

UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI (UAC)

ÉCOLE POLYTECHNIQUE D'ABOMEY-CALAVI

CENTRE AUTONOME DE PERFECTIONNEMENT

LICENCE EN HYDRAULIQUE

MEMOIRE DE FIN DE FORMATION POUR L'OBTENTION DE DIPLÔME DE LICENCE
PROFESSIONNELLE

4^{ème} Promotion 2010 – 2014

**ETUDE DE LA SATISFACTION DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION SUR
LE PÉRIMÈTRE MARAÎCHER IRRIGUÉ DE TCHANDOGA DANS LA
COMMUNE DE COPARGO.**

Rédigé et soutenu par :

AROUKO Cossi Jérôme

Superviseur :

Professeur SINTONDJI Luc O. C.

Professeur Titulaire des Universités du
CAMES

Président : Pr OLODO Emmanuel

Examineur : Dr DATCHOSSA Abass

Rapporteur : Pr SINTONDJI Luc O. C.

Soutenu le 28/01/2026

DEDICACES

Je dédie ce document à :

- mon père Grégoire **Assogba AROUKO**
- ma mère Elisabeth **Ekuya ABANIGBE**
- et toutes les personnes qui me sont très chères

REMERCIEMENTS

Ce rapport est l'expression d'un processus de formation et de recherche. Sa réalisation résulte des efforts conjugués et des sacrifices fournis par un ensemble de personnes de bonnes volontés. C'est l'occasion pour nous ici d'adresser nos sincères remerciements à :

- ✚ Professeur Luc SINTONDI, notre directeur de mémoire qui, en dépit de ses multiples occupations, a été disponible pour nous guider tout au long de la rédaction dudit rapport ;
- ✚ Dr Sylvestre OGOUWALE, pour avoir accepté nous accompagner dans la réalisation de ce travail ;
- ✚ Tous les enseignants de l'Institut National de l'Eau (INE), pour la formation dont nous avons bénéficié ;
- ✚ M. Hassirou TCHANI, notre tuteur de stage, Chef Division de la Réglementation et Contrôle des Aménagements et Equipements Ruraux (CD/RCAER) à la DDAEP Donga ;
- ✚ M. Bernard MONTCHO, pour ses conseils et appuis divers durant la réalisation de ce travail ;
- ✚ Messieurs Thomas C. SOGBEDJI, Mouritala Mohamed A. RADJI pour les diverses assistances qu'ils nous ont portées dans le cadre de l'élaboration de ce rapport ;
- ✚ Les populations de Copargo, particulièrement les maraîchers de Tchandoga, pour leur accueil chaleureux et leur hospitalité durant notre séjour sur les sites ;
- ✚ L'ensemble des étudiants de la promotion 2010-2014 de l'Hydraulique au Centre Autonome de Perfectionnement (CAP) de L'EPAC/UAC, pour leur soutien ;
- ✚ Toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont apporté un quelconque soutien.

RESUME

Le développement de la culture maraîchère, notamment du piment vert, dans le département de la Donga, soutenu par l'introduction de systèmes d'irrigation innovants, a conduit à une forte augmentation des superficies cultivées dans la commune de Copargo. En particulier, la superficie cultivée sur le périmètre maraîcher de Tchandoga est passée de 0,25 ha à 1,5 ha, voire 2,5 ha, entre 2014 et 2016. Cependant, cette expansion a dépassé la capacité de la retenue d'eau sur seuil existante, devenue insuffisante pour irriguer toutes les parcelles du site. Cet accroissement a entraîné une augmentation des besoins en eau devenus une préoccupation majeure pour les maraîchers.

En réponse à ce déficit, le Projet de Promotion des Filières Agricoles (PROFI) a mis en place un aménagement hydro-agricole, incluant un forage, un réservoir surélevé et un réseau d'irrigation. Néanmoins, les maraîchers continuent de rencontrer des difficultés d'approvisionnement en eau pour leurs cultures. Une analyse approfondie des perceptions et commentaires des bénéficiaires est nécessaire pour mieux comprendre les raisons de cette insatisfaction persistante, en particulier sur le périmètre irrigué de Tchandoga.

