

ÉTUDE TECHNIQUE POUR LA MOBILISATION DES EAUX DE SURFACE PAR SEUIL D'EPANDAGE : CAS DU OUADI IRIBA (PROVINCE DE WADI-FIRA, TCHAD)

Laouna OUANG-YANG, Université de Yaoundé 1 (Cameroun), ouangyanglaouna@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-2381-6937>

Joseph YOUTA HAPPI, Université de Yaoundé 1 (Cameroun), youtahappi@yahoo.fr
ADOUM Attor Annour, Institut National Supérieur du Sahara et du Sabel d'Iriba (Tchad), annouradoumattor@gmail.com

Evariste VAVIMBI GALAPMA, Institut National Supérieur du Sahara et du Sabel d'Iriba (Tchad), vavimbigalapma@gmail.com

OUSMAN Souleyman Moursal, Institut National Supérieur du Sahara et du Sabel d'Iriba (Tchad), moursalousmansouleyman@gmail.com

Résumé

Dans les régions semi-arides du Tchad, la gestion des eaux de ruissellement est une priorité pour la résilience des systèmes agro-pastoraux. Cet article présente l'étude technique d'un seuil d'épandage conçu pour le Ouadi Iriba. L'objectif principal est de réduire la vitesse des flux de crue pour favoriser l'infiltration profonde et protéger les berges contre l'érosion régressive. S'appuyant sur une méthodologie rigoureuse incluant l'analyse hydrologique (méthode ORSTOM), des levés topographiques et un dimensionnement structurel en maçonnerie de moellons, l'étude propose un ouvrage d'une longueur totale de 120 mètres et une hauteur maximale de 1,5 mètre. Les résultats ont permis de déterminer le débit de crue décennal à 85 m³/s et démontrent que cet aménagement permet non seulement de recharger la nappe phréatique mais aussi de stabiliser les sols arables, offrant ainsi une solution durable pour la sécurité alimentaire dans la province de Wadi-Fira.

Mots-clés : *Seuil d'épandage, Mobilisation des eaux, Hydrologie sabélienne, Ouadi Iriba, Tchad.*

TECHNICAL STUDY FOR SURFACE WATER MOBILIZATION VIA SPREADING WEIR: A CASE STUDY OF WADI IRIBA (WADI-FIRA PROVINCE, CHAD)

Abstract

In the semi-arid regions of Chad, runoff management is a critical priority for the resilience of agro-pastoral systems. This article presents a technical study of a spreading weir designed for Wadi Iriba. The primary objective is to reduce flood flow velocity to promote deep infiltration and protect banks against regressive erosion. Based on a rigorous methodology including hydrological analysis (ORSTOM method), topographic surveys, and structural design using rubble masonry, the study proposes a structure with a total length of 120 meters and a maximum height of 1.5 meters. The results determined the ten-year flood flow at 85 m³/s and demonstrate that this development not only facilitates groundwater recharge but also stabilizes arable soils, providing a sustainable solution for food security in the Wadi-Fira province.

Keywords: *Water-spreading weir, Water resource development, Sabelian hydrology, Wadi Iriba, Chad.*

Introduction

Le Tchad fait face à des défis climatiques majeurs caractérisés par des pluies intenses mais brèves, provoquant un ruissellement agressif. Le Sahel tchadien est marqué par une dégradation accélérée des écosystèmes sous l'effet conjugué de la pression anthropique et du changement climatique. Selon le Programme National du Secteur Forestier (PNSF, 2018, p.24), la rareté des ressources forestières et hydriques fragilise les modes de vie ruraux. Dans la province du Wadi-Fira, l'eau est la ressource limitante par excellence. La rareté des pluies, concentrées sur une période très courte, contraste avec la violence des écoulements dans les ouadis qui se perdent par évaporation ou s'écoulent hors des zones de production (Rochette 1991, p.112). L'aménagement du Ouadi Iriba par un seuil d'épandage se justifie par la nécessité impérieuse de capter cette "manne hydrique" saisonnière pour sécuriser les systèmes de production agro-pastoraux et restaurer le potentiel

productif des sols (Nill. D 2012, p.45). Dans la zone d'Iriba, les "ouadis" constituent la principale ressource hydrique, bien que leur écoulement soit éphémère. Les techniques traditionnelles de gestion de l'eau s'avèrent souvent insuffisantes face à l'ampleur de l'érosion. Malgré l'existence d'écoulements superficiels importants lors des crues, les populations d'Iriba font face à un stress hydrique chronique. Comme le souligne Padonou (2009, p.78), les eaux de ruissellement, dotées d'une forte énergie cinétique, provoquent une érosion régressive des lits de ouadis, entraînant un abaissement du niveau de base et, par ricochet, un assèchement des puits villageois et une perte de terres arables. La question centrale est donc de savoir comment transformer ces crues dévastatrices en une ressource gérable pour l'irrigation et la recharge des nappes ? L'absence d'ouvrages de régulation entraîne le tarissement rapide des puits après la saison des pluies et le décapage des sols arables par des courants de crue à haute énergie, menaçant la sécurité alimentaire des populations locales.

