0.706**
Mars	0.259	**1.000**	-0.013	-0.158	0.098	-0.046	**0.398**
Juin	0.371	-0.013	**1.000**	0.338	0.431	-0.060	**0.568**
Août	-0.034	-0.158	0.338	**1.000**	0.107	0.451	**0.442**
Septembre	0.749	0.098	0.431	0.107	**1.000**	0.106	**0.453**
Novembre	0.188	-0.046	-0.060	0.451	0.106	**1.000**	**0.454**
Production	**0.706**	**0.398**	**0.568**	**0.442**	**0.453**	**0.454**	1.000

La matrice ci-dessus illustre les mois les mieux corrélés avec la production de riz enregistrée. Le modèle de régression se présente comme suit :

Production(T)= 5205 + 5052 x NDVIFév + 1934xNDVIMars+2761xNDVIJuin+2945xNDVIAoût -3256xNDVISept+ 1777xNDVINov. (1-18)

Les coefficients de détermination du modèle sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II. Coefficients de détermination

Observations	**10.000**
R^2	0.926
R^2 ajusté	0.777

b. Comparaison entre les productions rizicoles observée et simulées

La figure 3 ci-dessous montre une distribution concordante intéressante entre les valeurs des productions rizicoles observées et simulées.

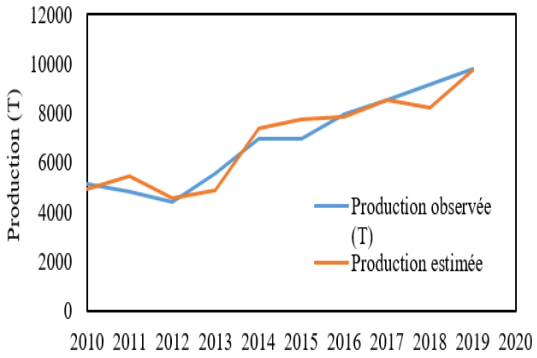

Figure 3. Production rizicoles observée et simulées 2010 à 2019

De ce fait, ce modèle régressif dynamique peut prédire la production annuelle en fonction des observations NDVI des 6 mois les plus représentatifs. Le terme dynamique utilisé s'explique par le fait que ce modèle peut être amélioré en fonction des nouvelles

statistiques de production, et de la qualité des données satellitaires.

L'estimation des erreurs entre les valeurs de la production observées et estimées par le modèle régressif a donné une moyenne de 6.26%, ce qui est acceptable, vue la qualité des données et le nombre d'années très réduit. La figure 4 ci-dessous montre la distribution des erreurs d'une année à l'autre.

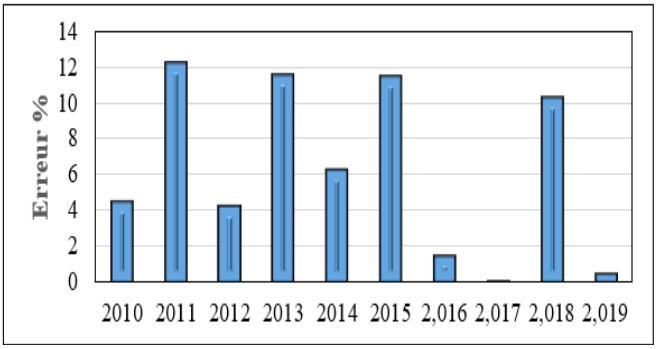

Figure 4. Erreurs relatives à l'estimation de la production par le modèle régressif.

3.3. Besoins en eau de la culture du riz irriguée en contre-saison dans le périmètre rizicole du bassin versant de N'djili

3.3.1. Caractéristiques granulométriques du sol du périmètre rizicole

La figure 5 illustre que, parmi les quatre blocs du périmètre rizicole, trois (blocs 1, 2 et 4) présentent une texture argileuse, tandis que le bloc 3 est limono-argilo-sableux, indiquant une prédominance de l'argile. Ces résultats suggèrent une certaine homogénéité dans la texture du sol. Cette homogénéité pourrait faciliter le développement de pratiques agricoles, notamment l'implémentation de systèmes d'irrigation.