La méthodologie utilisée pour cette étude inclut la collecte de données par recherche documentaire, entretiens avec les maraîchers et observations sur le terrain, touchant 34 personnes. Les résultats montrent que les infrastructures existantes, comme le forage et la mini-retenue d'eau, ne répondent pas aux besoins en eau des exploitants en raison de limitations telles que le débit du forage, la capacité de la pompe et l'alimentation électrique. De plus, une gestion insuffisante du réseau d'irrigation, incluant l'entretien et l'organisation des exploitants, a contribué à l'abandon progressif de la retenue d'eau sur le site.

Une évaluation fondée sur la collecte et l'analyse de données issues de diverses sources estime la contribution actuelle des aménagements maraîchers à 18 %, contre une couverture initiale de seulement 8,06 % assurée par la mini-retenue sur seuil. Bien que cette amélioration soit significative, elle reste insuffisante pour satisfaire entièrement les besoins du périmètre.

En conclusion, l'étude recommande la mise en œuvre d'actions visant à renforcer la gestion de l'eau à travers des campagnes de sensibilisation et des formations spécifiques en gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) et en gestion de l'eau pour l'agriculture (GEA).

Mots clés : *commune de Copargo, Satisfaction, Besoins en eau, Périmètre maraîcher de Tchandoga.*

ABSTRACT

The development of market gardening, particularly green pepper cultivation, in the Donga department supported by the introduction of innovative irrigation systems has led to a significant increase in cultivated areas in the commune of Copargo. Specifically, the cultivated area in the Tchandoga market gardening perimeter expanded from 0,25 ha to 1,5 ha, and even 2,5 ha, between 2014 and 2016. However, this expansion has exceeded the capacity of the existing water retention structure, which has become insufficient to irrigate all plots on the site. This increase has led to greater water demand, now a major concern for farmers.

In response to this water deficit, the Agricultural Value Chain Promotion Project (PROFI) implemented a hydro-agricultural system that includes a borehole, an elevated water tank, and an irrigation network. Nevertheless, farmers still face difficulties in accessing enough water for their crops. A detailed analysis of the beneficiaries' perceptions and feedback is necessary to better understand the reasons behind this ongoing dissatisfaction, especially in the irrigated perimeter of Tchandoga.

The methodology used for this study involved data collection through desk research, interviews with farmers, and field observations, involving 34 individuals. The results reveal that the existing infrastructure such as the borehole and the small water retention system does not meet the farmers' water needs due to constraints like low borehole flow rate, pump capacity, and power supply issues. Furthermore, poor irrigation network management, including lack of maintenance and farmer coordination, has contributed to the gradual abandonment of the original water retention structure on the site.

An evaluation based on the collection and analysis of data from various sources estimates the current contribution of the irrigation facilities at 18%, compared to initial coverage of only 8,06% provided by the original water retention structure. While this improvement is significant, it remains insufficient to fully meet the perimeter's water requirements.

In conclusion, the study recommends implementing actions to strengthen water management through awareness campaigns and targeted training in Integrated Water Resources Management (IWRM) and Agricultural Water Management (AWM).