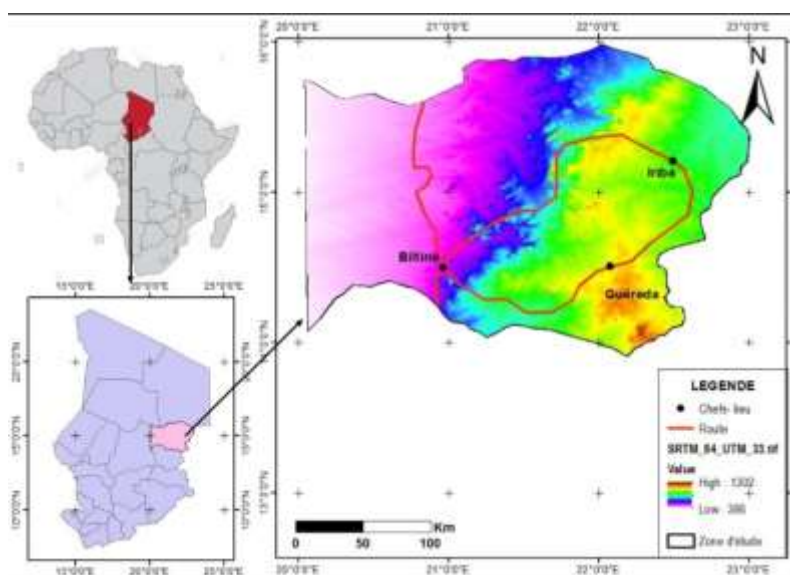
L'objectif général est de fournir une base technique et scientifique pour la mobilisation durable des eaux de surface à Iriba. L'étude repose sur l'hypothèse que la construction d'un ouvrage de type seuil d'épandage en maçonnerie permet de briser la vitesse du flux et de provoquer un étalement latéral de la crue (Soulga, 2015, p.15) et d'augmenter le temps de contact eau-sol, garantissant ainsi une infiltration optimale vers la nappe phréatique et une sédimentation des particules fines fertiles.

1. Méthodologie

La conception de l'ouvrage a suivi une approche pluridisciplinaire et rigoureuse combinant une revue documentaire, des enquêtes socio-économiques, des reconnaissances de terrain et des analyses de bureau. Cette approche est similaire à celle validée par Kaboré (2016) pour l'étude des seuils d'épandage au Burkina Faso. L'étude porte sur la conception d'un seuil d'épandage de 120m dans le Ouadi Iriba, visant à freiner les crues (débit décennal de $85\text{m}^3/\text{s}$) pour favoriser l'infiltration et la recharge des nappes alluviales, essentielles à l'agro-pastoralisme dans cette zone semi-aride du Tchad.

1.1. Zone d'étude

Iriba est située dans une zone de transition entre le Sahel et le désert. La pluviométrie y est faible, comprise entre 200 et 300mm/an, et se concentre sur seulement trois mois (juillet-septembre). Le relief est marqué par des collines dénudées favorisant des temps de réponse hydrologique très courts. Les ressources en eau proviennent principalement phréatique dans les altérites cristallin et dans des ouadis, dont profondeur varie mètres dans les bas-fonds et peut dépasser 40 mètres sur les plateaux.



Source : Travaux de terrain, Varimbi. G et Ouang-Yang L, 2025

Figure 1 : Carte de localisation de la ville d'Iriba

Le site spécifique retenu pour l'implantation du seuil d'épandage se situe à environ 7 km au Sud-Ouest de la ville d'Iriba. Les coordonnées géographiques du site d'étude sont comprises entre 15°10' et 15°30' de latitude Nord et 22°10' et 22°30' de longitude Est. L'altitude moyenne de la zone d'étude est de 950 mètres au-dessus du niveau de la mer.

1.2. Collecte, traitement et analyse des données

La revue documentaire a permis de collecter des informations sur la zone d'étude et sur les caractéristiques du Ouadi d'Iriba. Les documents consultés comprennent des rapports techniques du Ministère de l'Hydraulique du Tchad, des études hydrologiques régionales, des manuels techniques sur les aménagements hydrauliques en zone sahélienne, et des publications scientifiques sur la gestion des ressources en eau en milieu aride.

Le questionnaire et le guide d'entretien ont servi de support pour obtenir les données. Les entretiens semi-structurés ont été menés auprès des chefs de service des ONG.

Les réponses aux questionnaires codifiées et analysées avec les logiciels SPSS, EXCEL 2016 et ATLAS-TI ont permis de réaliser des tableaux, des graphiques et de transcrire l'enregistrement fait lors des entretiens. La cartographie numérique a été réalisée sur ArcGIS.

1.3. Cadre des équations techniques de dimensionnement et de stabilité

L'ouvrage conçu est de type poids, en maçonnerie de moellons liés au mortier de ciment dosé à 350kg/m³. Les calculs s'appuient sur les approches suivantes :

Pour déterminer le débit de crue, deux méthodes ont été utilisées : la méthode de l'ORSTOM et la méthode du CIEH (Comité Interafricain d'Études Hydrauliques), conformément aux recommandations du Bulletin FAO 54 (1996).

L'analyse fréquentielle des pluies annuelles a été effectuée à partir des données pluviométriques de la station météorologique d'Iriba sur la période 1990-2020, en utilisant la loi de Gumbel pour déterminer la pluie journalière décennale.

a. Méthode ORSTOM

La méthode ORSTOM, révisée en 1993 utilise la formule suivante pour calculer le débit de crue décennal (Q_{10}) :

Equation 1 : Débit de pointe décennale (ORSTOM)

$$Q_{10} = Q_{r10} \times (1 + \alpha)$$

Avec :

$$Q_{r10} = A \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{T_{b10}}$$

Où :

A	est le coefficient d'abattement de Villaume
P_{10}	est la hauteur de pluie journalière décennale en mm
K_{r10}	est le coefficient de ruissellement décennal en %
α_{10}	est le coefficient de pointe décennal
S	est la superficie du bassin versant en km ²
T_{b10}	est le temps de base correspondant à la crue décennale en minutes
Q_{r10}	est le débit de crue ruisselé décennal en m ³ /s
Q_{10}	est le débit de crue décennal en m ³ /s

b. Méthode CIEH

La méthode CIEH, (méthode statistique) repose sur un schéma de régression multiple exprimé par l'équation suivante :

Equation 2 : Débit de pointe décennale (CIEH)

$$Q^{10} = a \times S^s \times P_{m10}^p \times Ig^i \times K_{r10}^k \times Dd^d$$

Où :

a, s, p, i, k, d sont des coefficients à déterminer dans le tableau 11 du bulletin FAO 54

S est la superficie du bassin versant en km²

P_{m10} est la hauteur de pluie journalière décennale moyenne sur le bassin en mm

I_g est l'indice global de pente en m/km

Kr₁₀ est le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale en %

Dd est la densité de drainage en km⁻¹

1.3.1. Dimensions du déversoir

La hauteur et la longueur du déversoir ont été déterminées en fonction du débit de crue décennal et des caractéristiques topographiques du site.