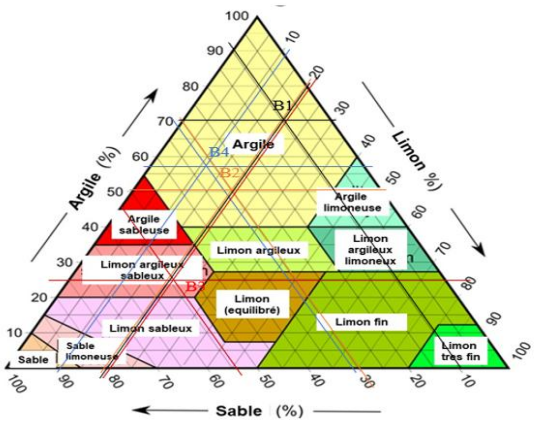

Figure 5. Diagramme textural

3.3.2. Conductivité électrique, Humidité et Température du sol

Le tableau III présente les analyses de l'humidité, de la température et de la conductivité électrique du sol dans quatre blocs du périmètre rizicole. Selon le test de LSD, aucune différence significative n'est observée pour l'humidité et la conductivité électrique, tandis que des variations légères de température existent entre les trois premiers blocs et le quatrième. Ces résultats suggèrent une faible disponibilité en eau et des températures élevées du sol dans l'ensemble des blocs. Ces conclusions sont cohérentes avec celles formulées pour la granulométrie. L'absence de différences significatives sur ces paramètres conduit à l'élaboration d'un modèle unique d'irrigation pour les 4 blocs du périmètre rizicole investigué.

Tableau III. Tableau des résultats d'estimation

Blocs	CE (µS/cm)	Humidité (%)	Température (°C)
Bloc 1	2,23 A	19,31 A	35,72 A
Bloc 2	1,75 A	12,53 A	36,72 A
Bloc 3	2,02 A	21,89 A	35,92 A
Bloc 4	1,94 A	20,71 A	33,52 B
LSD (5%)	0,6961	18,391	1,21

3.4. Besoins en eau proprement dits de la culture du riz

3.4.1. Evapotranspiration

- Pluies efficaces

Le tableau IV présente les pluies efficaces, calculées à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 suivant la méthode USDA S.C en utilisant les données de précipitations moyennes mensuelles sur la période de 2000 à 2017. Il en découle que les mois de Novembre et Juillet ont respectivement des valeurs maximales et minimales de pluies efficaces de 152,2 mm et 0,7mm. Le mois de Novembre est le plus humide et le mois de Juillet est le plus sec.

Tableau IV. Pluies efficaces en mm suivant la Méthode USDA S.C

Variables des pluies (mm)	Mois												
	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Total
Pluie	131.0	149.8	202.8	204.3	155.9	10.0	0.7	6.8	34.5	156.8	271.6	231.3	1555.5
Pluie efficace	103.5	113.9	137.0	137.5	117.0	9.8	0.7	6.7	32.6	117.5	152.2	145.7	1074.1

3.4.2. Evapotranspiration potentielle (mm/jour) suivant la Méthode de Penman Monteith

Le tableau V présente les résultats de l'évapotranspiration potentielle. Il en résulte que le

périmètre rizicole présente une évapotranspiration pénitentielle moyenne mensuelle de 3.19 mm/jour.

Tableau V. Evapotranspiration potentielle (ETo) en mm/jour

Mois	Temp Min (°C)	Temp Max (°C)	Humidité (%)	Vent (Km/jour)	Insolation (Heure)	Ray. (MJ/m²/jour)	ETo (mm/jour)
Janvier	21.9	31.1	81	3	4.5	15.2	**3.08**
Février	21.8	31.6	80	4	4.8	16.4	**3.34**
Mars	22.1	32.2	79	4	5.1	17.4	**3.59**
Avril	22.0	32.0	79	4	5.2	17.4	**3.59**
Mai	21.7	31.1	80	4	4.8	16.1	**3.33**
Juin	19.3	29.2	79	4	4.3	14.9	**2.97**
Juillet	18.4	28.3	76	5	4.0	14.6	**2.80**
Août	19.4	29.4	73	6	4.4	15.8	**3.02**
Septembre	21.0	30.8	71	5	4.6	16.4	**3.23**
Octobre	21.8	31.2	77	4	4.5	16.0	**3.25**
Novembre	21.8	30.9	80	4	4.5	15.3	**3.10**
Décembre	21.8	30.6	82	3	4.2	14.5	**2.93**
Moyenne	21.1	30.7	78	4	4.6	15.8	**3.19**

3.4.3. Besoins en eau de la culture du riz

Le tableau VI résume les résultats relatifs aux besoins en eau du riz, estimés à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 en millimètre (mm/décade), soit 587.0 pour tout le cycle cultural.

Tableau VI. Besoin en eau d'irrigation par phase culturale (mm/déc.)