Keywords : *Commune of Copargo, Satisfaction, Waater Needs, Tchandoga Maket Gardening Perimeter.*

SIGLES ET ACRONYMES

SIGLES	DEFINITIONS
ACP	Afrique Caraïbe et Pacifique
AD	Atacora - Donga
APD	Avant-Projet Détaillé
APS	Avant-Projet Sommaire
ASECNA	Agence de la Sécurité et de la Navigation Aérienne
ATDA	Agence Territoriale de Développement Agricole
CAMES	Conseil Africain et Malgache de l'Enseignement Supérieur
CAP	Centre Autonome de Perfectionnement
CARDER	Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural
CDAV	Comité Départemental d'Approbation et de Validation
CRAV	Comité Régional d'Approbation et de Validation
CTB	Coopération Technique Belge (<i>devenue Enabel</i>)
DAER	Direction de l'Aménagement et de l'Équipement Rural
DAO	Élaboration du Dossier d'Appel d'Offre
DDAEP	Direction Départementale de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche
DDPD	Direction Départementale du Plan et du Développement
EPAC	Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi
ETP	Evapotranspiration
FADeC-Agriculture	Fonds d'Appui au Développement des Commune volet Agriculture
FAFA-AD	Facilité d'Appui aux Filières agricoles dans l'Atacora et la Donga.
FAIA-AD	Facilité d'Accès au Financement Agricole dans les départements de l'Atacora et de la Donga
FAO	Fond des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation
FODEFI	Fonds de Développement des Filières
GEA	Gestion de l'Eau pour l'Agriculture
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
IGN	Institut Géographique National du Bénin
INE	Institut National de l'Eau
INSAE	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique devenu INSTAD
INSTAD	Institut National de la Statistique et de la Démographie
MAEP	Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
MEM	Ministère de l'Eau et des Mines
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer actuel IRD
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel
PACER	Projet d'Appui à la Croissance Economique Rurale

SIGLES	DEFINITIONS
PADER	Programme d'Appui au Développement Rural
PADMAR	Projet d'Appui au Développement du Maraîchage
PAMRAD	Projet d'Appui au Monde Rural dans l'Atacora-Donga
PDC 3	Plan de Développement Communal troisième génération
PNUD	Programme des Nations-Unies pour le Développement
PRDF	Plan Régional de Développement des Filières /agricoles
PROFI	Projet de Promotion des Filières agricoles
PSDSA	Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole
PVC	Polychlorure de Vinyle ou Chlorure de Polyvinyle
SBEE	Société Béninoise de l'Energie Electrique
SPPIP	Secrétariat Permanent de la Promotion de l'Irrigation Privée
UA	Union Africaine
UAC	Université d'Abomey-Calavi
UFR-AD	Unité Fonctionnelle Régionale (<i>siège du projet PROFIT</i>)
URCoopMA	Union Régionale des Coopératives de Maraîchers
Wh	Watt par heure
Nj	Nombre de jours

INTRODUCTION

Dans le monde entier, les systèmes alimentaires sont l'objet de profondes mutations sous le coup de pressions extérieures telles que le changement climatique et l'organisation des chaînes de valeur (Bellon-Maurel et al., 2022). Il existe de nombreuses contraintes pouvant influencer négativement l'agriculture dont la production maraîchère, (Kanda et al., 2014). Le maraîchage contribue pleinement à la sécurité alimentaire et nutritionnelle et même à la création d'emplois puis de revenus (PADMAR, 2015). Il représente une alternative face aux mauvaises récoltes dues aux pluviométries déficitaires. Cependant, plusieurs facteurs sont susceptibles d'influencer négativement la production maraîchère (Samake et al., 2022).

Au Bénin en général et particulièrement dans le département de la Donga, la paupérisation des masses paysannes n'a point régressé, et se trouve exacerbée par les risques climatiques. Le retard dans le démarrage des pluies, des poches de sécheresse, de la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies, des vents violents, des fortes chaleurs et la longue sécheresse sont les principaux risques climatiques auxquels sont soumis les agriculteurs (PNUD, 2014). La production maraîchère est considérablement affectée par ces perturbations climatiques. Ces dernières ont touché le régime hydrologique des points d'eau utilisés pour la production sur certains sites. Pour s'adapter, les producteurs font souvent recours à diverses mesures endogènes et exogènes.