La formule de dimensionnement utilisée est celle du déversoir à seuil épais, exprimée par :

Equation 1: Ecoulement sur le seuil

$$Q = m \times l \times h^{(3/2)} \times \sqrt{(2g)}$$

Où :

Q est le débit en m³/s

m est le coefficient de débit (pris égal à 0,385 pour un seuil épais)

l est la longueur déversante en m

h est la charge sur le seuil en m compris entre 0.4 < h < 0.7

g est l'accélération de la pesanteur (9,81 m/s²)

1.3.2. Dimensions du chenal-radier

Le dimensionnement du chenal-radier a été fait pour permettre le franchissement du cours d'eau même en cas de déversement. La formule de Manning-Strickler a été utilisée pour déterminer la profondeur minimale :

Equation 2: formule de Manning Strickler

$$Q = K \times S \times R^{(2/3)} \times I^{1/2}$$

Avec :

Q est le débit sur le seuil (débit du projet) en m³/s

K est le coefficient de Manning-Strickler (K=60 pour un canal en maçonnerie vieille)

S est la section mouillée obtenue par la formule en m² : S = L × y_n

R est le rayon hydraulique en m par la formule : $R = \frac{S}{L + 2 \times y_n}$

I est la pente du chenal en m/m (prise égale à 0,002 m/m pour éviter la dégradation)

y_n est la profondeur normale du chenal (profondeur minimale) en m

La profondeur critique a été calculée à partir de la formule suivante pour vérifier la nature de l'écoulement dans le chenal :

Equation 5 : Profondeur critique

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \times \left(\frac{Q}{L}\right)^2}$$

1.3.3. Dimensionnement du bassin de dissipation

Le dimensionnement du bassin de dissipation a été réalisé en vue de réduire le risque d'érosion dû à la chute d'eau en aval du déversoir. La longueur du bassin de dissipation a été calculée en fonction du débit par unité de longueur déversante (q) et de la hauteur de chute (H) :

$$q = \frac{Q}{L}$$

Où :

q est le débit par unité de longueur déversante en m³/s/ml

Q est le débit sur le seuil (débit du projet) en m³/s

L est la longueur déversante en m

La hauteur d'eau à l'aval du ressaut (y₂) et la longueur du bassin de dissipation (L') ont été déterminées à l'aide des abaques de Smetana, en fonction du rapport q²/(g×H³). D = y₂ - y_n

Tableau 1 : Tableau de prescription technique

lame d'eau déversant [cm]	hauteur contrefort/aile [cm]					
	20 - 25	30 - 35	40 - 50	55 - 70	75 - 90	> 90
crues except.	r	r	r	70	70	70/100
0 - 10	r	r	70	70	100	100
10 - 20	r	r/70	100	100	140	140/190
20 - 35	r/70	70/100	100	140	190	190
35 - 50	70	100	140	190	250/320	cp
50 - 70	100	140/190	250/320	cp	cp	cp
> 70	100	190/250	cp	cp	cp	cp

cp = cas particulier, à traiter selon les recommandations seuils

Source : Travaux de terrain, ONG ACHUDE, 2025

1.4. Vérification de la stabilité du seuil

La stabilité du seuil a été vérifiée en tenant compte des forces agissant sur l'ouvrage et des propriétés des matériaux utilisés. Trois types de vérifications ont été effectués : **Stabilité au phénomène de renard, Stabilité au glissement et Stabilité au renversement.**

La profondeur affouillable (h_a) a été calculée à l'aide de la formule suivante (Peyras et al., 1991) :

Equation 3 : la profondeur affouillable

$$h_a = 0,730 \times \left(\frac{Q}{L}\right)^{\frac{2}{3}} \times d^{-\frac{1}{6}}$$

Où :

h_a est la hauteur affouillable en m

Q est le débit sur le seuil (débit du projet) en m^3/s

L est la longueur déversante en m

d est le diamètre moyen des grains du lit (pris égal à 0,02 m)

a. Stabilité au phénomène de renard

La profondeur d'ancrage a été calculée à partir de la règle de Lane, qui stipule que :

Equation 4 : la profondeur d'ancrage

$$CH = Lv + \frac{1}{3}Lh$$

Où :

C coefficient qui dépend de la nature du terrain, on a $C = 2.5$ pour les sols argilo-limoneux

H hauteur en amont du déversoir en m.

Lv longueur de cheminements verticaux en m ;

Lh longueur de cheminements horizontaux en m ;

b. Stabilité au glissement

Le facteur de sécurité au glissement a été calculé à l'aide de la formule suivante :

Equation 5 : Facteur de sécurité au glissement

$$Fg = \frac{(W - U)}{\Sigma P} \times \tan(\varphi)$$

Où :

Fg : est le facteur de sécurité au glissement

W : représente les forces verticales dues au poids du seuil en kN

U : représente les forces de sous-pressions en kN
 ΣP : est la somme des forces horizontales de poussée en kN
 φ : est l'angle de frottement interne des terres, pris égal à 20°

c. Stabilité au renversement

Le facteur de sécurité au renversement a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$F_r = \frac{\Sigma M_s}{\Sigma M_r}$$

Où : F_r est le facteur de sécurité au renversement

ΣM_s est la somme des moments stabilisants en kN.m,

ΣM_r est la somme des moments renversants en kN.m

2. Résultats

La méthodologie adoptée a permis la confirmation de la nécessité d'un dimensionnement adapté à un régime pluviométrique semi-aride, caractérisé par une forte variabilité interannuelle. Par ailleurs, la consultation des référentiels techniques, notamment le Guide du GERTS et le Bulletin FAO 54, a orienté le choix des méthodes empiriques (ORSTOM et CIEH) pour l'estimation fiable des débits de crue en l'absence de données hydrométriques complètes sur le site. La pérennité de tels ouvrages au Sahel dépend autant de la robustesse technique que de l'intégration socio-économique via l'approche HIMO. L'application de la démarche méthodologique a permis d'obtenir les résultats techniques et empiriques suivants :

2.1. Identification de l'emplacement du seuil

L'identification de l'emplacement optimal est le pivot de la réussite de l'aménagement. Un mauvais choix de site conduit inévitablement au contournement de l'ouvrage par l'oued ou à son ensablement définitif en quelques saisons. Ces identifications suivent un protocole rigoureux mêlant télédétection et expertise de terrain.