Mois	Décade	Phase	Kc Coeff.	ETc mm/jour	ETc mm/déc.	Pluie eff. mm/déc.	Bes. Irr. mm/déc.
Mai	1	Pépinière	1.20	0.41	3.7	39.6	0.0
Mai	2	Pépinière/Pré-pépinière	1.08	3.23	32.3	43.1	91.3
Mai	3	Pépinière/Pré-pépinière	1.06	3.42	37.6	29.8	152.1
Juin	1	Initiation de la croissance	1.10	3.40	34.0	9.9	24.1
Juin	2	Initiation de la croissance	1.10	3.27	32.7	0.0	32.7
Juin	3	Croissance	1.10	3.21	32.1	0.1	32.1
Juillet	1	Croissance	1.11	3.17	31.7	0.5	31.2
Juillet	2	Croissance	1.11	3.12	31.2	0.0	31.2
Juillet	3	Mi-saison	1.12	3.20	35.3	0.3	34.9
Août	1	Mi-saison	1.12	3.29	32.9	1.0	31.9
Août	2	Mi-saison	1.12	3.37	33.7	1.3	32.3
Août	3	Arrière – saison	1.11	3.44	37.9	4.5	33.4
Septembre	1	Arrière – saison	1.08	3.41	34.1	6.2	27.9
Septembre	2	Arrière – saison	1.03	3.32	33.2	8.1	25.1
Septembre	3	Arrière – saison	0.98	3.17	25.4	14.8	6.9
Total					**467.6**	**159.2**	**587.0**

Légende :

Kc coeff : Coefficient cultural de la culture du riz

ETc mm/jour : Evapotranspiration réelle journalière en mm

ETc mm/déc. : Evapotranspiration réelle décadaire en mm

Pluie eff. mm/déc. : Pluie efficace décadaire en mm

Bes. Irr. mm/déc. : Besoin en eau d'irrigation décadaire en mm

3.4.4. Besoin mensuel en eau d'irrigation du riz

La figure 6 présente la quantité d'eau en mm du périmètre rizicole pour la période allant de mois de mai jusqu'au mois de septembre (contre-saison). Il en résulte que le mois de mai représente le mois qui requiert une quantité d'eau élevée pour répondre au besoin d'irrigation de pointe soit 243,4mm.

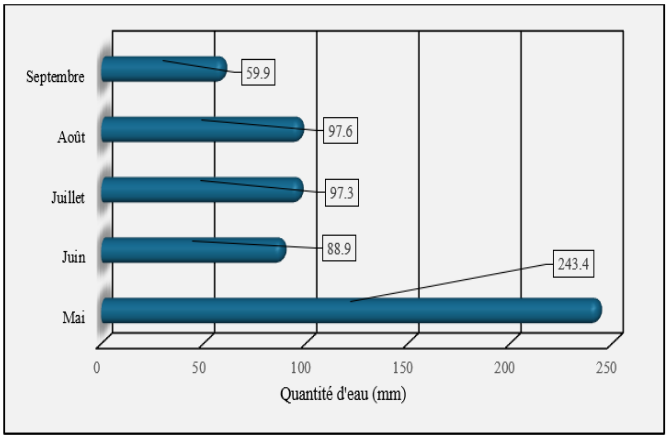

Figure 6. Besoin mensuel en eau d'irrigation du riz

3.5. Qualité de l'eau destinée à l'irrigation

Le tableau VII restitue les résultats liés aux analyses de la qualité de l'eau destinée à l'irrigation. Il s'agit des résultats relatifs au pH, à la température, à la conductivité électrique, au total solide dissout et à la salinité.

Tableau VII. pH, Température, Conductivité Electrique, et Salinité

	pH	T°	CE (µS/cm)	TDS (mg/l)	Salinité (mg/l)
Normes FAO	6,5-8,5	35	3000	2000	<500 (Non saline)
Moyenne	6,39	27,37	11,21	5,60	0,01
Ecart type	±0,32	±0,52	±0,88	±0,39	±0,00

3.6. Modèle d'irrigation du périmètre rizicole : Plan d'aménagement hydro-rizicole

3.6.1. Réseau, Altitude des nœuds et longueurs des conduites

La figure 7 suivante donne le détail sur les altitudes du périmètre rizicole de Masina Rail 1, pour lesquels la valeur max est de 285 et min est de 245, les nœuds ainsi que les conduites.