Des études et diagnostics menés par les services d'encadrement du CARDER Atacora-Donga entre 2015 et 2016 ont mis en évidence plusieurs difficultés liées à l'exploitation des sites maraîchers. Ces analyses ont notamment révélé des conséquences telles que la pénibilité des travaux, due à l'utilisation d'équipements rudimentaires et peu performants, ainsi que la faible rentabilité de la production maraîchère, en raison de la forte consommation de carburant des pompes thermiques utilisées pour l'irrigation.

C'est dans ce contexte que des actions publiques ont été initiées, dans le cadre d'un partenariat public-privé, en vue d'améliorer le système d'exploitation maraîchère dans les départements concernés, notamment en matière de mobilisation et de gestion de l'eau pour la filière maraîchère. Ainsi, des initiatives gouvernementales dans le domaine de développement et de promotion des filières agricoles ont été développées. Ces initiatives incluent l'élaboration et l'opérationnalisation du Plan Régional de Développement de Filières (PRDF) par le Projet Promotion des Filières Agricoles (PROFI). Elles ont permis d'initier et de financer les aménagements maraîchers de types petits périmètres irrigués

collectifs et individuels au profit des coopératives maraîchères dans l'Atacora-Donga et le Mono-Couffo (CARDER AD, 2016 et Enabel 2017). Cependant, les bénéficiaires de ces investissements expriment un manque de satisfaction quant à la couverture des besoins en eau de leurs cultures.

Au regard des constats liés à l'existence des infrastructures hydrauliques maraîchères dans les départements concernés, il paraît nécessaire d'évaluer le niveau de satisfaction des besoins en eau d'irrigation des cultures maraîchères. Cette évaluation s'appuiera sur les objectifs initiaux fixés, l'usage réel des équipements et infrastructures après leur mise en place, ainsi que sur les pratiques des exploitants en matière d'entretien, de réparation et d'organisation pour la gestion desdites installations. Plusieurs éléments justifient la pertinence et l'urgence d'une telle évaluation

JUSTIFICATION

Les perceptions et appréciations des maraîchers du site de Tchandoga concernant les rôles et l'efficacité des aménagements hydro-agricoles réalisés à leur demande soulèvent des interrogations importantes. Celles-ci méritent d'être approfondies à travers une enquête technique permettant de mieux comprendre les enjeux réels et les attentes des bénéficiaires. Les débats menés sur l'insuffisance de performances des infrastructures et les installations hydrauliques du périmètre maraîcher irrigué de Tchandoga dans la commune de Copargo soulignent une extension des superficies exploitées sur le site d'une part et une mauvaise connaissance de la part des bénéficiaires des principes de la gestion d'un périmètre après son aménagement d'autre part. Ce manque de notions de gestion a contribué significativement à l'utilisation anarchique de la ressource en eau sur les périmètres (DDAEP Donga, 2019. Note de capitalisation).

Il convient de rappeler que les travaux d'aménagement maraîcher du périmètre de Tchandoga n'ont pas été réalisés de manière isolée. Ils ont suivi la démarche et les procédures recommandées pour la mise en œuvre d'infrastructures publiques communautaires, en particulier celles relatives aux ouvrages hydrauliques. Ces travaux ont été conduits conformément aux étapes préconisées dans le manuel de procédures du Secrétariat Permanent de la Promotion de l'Irrigation Privée (SPPIP), lequel constitue une composante essentielle du dispositif de mise en œuvre du mécanisme du Fonds d'Appui au Développement des Communes – volet Agriculture (FADeC-Agriculture). Les différentes étapes de cette démarche se présentent comme suit :

- prospection des sites à aménager ;
- validation de la liste des sites à aménager ;

- étude technique de faisabilité des travaux d'aménagement ;
- élaboration du Dossier d'Appel d'Offre (DAO) ;
- lancement de l'avis d'appel d'offre ;
- sélection des prestataires (entreprises) pour la réalisation des travaux d'aménagement ;
- attribution du marché d'exécution des travaux d'aménagement ;
- lancement du démarrage des travaux d'aménagement (Réalisation des travaux) ;
- suivi-contrôle des travaux d'aménagement ;
- réception des travaux d'aménagement (ouvrages) ;
- remise des infrastructures d'aménagement aux communautés bénéficiaires.