2.1.1. Sorties de terrain : la phase de reconnaissance et de validation

Les sorties de terrain ont joué un rôle déterminant en permettant de confronter et de valider les hypothèses théoriques émises au bureau face aux réalités géomorphologiques et socio-productives du milieu. Ces missions de reconnaissance ont poursuivi plusieurs objectifs techniques et méthodologiques précis. Le site optimal d'implantation a été validé à environ 7 km au sud-ouest de la ville d'Iriba, matérialisé par les coordonnées 15°10' à 15°30' de latitude Nord et 22°10' à 22°30' de longitude Est, à une altitude moyenne de 950 m. Les prospections de terrain ont confirmé la présence d'une section étroite ("verrou" topographique), idéale pour limiter le volume de maçonnerie, associée à un substratum rocheux/argileux compact à faible profondeur (<2 m) garantissant l'ancrage. Sur le plan biophysique, elles ont d'abord visé à analyser la stabilité géomorphologique du site et à vérifier la rectitude du tronçon du ouadi afin de garantir une implantation hydraulique optimale. De plus, un diagnostic approfondi des sols et du substratum a été mené parallèlement au repérage minutieux des laisses de crue, repères indispensables pour calibrer les hauteurs d'eau historiques. Enfin, ces descentes ont intégré une dimension participative essentielle à travers une concertation sociale approfondie avec les usagers locaux concernant la délimitation des zones d'épandage, assurant ainsi la cohérence technique et l'acceptabilité communautaire du projet.

Source : Travaux terrain, Vavimbi. G

Ouang-Yang L,

Photo 1 : Profil long du Ouadi d'Iriba au niveau site d'implantation



de
et
2025
en
du

2.1.2. Critères de Choix du Site

Le choix du site repose sur trois critères techniques majeurs : une section topographique étroite en forme de verrou permettant de minimiser le volume de maçonnerie, des conditions géotechniques favorables caractérisées par un substratum rocheux ou une couche d'argile compacte à faible profondeur (moins de 2 mètres), et un fort potentiel agronomique lié à la proximité de vastes zones de culture en amont et en aval pouvant bénéficier de l'étalement de l'eau.

2.1.3. Caractéristiques du bassin versant

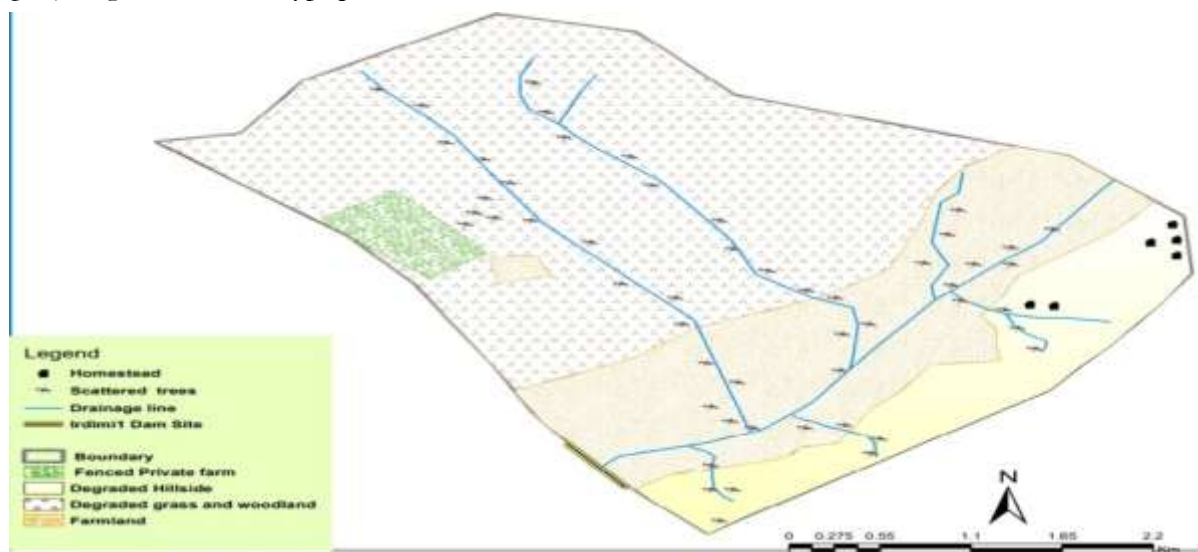
La délimitation cartographique précise du bassin versant a mis en évidence deux ensembles de données contrastées dans les analyses d'ArcGIS : la section globale du bassin versant de surface est évaluée à 65 km², tandis que le sous bassin versant hydrologique directement connecté au point d'écoulement du projet a été circonscrit à 12,5 km². L'analyse des caractéristiques morphométriques du bassin versant du Wadi d'Iriba a donné les résultats qui se présentent dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Paramètres morphométriques du bassin versant étudié

Paramètre	Unité	Valeur
Périmètre	km	35
Superficie	km ²	65
Indice de forme	kg	1,32
Longueur de rectangle équivalent L	km	12,8
Largeur de rectangle équivalent l	km	5,1
Indice global des pente Ig	(m / km)	15,2
Pente transversale moyenne IT	(m / km)	18,5
Indice global des pente corrigé Igcor	(m / km)	16,4
Dénivelée spécifique Ds	m	132
Longueur du réseau hydrographique	km	72
Densité de drainage	km / km ²	1,11

Source : Travaux de terrain, Vavimbi. G et Ouang-Yang L, 2025

Ces valeurs indiquent un bassin versant de forme moyennement allongée avec un réseau hydrographique peu développé mais doté de pentes favorisant des crues subites. L'application des méthodes ORSTOM et CIEH a permis de converger vers la fixation d'un débit de crue décennal de projet égal à 85 m³/s typique des zones semi-arides.