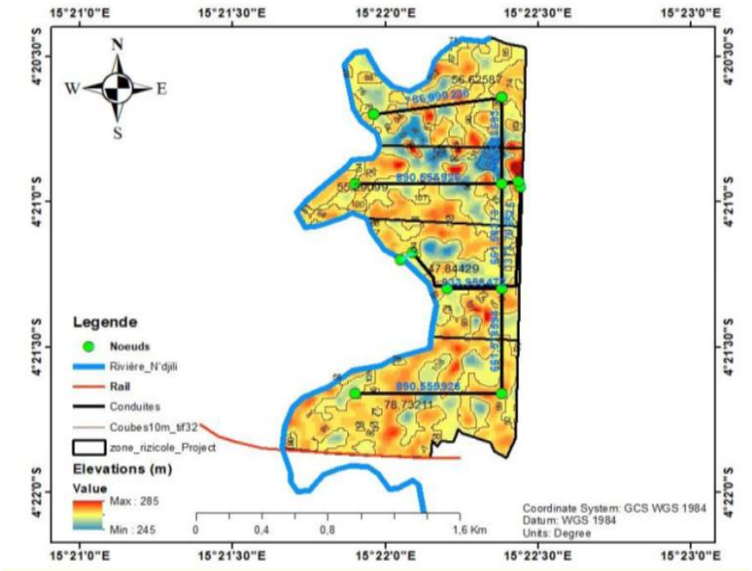

Figure 7. Carte du réseau, altitudes de la zone rizicole de Masina Rail I (Chiffre en noir représente la superficie du bloc tracé en hectare et le chiffre en bleu représente la longueur de la conduite

3.6.2. Débit spécifique

Le tableau VIII présente les résultats liés au débit spécifique pour les 4 blocs rizicoles. Il en découle que le volume total en eau pour la phase de pointe de 10 jours de la culture de riz est de 36 274,82 litres avec un débit total de 1 847,33 l/s pour la superficie totale de 238,49 hectares. Il sied de noter que le besoin en eau d'irrigation est différent d'une phase culturale à une autre, tel qu'illustré dans la figure 6.

Tableau VIII. Calcul de débit spécifique

Bloc	Surface (Ha)	Besoin de pointe (mm)	Volume (l)	Débit spécifique (l/s/Ha)	Débit spécifique total (l/s) ou du bloc rizicole
Bloc 1	78,73	152,10	1 1975,15	7,04	609,85
Bloc 2	56,63	152,10	8 612,79	7,04	438,61
Bloc 3	55,29	152,10	8 409,76	7,04	428,27
Bloc 4	47,84	152,10	7 277,12	7,04	370,59
Total périmètre	238,49	152,10	36274,82	7,04	1 847,33

3.6.3. Volume de dimensionnement du réservoir

Le volume estimé pour le périmètre est de 15.000 m^3, qui est le volume de dimensionnement du réservoir. Quatre réservoirs ont été définis pour l'ensemble du périmètre. Chaque réservoir est d'une capacité de 3750 m^3. Ce qui a amené d'avoir quatre pompes au niveau du captage pour le remplissage des réservoirs ayant les caractéristiques suivantes :

- Q = 24.63m^3/h
- HMT = 120mce

3.6.4. Simulation du périmètre rizicole

La simulation s'est faite avec les diamètres approximatifs, qui a donné des pressions très importantes dans certains tronçons du réseau.

Après simulation à l'aide du logiciel EPANET 2.0, le modèle d'irrigation du périmètre rizicole, notamment l'adduction et la distribution de l'eau dans le périmètre a été développé en respectant les normes de vitesses aux conduites d'irrigation (0,5m/s à 2,5m/s) et des pressions aux nœuds supérieures à zéro. La figure 8 ci-après présente le schéma de simulation ou le modèle d'irrigation développé.

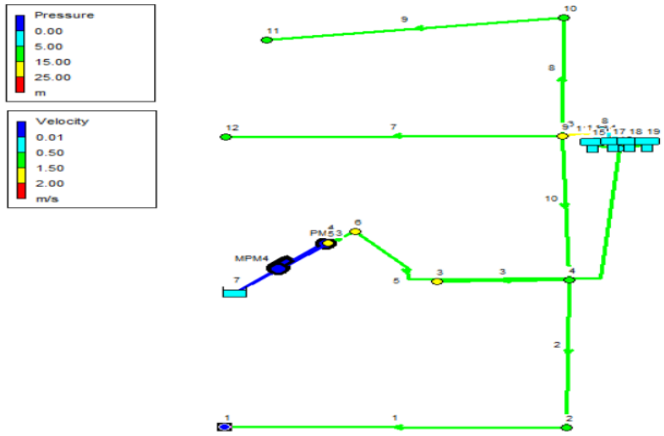

Figure 8. Schéma de simulation sur EPANET

Les tableaux IX et X présentent respectivement les valeurs d'élévation, de demande de base et de pression pour chaque nœud de la demande d'une part, et les valeurs de longueur, de diamètre, le débit et la vitesse d'autre part pour chaque conduite.