Depuis l'étude de l'avant-projet jusqu'à la réalisation effective des aménagements maraîchers, les communautés bénéficiaires ont été associées dans le but de réduire les difficultés liées à l'arrosage des cultures. Cependant, deux à trois ans après leur mise en service, les bénéficiaires expriment une insatisfaction croissante quant à la performance des équipements hydrauliques installés sur le périmètre de Tchandoga (URCoopMA-Donga, 2019) et (Travaux Arouko, 2023).

Les critiques formulées par les bénéficiaires à propos de la qualité et de la performance du périmètre maraîcher de Tchandoga mettent en évidence plusieurs insuffisances. Selon eux, le forage réalisé serait peu productif ; ce qui expliquerait le déficit en eau observé sur le site. Par ailleurs, les équipements et installations mis en place manqueraient de performance, rendant difficile l'irrigation efficace des parcelles cultivées (URCoopMA-Donga ; travaux de terrain, Arouko 2023).

En réponse à ces observations, les partenaires techniques ayant participé ou suivi les différentes phases du projet — de l'avant-projet à l'achèvement des aménagements maraîchers (UFR-AD/PROFI, CARDER/ATDA, etc.) — attribuent en partie cette situation à l'extension non prévue des superficies cultivées, laquelle a largement dépassé les objectifs initiaux. De plus, ils soulignent que les règles et principes de gestion rationnelle de l'eau sont rarement respectés par les exploitants ; ce qui entraîne non seulement un gaspillage de la ressource, mais également une usure prématurée des équipements.

Au regard des critiques exprimées par les bénéficiaires et des commentaires formulés par les partenaires techniques, il devient indispensable de conduire une collecte approfondie de données et d'informations en vue d'analyser la performance des périmètres irrigués réalisés par le PROFIT avec l'appui financier de la coopération belge dans les départements de l'Atacora et de la Donga. Une

attention particulière doit être accordée aux sites de la commune de Copargo, notamment le périmètre maraîcher de Tchandoga, afin de mieux comprendre les perceptions des maraîchers quant à la satisfaction de leurs besoins en eau d'irrigation. Cette démarche vise à répondre à la question centrale suivante :

Quel est le niveau de satisfaction des besoins en eau d'irrigation sur le périmètre maraîcher de Tchandoga dans la commune de Copargo ?

Cette question principale appelle quatre (4) questions de recherche :

- Quels étaient les objectifs des exploitants de périmètre irrigué de Tchandoga ?
- Quel est le besoin en eau pour irriguer le périmètre de Tchandoga ?
- Quelles sont les conditions et normes d'utilisation des infrastructures hydrauliques sur périmètre irrigué de Tchandoga ?
- Quelle est la performance des équipements et installations hydrauliques mis en place sur le périmètre maraîcher de Tchandoga ?

Ces préoccupations nous ont amenés à entreprendre une recherche sur le thème « *Etude de la satisfaction des besoins en eau d'irrigation sur le périmètre maraîcher irrigué de Tchandoga dans la commune de Copargo* ». L'étude vise des objectifs précis et s'articule autour des hypothèses concises.

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

De façon générale, l'étude vise à harmoniser les utilisations actuelles des installations hydrauliques du périmètre irrigué de Tchandoga avec les objectifs initiaux en lien avec les besoins déterminés à l'élaboration des sous-projets et à identifier les difficultés et contraintes actuelles des bénéficiaires comparées à celles initiales.