Source : Travaux de terrain, ONG ACHUDE, 2025

Figure 2: la carte du bassin versant du Ouadi d'Iriba

2.1.4. Analyse hydrologique

Le réseau hydrographique de la zone est constitué principalement du Ouadi d'Iriba et de ses affluents. Ce cours d'eau temporaire connaît des écoulements importants pendant la saison des pluies (juillet à septembre), avec des crues parfois violentes et dévastatrices. En saison sèche, l'écoulement de surface est inexistant, mais des mares résiduelles et des zones d'humidité subsistent dans certaines parties du lit du Ouadi. Les ressources en eau souterraine sont constituées principalement d'une nappe phréatique contenue dans les altérites du socle cristallin et dans les alluvions des ouadis. La profondeur de cette nappe varie de 5 à 15 mètres dans les bas-fonds et peut atteindre plus de 40 mètres sur les plateaux. Le taux de recharge de la nappe est fortement dépendant de l'infiltration des eaux de pluie et des crues des ouadis. (CIEH, 1981). Le bassin versant a été délimité sur une superficie de 12,5 km².

2.2. Conception Technique

Les calculs de charge et de résistance hydraulique ont permis d'aboutir au dimensionnement final d'un ouvrage de type poids en maçonnerie de moellons liés au mortier de ciment dosé à 350 kg/m³. L'intégration des contraintes du site a donné lieu à deux scénarios d'implantation selon la configuration topographique retenue :

- Scénario A (Profil resserré du lit mineur) : Longueur du seuil fixée à 36,5m, hauteur de chute de 1,20 m, largeur de crête de 0,60m et ancrage des ailes de 2,5m dans chaque berge.
- Scénario B (Aménagement étendu intégrant les zones d'épandage latérales) : Structure d'une longueur totale élargie à 120m avec une hauteur maximale de 1,5m. L'ouvrage est conçu comme mixte, assurant simultanément le rôle de seuil d'épandage intégrant un déversoir central destiné au passage de la crue, des ailes prolongées et ancrées dans les berges pour empêcher tout contournement latéral, ainsi qu'un dispositif anti-affouillement constitué d'un radier aval faisant office de matelas de protection pour dissiper l'énergie cinétique de l'eau tombante.

2.3. Impacts des seuils d'épandage sur le milieu biophysique et social

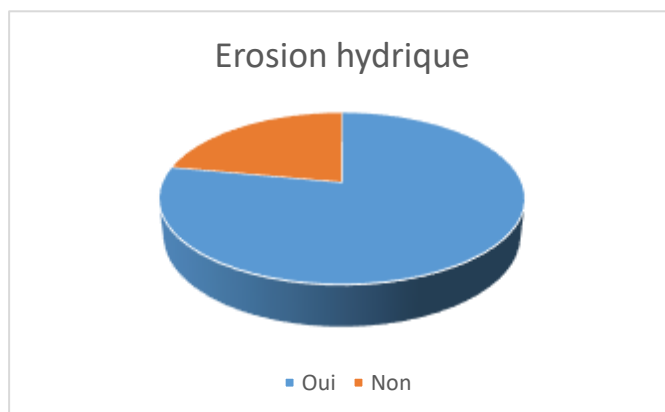
Cette étude évalue les conséquences de la mise en place d'un seuil d'épandage pour la mobilisation des eaux de surface dans la province de Wadi-Fira. Les enquêtes menées auprès des populations d'Iriba ont fourni des données quantitatives cruciales pour justifier l'ouvrage :

2.3.1. Diagnostic des contraintes et vulnérabilités environnementales

Le point de départ de l'évaluation réside dans la caractérisation des dynamiques dégradatives qui menacent les agroécosystèmes locaux. La figure 3 ci-dessous montre que 78% des usagers identifient l'érosion hydrique et l'ensablement comme des menaces majeures affectant directement leur cadre de vie et la pérennité de leurs activités économiques.

Source : Travaux de
Ouang-Yang L, 2025

Figure 3 :
arables par
Cette perception
traduit
dégradation
écosystèmes



terrain, Vavimbi. G et

Dégradation des terres
l'érosion hydrique
communautaire
fidèlement l'état de
accélérée des
sahéliens sous l'effet

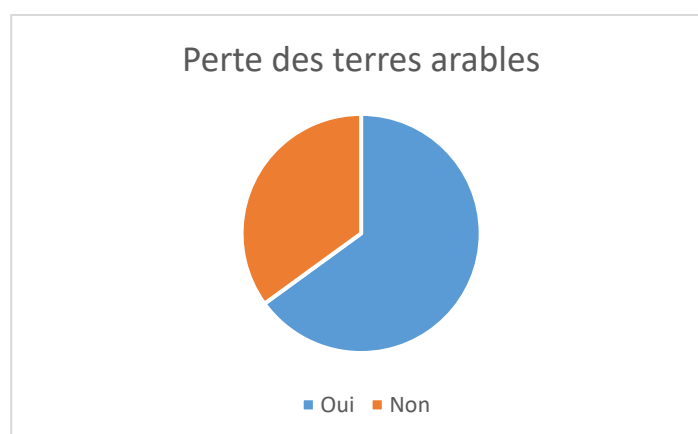
conjugué de la pression anthropique et du changement climatique. Dans la zone d'Iriba, les « ouadis » constituent la principale ressource en eau. Cependant, les écoulements de crue, caractérisés par une forte énergie cinétique, provoquent une érosion régressive des lits des ouadis. Comme le met en évidence Padonou (2009, p.78), ce phénomène engendre : « [...] un abaissement du niveau de base et, par ricochet, un assèchement des puits villageois et une perte de terres arables ».