Les nœuds d'irrigation (1, 2, 3, 4, 9, 10, 11 et 12) donnent des pressions acceptables pour l'irrigation comprise entre 10 et 20 mètres de colonne d'eau (m.c.e), qui est l'idéale pour un réseau de distribution d'l'irrigation. Les nœuds au niveau d'adduction (5, 6, 8 et 16) ont des pressions 1,07 et 21, 51m.c.e. Les nœuds à l'entrée du réservoir et à la sortie (16 et 8) ont des pressions respectives de 1,07 et 2,99 m.c.e., elles ne peuvent pas détruire la structure du réservoir. La Pression au niveau de chaque réservoir est de 1 m.c.e. Les vitesses d'écoulement dans le réseau, se trouvent dans l'intervalle de 0.65 et 1.46 m/s.

Tableau IX. Pressions aux nœuds

Nœud de demande	Elévation (m)	Demande de base (l/s)	Pression (m.c.e)
1	267	304,92	15,23
2	273	304,92	10,79
3	269	219,31	15,62
4	271	219,31	13,95
5	270	0	21,51
6	271	0	20,19
8	283	0	2,79
9	269	214,14	16,66
10	272	185,3	12,44
11	271	185,3	11,75
12	271	214,14	12,16
16	285	0	1,07

Les informations présentées dans ces deux tableaux VIII et IX tableaux décrivent de manière détaillée les caractéristiques techniques du réseau de distribution d'eau pour l'irrigation. Le tableau IX se concentre sur les valeurs de pression aux différents nœuds du réseau. Il montre que les pressions aux nœuds d'irrigation se situent dans la plage idéale de 10 à 20 mètres de colonne d'eau (m.c.e.), ce qui est essentiel pour assurer un bon fonctionnement du système d'irrigation. Les pressions plus élevées aux nœuds d'adduction et à l'entrée/sortie du réservoir restent dans des limites acceptables et ne devraient pas poser de problème. Le tableau X, quant à lui, fournit des informations sur les caractéristiques physiques des conduites du réseau, telles que la longueur, le diamètre, le débit et la vitesse d'écoulement. Ces données montrent que les vitesses se situent dans une plage comprise entre 0,65 et 1,46 m/s, ce qui est également conforme aux standards pour ce type de système. Ensemble, ces deux tableaux présentent un portrait technique complet du réseau de distribution d'eau pour l'irrigation, permettant d'en évaluer la conception et le dimensionnement.

Tableau X. Caractéristiques physiques des conduites du réseau

Conduite	Longueur (m)	Diamètre conduite (mm)	DN conduite (mm)	Débit (l/s)	Vitesse (m/s)
1	890,55	581,8	710	304,92	1,15
2	661,57	738,8	800	609,84	1,42
3	333,95	581	710	219,31	0,83
4	84,57	400	500	183,32	1,46
5	1373,76	400	500	183,32	1,46
6	103,95	1250	1250	1847,34	1,51
7	890,55	461,8	560	214,14	1,28
8	551,32	581,8	710	370,6	1,39
9	786,99	461,8	560	185,3	1,11
10	661,58	1000	1000	1048,46	1,33
18	50	300	300	45,83	0,65
19	50	300	300	45,83	0,65
20	50	300	300	45,83	0,65
21	50	300	300	45,83	0,65
11	100	654,8	800	461,84	1,37
12	100	654,8	800	461,84	1,37
13	100	654,8	800	461,84	1,37
14	100	654,8	800	461,84	1,37

4. Discussion

4.1. Perceptions et expériences des riziculteurs sur la nécessité de réaliser les aménagements hydroagricoles pour la culture du riz

Selon le Groupe de la Banque mondiale (2023), les riziculteurs de Masina Rail 1 manquent de connaissances sur les techniques d'irrigation innovantes et la gestion des périmètres irrigués. Malgré cela, la zone offre des opportunités pour augmenter la production de riz grâce à sa géographie, son hydrographie et sa topographie. Les riziculteurs expriment un besoin de renforcement des capacités techniques et d'implémentation de systèmes d'irrigation efficaces. Ces éléments soulignent la nécessité de développer un système d'irrigation pour garantir une production de riz durable.

Les études réalisées par la Banque Mondiale (2023), MADR (2013, 2023), et Mayengo & Munzele (2000) montrent qu'à défaut d'avoir les systèmes d'irrigation adéquats, les riziculteurs ne produisent que pendant la saison pluvieuse (83,6 % en moyenne), le riz irrigué est pratiqué de mi-septembre à janvier pour la Saison A et de mars à mi-juin pour la Saison B. Ceci prouve en suffisance que la production du riz est essentiellement pluviale.