De façon spécifique, il s'agit de :

- 1- identifier les objectifs poursuivis par les maraîchers lors du diagnostic d'exploitation et de l'étude de faisabilité du projet d'aménagement du périmètre irrigué de Tchandoga afin d'apprécier leur adéquation avec les besoins initiaux ayant guidé l'élaboration des sous-projets ;
- 2- étudier la performance des aménagements hydro-agricoles implantés sur le périmètre maraîcher de Tchandoga dans la commune de Copargo ;

3- apprécier les conditions et les normes d'utilisation des aménagements hydro-agricoles sur le site maraîcher de Tchandoga dans la commune de Copargo.

Pour atteindre ces objectifs, des hypothèses ont été formulées.

HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE

Trois hypothèses sous-tendent notre étude.

- 1- Les accroissements et extensions de superficies individuelles sur le site ont rendu non perceptibles les performances des investissements hydrauliques installés sur le site de Tchandoga ;
- 2- La réalisation des ouvrages hydrauliques sur le périmètre irrigué de Tchandoga a contribué à l'élimination ou à l'amoindrissement des contraintes et difficultés liées à l'exploitation du site maraîcher ;
- 3- La mauvaise qualité ou réalisation des travaux d'aménagement ou encore la mauvaise gestion par les bénéficiaires des infrastructures hydrauliques justifie l'état actuel de fonctionnement et de dégradation du périmètre maraîcher irrigué.

Ainsi, la présente recherche ambitionne de contribuer à l'amélioration de l'efficacité des aménagements hydro-agricoles sur les périmètres irrigués de la commune de Copargo, en mettant un accent particulier sur le site de Tchandoga. Elle est structurée en trois chapitres à savoir :

- le chapitre I qui présente les cadres théoriques et géographiques ;
- le chapitre II qui décrit l'approche méthodologique adoptée ;
- le chapitre III qui expose les résultats de recherche.

CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET SITUATION GEOGRAPHIQUE

1.1. Clarification conceptuelle

Pour faciliter la bonne compréhension du travail, la définition de quelques concepts est nécessaire. Il s'agit de : périmètre irrigué, maraîchage, besoin en eau, aménagement hydro-agricole, équipement et infrastructure hydrauliques, forage, satisfaction.

Périmètre irrigué : un périmètre irrigué peut être défini comme un domaine d'exploitation agricole sur lequel est aménagée une infrastructure d'irrigation. Le champ est souvent consacré à la riziculture, mais il peut convenir à d'autres cultures lors de la contre-saison : haricots verts, niébé, cultures maraîchères.

Irriguer : laisser couler l'eau à la surface, ou inonder le sol et le laisser saturer jusqu'à une certaine profondeur. Pulvériser de l'eau dans l'air et la laisser retomber en pluie sur les plantes et sur le sol. Arroser goutte à goutte une fraction de la surface du sol de façon à ce qu'elle s'infiltre dans la rhizosphère (Grange-Chamfray, 2016).

Irrigation : dans son rapport de diagnostic consacré à l'élaboration du document Cadre de Développement de l'Irrigation et de Gestion de l'Eau Agricole en Afrique, la Commission de l'Union Africaine définit l'irrigation comme étant le transport et l'application d'eau bleue à la zone de la racine de la plante à l'aide d'un système d'irrigation (Union Africaine, 2020).

Le Fond des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO) considère l'irrigation comme l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal, en cas de manque d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides.

Un arrosage quotidien est effectivement excessif, même en cas de canicule ou de forte chaleur. Cela perturbe les cycles naturels des plantes et favorise ainsi l'apparition des maladies. Il est donc conseillé d'effectuer un arrosage abondant une fois par semaine (Houille Blanche, 2021). Malheureusement, l'air et surtout le sol sont encore chauds. Par conséquent, l'évaporation augmente de plus. Arroser le soir peut provoquer des maladies sur les plantes (le feuillage restera humide plus longtemps et un feuillage humide est une condition sine qua non pour le développement des maladies fongiques) (Hébraud et al., 2003). On peut penser qu'arroser peut se faire à toute heure de la journée, mais ce

n'est pas le cas. Les heures les plus propices sont en tout début de matinée ou en début de soirée, en même temps que le lever ou le coucher du soleil (Gliemann, 2011).