L'érosion hydrique n'agit pas seule ; elle s'accompagne d'un ensablement sévère des cours d'eau. Ce comblement progressif par les sables perturbe l'écoulement naturel et favorise le décapage des sols arables par des courants de crue à haute énergie. Les répercussions de ce couple « érosion-ensablement » se mesurent directement au niveau de l'espace agricole comme le démontre la figure 4 ci-dessous.

Source : Travaux de terrain,
Ouang-Yang L, 2025

Figure 4 : Perte des
cultivables

La figure 4 ci-dessus
65% des agriculteurs
perte directe de terres



Vavimbi. G et

terres

montre que
constatent une
cultivables au

cours des dix dernières années, principalement due à l'érosion des berges et à l'ensablement des bas-fonds. Face à ce stress hydrique chronique et à la perte d'assiette foncière, les techniques traditionnelles de gestion de l'eau s'avèrent structurellement insuffisantes pour contenir la violence des flux. Ce diagnostic corrobore les analyses de Rochette (1991, p.112), qui souligne que l'absence d'ouvrages de régulation adaptés entraîne une perte de la « manne hydrique » saisonnière, qui s'écoule hors des zones de production ou se perd par évaporation intense. L'identification de ces contraintes par 78% des usagers valide ainsi l'hypothèse de cette recherche : la nécessité impérieuse d'implanter une structure transversale capable de briser la vitesse du flux et de provoquer un étalement latéral de la crue.

D'un point de vue biophysique, la maîtrise de cette contrainte sédimentaire demeure toutefois un double défi. Si le ralentissement du flux favorise la sédimentation des particules fines fertiles, en absence d'une gestion rigoureuse du transport solide en zone sahélienne, le risque de sédimentation excessive en amont peut conduire à un ensablement rapide du seuil, réduisant de ce fait la durée de vie utile de l'infrastructure. L'ensablement non maîtrisé réduit la capacité de rétention hydrique du sol à long terme et modifie la topographie de la zone d'inondation, déplaçant parfois les flux hors des périmètres aménagés (Soulga 2015, p.15 ; Remini et Hallouche 2021, p.112). Pour pérenniser l'ouvrage face à ces menaces identifiées par les usagers, il s'avère indispensable d'associer la construction du seuil à des techniques de défense et de restauration des sols (DRS) en amont, telles que les cordons pierreux et le reboisement naturel assisté (RNA), afin de stabiliser le couvert végétal et de fixer les berges (Albergel et al., 2020, p. 89 ; Nill, 2012, p. 45 ; Hiernaux & Le Houérou, 2006, p. 51).

2.3.2. Analyse des impacts environnementaux

L'analyse technique démontre que le seuil d'épandage modifie positivement le bilan hydrique et sédimentaire local, bien qu'il induise des risques collatéraux à maîtriser. L'évaluation des implications environnementales et socio-économiques de la mise en place d'un seuil d'épandage dans le Ouadi Iriba constitue un préalable fondamental pour valider la viabilité de l'infrastructure. Cette analyse croise des données quantitatives issues d'enquêtes de terrain et des approches empiriques reconnues en zone sahélienne. L'ensemble des impacts identifiés a fait l'objet d'une pondération systématique consignée dans la grille d'évaluation technique et d'impact du projet (Tableau 3).

Tableau 3 : Grille d'évaluation technique et d'impact du projet

Critère	Score (1-4)	Observations
Durabilité Environnementale	4	Excellente contribution à la recharge des nappes.
Impact Socio-économique	3	Très fort potentiel, mais nécessite un cadre de gestion foncière.
Viabilité Technique	3	Le dimensionnement doit impérativement prévoir la gestion des sédiments.
Atténuation des Risques	2	Le volet santé et impact aval doit être approfondi.

Source : Travaux de terrain, Vavimbi. G et Ouang-Yang L., 2025

a. Impacts biophysiques positifs

- ❖ Recharge de la nappe phréatique : En brisant la vitesse cinétique du flux, le seuil de 120 mètres provoque un étalement latéral de la crue, prolongeant le temps de contact eau-sol. Ce mécanisme favorise une infiltration profonde vers la nappe phréatique contenue dans les altérites du socle et les alluvions, remontant ainsi le niveau piézométrique des puits villageois aux alentours. Ce critère obtient le score maximal de durabilité environnementale (Score : 4) ;
- ❖ Lutte contre l'érosion et restauration des sols : L'ouvrage réduit l'énergie érosive de l'eau à l'aval, limitant le ravinement du lit et stabilisant les berges. De plus, le ralentissement du flux provoque une décantation sélective des sédiments, garantissant le dépôt de particules fines fertiles indispensables à la reconstitution des sols arables ;
- ❖ Restauration de la biodiversité : Le maintien d'une humidité résiduelle prolongée dans le sol après la crue induit une régénération de la strate végétative sahélienne et favorise le retour de la faune locale.

b. Impacts biophysiques négatifs et risques associés

- ❖ Risque d'ensablement précoce (Sédimentation excessive) : Si la sédimentation est recherchée pour fertiliser le lit, elle expose l'ouvrage à un ensablement rapide à l'amont si le bassin versant n'est pas protégé. À ce propos, Soulga (2015) avertit que l'absence de maîtrise du transport solide en amont peut conduire à une réduction drastique de la capacité de rétention et de la durée de vie utile des seuils d'épandage ;
- ❖ Modification du régime hydrologique aval : La rétention et l'étalement de l'eau à l'amont réduisent mécaniquement les volumes liquides disponibles immédiatement en aval, risquant de perturber les micro-écosystèmes dépendants du flux initial.