4.2. Evolution de la production rizicole

Entre 2012 et 2016, la production moyenne de riz en République démocratique du Congo a diminué en raison du manque de soutien de l'État et d'infrastructures hydro-agricoles, selon la SNDR II de 2023. Cependant, de 2016 à 2018, une croissance de 3,5 % a été observée grâce à des projets ciblés et à l'initiative CARD. Bien que l'utilisation de variétés à haut rendement ait été encouragée, les améliorations des systèmes d'irrigation sont restées insuffisantes.

Cela explique la hausse de la production sans une expansion significative des surfaces cultivées.

Les analyses de régression linéaire effectuées dans cette étude mettent en évidence l'évolution progressive mais faible de la production rizicole annuelle dans le périmètre étudié. Cependant, il est important de souligner que ces rendements sont uniquement obtenus pendant la saison pluvieuse avec du riz pluvial. Cela témoigne d'un potentiel de rendements supplémentaires non exploité en l'absence de systèmes d'irrigation performants qui pourraient être utilisés efficacement pendant la saison sèche.

Ces évidences confirment partiellement l'hypothèse préalablement émise pour cette question qui considérait que la tendance de la production rizicole dans le périmètre de Masina Rail 1 serait régressive en considérant la période allant de 2010 et 2019.

4.3. Besoins en eau de la culture du riz irriguée en contre-saison dans le périmètre rizicole

Les études de Hamida & Fatima, (2018) ; Ouedraogo, (2017) confirment que les besoins en eau des cultures varient en fonction des mois, étant plus importants pendant les mois secs et plus faibles pendant les mois humides. Les résultats de cette étude corroborent cette observation, montrant des besoins en eau plus élevés en mai (un mois sec) et moins élevés en septembre (un mois humide). Cela est d'autant plus vrai compte tenu du régime pluviométrique de la zone d'étude, qui se caractérise par des périodes de pluie et de sécheresse, offrant la possibilité d'avoir un débit moyen de 22,3 m^3/s capable de satisfaire les besoins en eau même pendant la saison sèche.

4.4. Qualité des eaux destinées à l'irrigation de la culture riz

Selon les études de Ouir (2022) et Maynard & Hochmuth (1997), les eaux de la zone d'étude, avec une valeur moyenne de pH de 6,39, ne présentent pas de risque de colmatage ni de salinité pour les ouvrages d'irrigation. Cependant, les résultats de Falasi (2018) montrent que ces eaux peuvent être dangereuses pour l'irrigation du riz en raison de leur toxicité, de la présence de métaux lourds et de diverses infections biologiques. Il est donc recommandé de mettre en place des mécanismes de traitement appropriés pour préserver la santé humaine.

4.5. Plan d'aménagement hydro-rizicole

Les infrastructures d'irrigation du riz dans le bassin versant de N'djili sont obsolètes et inadaptées en termes de pression et de vitesse de l'eau dans les conduites pour répondre aux besoins des plantes et aux conditions environnementales et climatiques. Cette hypothèse a été confirmée. D'où, il est essentiel de mettre en place un plan d'aménagement hydro-rizicole afin d'améliorer les rendements et de fournir des revenus substantiels aux riziculteurs tout au long de l'année.

En effet, l'efficacité d'un plan d'aménagement dépend de deux paramètres hydrauliques prioritaires, à savoir la vitesse d'écoulement et la pression dans la conduite. Ahcene & Karim. (2022) renseignent que les vitesses d'écoulement dans le réseau doivent être dans l'intervalle de 0.5 et 2.5m/s. Les résultats obtenus après simulation du modèle se trouvent dans cet intervalle, soit la plus faible vitesse de 0.65m/s et la plus forte vitesse de 1.46m/s.

Les valeurs de pression dans les conduites du réseau d'irrigation d'adduction et de distribution varient entre 1,07 et 21,51 m.c.e., ce qui est idéal pour un plan d'irrigation. Les pressions aux nœuds d'entrée et de sortie du réservoir sont respectivement de 1,07 et 2,99 m.c.e., ce qui n'endommagera pas la structure du réservoir. Une pression de 1 m.c.e. est maintenue au niveau de chaque réservoir. En conséquence, des conduites en PEHD seront utilisées pour les faibles pressions, tandis que des conduites en fonte seront utilisées pour les pressions élevées en raison de leur résistance à l'éclatement.