c. Mesures d'atténuation et Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES)

Pour maximiser les impacts positifs et circonscrire les risques environnementaux et sociaux identifiés, un Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) est déployé, conformément aux exigences de la Loi N°14/PR/98 relative à la protection de l'environnement au Tchad. Il s'articule autour de trois axes fondamentaux :

- ✓ Protection biologique du bassin versant (Lutte contre l'ensablement) : Pour contrer le risque d'ensablement mis en exergue par Soulga (2015), l'ouvrage doit impérativement être couplé à des techniques de Défense et Restauration des Sols (DRS) en amont. Nill (2012) préconise à cet effet l'aménagement de cordons pierreux et de structures de reboisement pour fixer les sables, une approche appuyée par Hiernaux et Le Houérou (2006) qui rappellent l'importance capitale du couvert végétal pour stabiliser mécaniquement les infrastructures hydrauliques en zone pastorale ;
- ✓ Gestion communautaire et foncière : Mise en place d'un comité de gestion de l'eau et des terres inclusif (regroupant agriculteurs, éleveurs, femmes et chefs traditionnels) afin d'établir des règles transparentes d'exploitation et de prévenir les conflits d'appropriation des nouvelles zones d'épandage ;
- ✓ Surveillance sanitaire et environnementale : Organisation de campagnes de sensibilisation aux risques liés aux eaux stagnantes, distribution de moustiquaires et renforcement des infrastructures de santé locales pour suivre l'évolution des maladies hydriques.

2.3.3. Analyse des impacts socio-économiques et acceptabilité communautaire

L'introduction de l'infrastructure redéfinit les dynamiques agraires, pastorales et économiques de la communauté d'Iriba.

a. Impacts socio-économiques positifs

- Sécurité alimentaire et revenus : L'augmentation de l'humidité résiduelle des sols permet une extension des surfaces agricoles exploitables d'environ 20 hectares. Cela favorise la diversification des productions via le développement des cultures de décrue (comme le sorgho de décrue/Berbéré), du maraîchage et de l'arboriculture, augmentant ainsi les rendements et le revenu des ménages grâce à la vente des surplus ;
- Hydraulique pastorale et stabilisation sociale : L'amélioration de l'accès à l'eau pour le bétail réduit les distances de transhumance pendant la saison sèche. Par conséquent, l'ouvrage permet une réduction significative des conflits récurrents liés à l'accès à l'eau et aux terres cultivables entre agriculteurs et éleveurs. À terme, la création de ces opportunités économiques stabilise les jeunes et freine l'exode rural ;
- Dynamisation économique locale (Approche HIMO) : Durant la phase de chantier, le recours à l'approche de Haute Intensité de Main-d'œuvre (HIMO) génère des emplois temporaires, injecte des liquidités dans l'économie locale et assure un transfert de compétences en maçonnerie hydraulique.

b. Impacts socio-économiques négatifs et risques de conflits

- Conflits d'usage foncier : La création de nouvelles terres hautement fertiles à l'amont du seuil engendre un risque élevé de tensions socio-politiques liées à l'appropriation foncière ;

- Problématique de santé publique : La stagnation prolongée de la lame d'eau crée des conditions favorables à la prolifération de vecteurs de maladies hydriques (anophèles pour le paludisme, gastéropodes pour la bilharziose) (Score d'atténuation : 2).

2.3.4. Acceptabilité du projet et engagement local

Face aux contraintes vécues, l'acceptabilité sociale est totale : 85% des personnes interrogées estiment que le seuil d'épandage est la solution idoine pour casser l'énergie des crues, recharger la nappe et sécuriser le franchissement du ouadi, qui entrave habituellement les déplacements du bétail en saison des pluies. Les communautés confirment leur fort intérêt à s'impliquer physiquement dans les travaux via l'approche HIMO, garantissant ainsi l'appropriation communautaire à long terme de l'infrastructure.

3. DISCUSSION

Le dimensionnement d'un seuil d'épandage à Iriba ne répond pas seulement à un besoin technique de génie civil, mais s'inscrit dans une stratégie de résilience face à la variabilité climatique sahélienne. Comme le souligne Rochette (1989), l'aménagement des bas-fonds est un levier majeur de lutte contre la désertification par la maîtrise de l'eau. En réduisant la vitesse d'écoulement, le seuil transforme une crue dévastatrice en une lame d'eau bénéfique. Cette approche contraste avec les barrages de rétention classiques qui subissent une évaporation intense, souvent supérieure à 2000 mm/an dans le Wadi-Fira. L'épandage favorise l'infiltration *in situ*, stockant l'eau dans le sol et les aquifères superficiels. Ces résultats corroborent les travaux d'Albergel (1987) au Burkina Faso, qui ont démontré que le ralentissement des flux de surface par des ouvrages de petite hydraulique améliore significativement le bilan hydrique local en protégeant l'eau du rayonnement solaire direct.

L'un des points critiques soulevés par l'analyse est la gestion du transport solide. Le seuil provoque une sédimentation sélective à l'amont. Si cette sédimentation est bénéfique pour la création de sols fertiles, elle pose un risque d'ensablement. Soulga (2015) avertit que sans une gestion rigoureuse du transport solide, la durée de vie utile de ces ouvrages peut être drastiquement réduite.

La discussion sur le dimensionnement des murs en retour et du radier de protection à l'aval est ici cruciale. L'énergie dissipée par le saut hydraulique doit être maîtrisée pour éviter l'affouillement. Une étude comparative avec les travaux de Zoul-fikhar Ali Mahamat (2017) dans le Ouaddaï géographique montre que la ruine des seuils dans cette région est majoritairement due à une sous-estimation des débits de pointe ou à un mauvais ancrage des ailes, soulignant la pertinence de notre choix pour un débit décennal de 85 m³/s.