5. Conclusion

Cette étude vise à innover les systèmes d'irrigation afin d'améliorer la productivité du riz et les revenus des agriculteurs dans le bassin de la rivière N'djili. Les objectifs incluent l'analyse des perceptions des riziculteurs concernant les aménagements hydroagricoles, l'évaluation de la production rizicole de 2010 à 2019, ainsi que l'estimation des besoins en eau pour la culture du riz en contre-saison. Elle prévoit également l'évaluation de la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation et le développement d'un protocole de dimensionnement tenant compte des besoins en eau et des caractéristiques topographiques, climatiques et pédologiques.

Ainsi, une approche holistique combinant méthodes qualitatives et quantitatives est adoptée. Les activités comprennent des enquêtes quantitatives sur les perceptions des riziculteurs, des analyses des indices hydro-climatiques et des estimations de production. La collecte et l'analyse de données édaphiques sont réalisées pour estimer les besoins en eau, tandis que la qualité de l'eau d'irrigation est évaluée à partir d'échantillons prélevés. Enfin, la

modélisation du périmètre rizicole permettra de développer un protocole de dimensionnement adapté.

A l'issue des différentes analyses effectuées, les conclusions suivantes ont été établies : le périmètre rizicole de Masina Rail 1 présente des possibilités d'accroître la production de riz, mais les riziculteurs se limitent actuellement à la saison pluvieuse, qui représente 83,6 % de leur production totale. La culture du riz irrigué se déroule principalement de mi-septembre à janvier (Saison A) et de mars à mi-juin (Saison B), soulignant ainsi la forte dépendance de la production de riz aux précipitations. L'évolution de la production rizicole dans le périmètre étudié révèle une faible progression annuelle, principalement limitée aux rendements de la saison pluvieuse.

L'absence de systèmes d'irrigation efficaces pendant la saison sèche représente un potentiel de rendements supplémentaires non exploité. Les besoins en eau de la culture du riz irrigué varient selon les saisons, étant plus élevés en mai et moins en septembre. Un débit moyen de 22,3 m^3/s est suffisant pour satisfaire les besoins en eau, même durant la saison sèche. Les analyses de qualité des eaux d'irrigation montrent qu'elles respectent les normes de l'USDA et de la FAO, sans risque pour les cultures.

Enfin, le plan d'aménagement hydro-rizicole du bassin versant de N'djili nécessite une mise à niveau des infrastructures d'irrigation en raison de leur vétusté, et les simulations montrent que les vitesses d'eau optimales doivent se situer entre 0,65 m/s et 1,46 m/s, avec des pressions dans les conduites variant de 1,07 m.c.e à 21,51 m.c.e.

Remerciements

Nous adressons nos remerciements au Centre de Recherche en Ressources en Eau du Bassin du Congo et Ecole Régionale de l'Eau, programme GMES & Africa, NBCBN-Foundation Research Fund RD102-23, Waternet/SADC.

Financement

Cette recherche a été financée en entièreté par le programme GMES & Africa, NBCBN-Foundation Research Fund RD102-23 et Waternet/SADC.

Conflit d'Intérêt

Le présent travail a été réalisé en toute impartialité et toute indépendance d'esprit. Aucun conflit d'intérêt n'a été signalé.

Considérations éthiques

Une conduite responsable qui tient compte des principes et normes morales a été suivie pour mener à bien cette étude.

Contribution des auteurs

K.K.F : a rédigé le manuscrit principal, méthodologie, investigation, validé la version finale, et soumis la version finale.

A.A : a supervisé l'étude, participé à la rédaction et à l'analyse statistique.

L.K.G.-S : a participé l'analyse statistique, à la collecte des données et à la discussion des résultats.

A.M.P : a contribué aux analyses et l'interprétation des résultats.

N.N.L : a participé à la collecte des données spatiales et à la discussion.

L.A.Y : a participé à la discussion et à la mise en forme du document.

K.S. J : a participé à la collecte des données.

K.M.P : a participé à la relecture critique du manuscrit et à la mise en forme de l'article.

R.M.T : a supervisé l'étude, participé à la rédaction et validé la version finale.

ORCID des Auteurs

Kayembe K.F : https://orcid.org/0009-0003-5618-2472

Ammari A. : https://orcid.org/0000-0001-7197-5962

Lutonadio K.G-S : https://orcid.org/0000-0003-1132-2462

Aluda M.P: https://orcid.org/0009-0001-1397-1995

Kalume S.J: https://orcid.org/0009-0002-4381-3995

Kazwenga M.P: https://orcid.org/0009-0007-0694-3877

Lukuke A.Y: https://orcid.org/0009-0008-4359-0481

Nkaba N.L: https://orcid.org/0000-0002-7491-9349

Raphael M.T: https://orcid.org/0000-0002-4726-3495

Références bibliographiques

Action Contre la Faim. (2009). *Rapport d'étude sur l'agriculture périurbaine (maraîchage) de Kinshasa/RDC.*

Ahcene, A., & Karim, L. (2022). *Étude et dimensionnement du réseau d'irrigation dans la commune de Tazmalt, Wilaya de Bejaia* [Mémoire de master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia].

Falasi, N. J. R. (2018). *Pollution de la rivière N'djili et contraintes de gestion des sols autour du Pool Malebo : Cas du site agricole Masina Rail 1/Kinshasa* [Mémoire de master, Université de Liège et Université Catholique de Louvain].

FAO. (2021). *Étude de faisabilité du projet de renforcement de la résilience climatique des écosystèmes agro-sylvo-pastoraux et des moyens d'existence des communautés rurales en République démocratique du Congo*.

FAO, Union européenne, & Cirad. (2022). *Profil des systèmes alimentaires : République démocratique du Congo. Activer la transformation durable et inclusive de nos systèmes alimentaires*.

Hamida, T., & Fatima, K. (2018). *Dimensionnement d'un réseau d'irrigation du périmètre Hessaine, Wilaya de Mostaganem* [Mémoire de master, Université Djillali Bounaama].

Indice des prix à la consommation. (2022). *Aperçu de la sécurité alimentaire et de la nutrition : République démocratique du Congo*.

Kakundika, J. M., Musibono, D. E., Yvonne, I. S., & Tangou, T. T. (2019). Facteurs environnementaux dégradants des cours d'eaux urbains : Cas de la rivière N'djili à Kinshasa (RDC). *International Journal of Innovation and Applied Studies, 27*(3), 818–830.

Luboya, J.-D. K. M. (2002). *Étude systémique du bassin versant de la rivière N'djili à Kinshasa* [Mémoire de diplôme d'études supérieures, École Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux].

Lututala, B. M. (2022). *Méthodes et processus de recherche en sciences sociales* [Notes de cours destinées aux apprenants de DEA].

Mayengo, A., & Munzele, J. M. (2000). *Guide pratique pour une exploitation agricole située à Kinshasa et sa périphérie*.

Maynard, D. N., & Hochmuth, G. J. (1997). *Knott's handbook for vegetable growers*.

Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. (2013). *Stratégie nationale de développement de la riziculture (SNRD)*.

Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. (2023). *Stratégie nationale de développement de la riziculture (SNDR II)*.

Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature, Eaux et Forêts. (2006). *Programme d'action national (PAN) de lutte contre la dégradation des terres et la déforestation*.

Moula, N., Detiffe, N., Farnir, F., Antoine-Moussiaux, N., & Leroy, P. (2012). Aviculture familiale au Bas-Congo, République démocratique du Congo (RDC). *Livestock Research for Rural Development, 24*(5), 15.

Ndolo, P. G. (2015). *GIS-based soil erosion modeling and sediment yield of the N'djili River Basin, Democratic Republic of Congo* [Master's thesis, Colorado State University].

Ouedraogo, L. (2017). *Conception et dimensionnement d'un système d'irrigation de type semi-californien de 40 ha à Kouforpissiga, République du Bénin* [Mémoire de master, 2iE].

Ouir, F. Z. (2022). *Étude du périmètre hydro-agricole d'El Eulma secteur 4 à partir du barrage Draa Diss avec une superficie de 1160 ha (W. Sétif)* [Mémoire de fin d'étude, École Nationale Supérieure d'Hydraulique].

Programme des Nations Unies pour l'environnement. (2011). *Problématique de l'eau en République démocratique du Congo : Défis et opportunités. Rapport technique*.

Sultan, B., Zhao, Y., Ducharne, A., Braconnot, P., & Vautard, R. (2015). Estimating heat stress from climate-based indicators: Present-day biases and future spreads in the CMIP5 global climate model ensemble. *Environmental Research Letters, 10*, Article 084013.

Tshimanga, R. M., Miche, M. B., Mumpasi, B. L., Kenge, M. N., & Kiari, H. F. (2022). *Gérer les interactions entre les migrations et les conflits dus au changement climatique et à l'eau en vue de renforcer la résilience des communautés dans le Bassin du Congo*.

Wikifarmer. (2020). *Récolte du riz, rendement par hectare et stockage*. https://wikifarmer.com/fr/recolte-du-riz-rendement-par-hectare-et-stockage/