Contrairement aux zones sédimentaires du sud du Tchad, le Wadi-Fira repose sur un socle où la conductivité hydraulique est limitée aux zones fracturées et aux alluvions. Le choix d'un seuil "poids" en maçonnerie de moellons est judicieux. Comparé aux modèles de digues filtrantes étudiés par Wopereis et al. (2008) pour le riz de bas-fond, notre seuil d'épandage est plus robuste et adapté aux débits violents des ouadis. En comparaison avec les recherches de Puech & Chabi-Gonni (1984) sur les petits bassins versants sahéliens, nos coefficients de ruissellement et nos temps de concentration s'alignent sur les standards régionaux, tout en intégrant les spécificités lithologiques du Wadi-Fira. Là où le béton armé risque de se fissurer sous l'effet de tassements différentiels (problème fréquent noté par Chocat, 1997), la maçonnerie de moellons offre une flexibilité structurale et une maintenance facilitée par les populations locales.

La réussite technique de l'ouvrage (hauteur de 1,5m et longueur de 120m) doit être couplée à une gestion communautaire. Les résultats hydrologiques montrent un potentiel de recharge significatif. Cependant, la durabilité de l'infrastructure dépendra de l'entretien des berges en amont, une

recommandation forte de Hiernaux & Le Houérou (2006) qui insistent sur l'importance du couvert végétal pour stabiliser les aménagements hydrauliques en zone pastorale.

CONCLUSION

L'étude technique du seuil d'épandage du Ouadi Iriba confirme que la maîtrise de l'eau en zone sahélienne passe par des solutions d'ingénierie adaptées au contexte local. Le dimensionnement retenu, s'appuyant sur un débit décennal de 85 m³/s et une structure de 120 mètres en maçonnerie de moellons, offre une réponse équilibrée entre robustesse structurelle et efficacité hydrologique. Cet aménagement ne se limite pas à un simple obstacle au flux ; il agit comme un régulateur de ressources, capable de transformer des crues soudaines et érosives en un stock hydrique souterrain précieux pour l'agro-pastoralisme.

L'analyse démontre que la recharge des nappes alluviales par épandage est une alternative crédible et durable aux barrages de surface, particulièrement vulnérables à l'évapotranspiration intense du Wadi-Fira. Toutefois, la pérennité de l'ouvrage dépend d'un double engagement : technique, par le contrôle rigoureux du saut hydraulique et de l'affouillement aval ; et social, par l'implication des communautés dans la gestion de l'ensablement et la protection biologique des berges.

En perspective, ce travail souligne la nécessité de généraliser l'approche par seuils d'épandage sur l'ensemble du socle cristallin tchadien. Ce modèle technique représente un pilier pour la résilience climatique régionale, à condition que chaque projet intègre une analyse hydrologique fine et une surveillance post-crue. In fine, le seuil d'Iriba n'est pas seulement un ouvrage de génie civil, mais un vecteur de sécurité alimentaire et de stabilité pour les populations locales face aux incertitudes climatiques futures.

BIBLIOGRAPHIE

- Albergel, J. 1987. *Genèse des crues et modification des bilans hydriques par la culture : Étude de bassins versants représentatifs au Burkina Faso*. Paris, France : ORSTOM.
- Chocat, B. 1997. *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*. Paris, France : Tec & Doc Lavoisier.
- Comité Interafricain d'Études Hydrauliques (CIEH). 1981. *Analyse hydrologique zone sahélienne*.
- Hiernaux, P., & Le Houérou, H. N. 2006. Les parcours du Sahel. *Sécheresse*, p.51-71.
- Madjigoto Robert et al. 2016 : *Stratégie nationale et plan d'actions pour le développement du secteur des produits forestiers non ligneux au Tchad*. "Renforcement de la contribution des produits forestiers non ligneux à la sécurité alimentaire en Afrique centrale", Projet GCP/RAF/479/AFB, P58.
- Nill, D. et Dorlöchter-Sulser 2012. *Bonnes pratiques de CES/DRS. Contribution à l'adaptation au changement climatique et à la résilience des producteurs : Les expériences de quelques projets au Sabel*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, p57.
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). 1996. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage*, p.54.
- Padonou, M.M.N. et Sarr, M.P. 2009. *Contribution de la Télédétection et du Système d'Information Géographique (SIG) A l'amélioration de la gestion des eaux de surface dans un bassin versant : Cas du barrage de Mogtado au Burkina Faso*. Journées d'Animation Scientifique de l'AUF, p7.
- Programme National du Secteur Forestier (PNSF). (2018). *Rapport de stratégie nationale 2018-2023*, Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Artisanat, République du Tchad, p.24.
- Puech, C., & Chabi-Gonni, D. 1984. *Méthode de calcul des débits de crue décennale pour les petits bassins versants forestiers en Afrique tropicale*. Ouagadougou, Burkina Faso : CIEH.
- Rochette, R. M. 1991. *Le Sabel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences*. Revue de Géographie Alpine, tome 79, n°1 pp. 174-176.
- Rodier, J. A., & Auvray, C. 1965. *Première tentative de généralisation sur les débits maximaux annuels de crue à Madagascar*. Paris, France : ORSTOM.
- Soulga, S. 2015. *Cours d'aménagement des bas-fonds*. Ouagadougou, Burkina Faso : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE).

Wopereis, M. C. S., Defoer, T., Idinoba, P., Drack, S., & Dugué, M. J. 2008. *Curriculum d'apprentissage participatif et recherche action (APRA) pour la gestion intégrée de la culture de riz de bas-fonds (GIR) en Afrique subsaharienne : Manuel technique*. Cotonou, Bénin : Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO).

Zoul-fikhar Ali Mahamat 2017. *Évaluation de la durabilité des seuils d'épandage dans la région du Ouaddaï* (Mémoire de fin d'études). Université de N'Djamena, Tchad.