Système d'irrigation : un système d'irrigation est tout simplement le procédé utilisé pour arroser les plantes.

Maraîchage : encore appelé agriculture maraîchère ou horticulture, le maraîchage est la culture de végétaux à usage alimentaire, et plus particulièrement de légumes, de manière professionnelle, dans un but d'en faire un profit ; ce qui le distingue du jardinage. En d'autres termes, c'est la culture intensive des légumes en plein air ou sous abri.

Besoin en eau : il est considéré dans le sens agronomique comme la quantité d'eau, à l'exclusion des précipitations et de l'humidité du sol, requise pour assurer pleinement l'alimentation en eau de la culture. Elle varie considérablement en fonction des conditions climatiques, des saisons, du type de culture et du type de sol. C'est l'évapotranspiration maximale (FAO AQUASTA 2012).

Selon la loi n° 2010-44 portant gestion de l'eau en République du Bénin, le besoin en eau est le « concept théorique déterminé par les objectifs de l'activité qui l'engendre et par la relation d'efficacité entre usages de l'eau en quantité et en qualité données et les résultats. Il est donc exprimé le plus souvent de manière unitaire (par habitant, par hectare irrigué, par tête de bétail, par unité de production). Le besoin en eau a un caractère normatif (référence pour évaluer la demande présente et prévisionnelle). Il est indépendant de l'offre » (O.S.S. 2002) et (SANOU David Luther, 2011).

Aménagement hydro-agricole : il peut être assimilé au périmètre équipé pour l'irrigation qui comprend toutes les superficies qui sont équipées pour une irrigation totalement maîtrisée et celles qui sont partiellement équipées, généralement dans les bas-fonds.

Equipements et infrastructures hydrauliques : c'est l'ensemble complet de composants des machines et appareils utilisés pour transporter l'eau du puits, du forage au réservoir ou au lieu d'utilisation finale.

Forage : c'est un trou circulaire de petit diamètre creusé à partir de la surface du sol jusqu'à une couche aquifère et muni d'un système mécanique ou électromécanique d'exhaure (Loi n° 2010-44 portant gestion de l'eau en République du Bénin).

Satisfaction : c'est l'acte par lequel on accorde à quelqu'un ce qu'il demande. Sentiment de bien-être, plaisir qui résulte de l'accomplissement de ce qu'on juge souhaitable.

Dans le cas de cette étude, c'est la pleine couverture de la demande en eau des cultures en fonction de la taille de l'exploitation.

Besoins en eau d'une culture : ils correspondent à l'évapotranspiration d'une culture. C'est la somme de l'évaporation du sol et de l'eau utilisée par les plantes pour la transpiration. Cette évapotranspiration qui est égale à la quantité d'eau utilisée par la plante et son environnement est le besoin en eau de la culture. Face à cette demande théorique du climat, la consommation en eau d'une culture va dépendre :

- du type de culture (des plantes volumineuses, comme les tomates, ont une évapotranspiration plus importante) ;
- du stade de croissance de la plante (les besoins sont différents en début de plantation, à la maturité et à la récolte).

Il faut donc corriger le chiffre de l'ETP pour l'adapter à chaque culture spécifique. Dans la pratique, les besoins en eau d'irrigation sont rarement calculés aussi précisément stade par stade. Pour choisir un système de pompage, il faut prendre en compte le chiffre maximum, c'est-à-dire le besoin de pointe de la culture ; car, qui peut le plus, peut le moins.

L'efficacité de l'irrigation : la quantité d'eau calculée précédemment correspond au besoin de la culture. Mais il faut tenir compte des pertes en eau au cours de l'irrigation qui obligent à augmenter la quantité d'eau à fournir. Ces pertes sont plus ou moins grandes selon la méthode employée pour la distribution de l'eau. Elles sont dues à des infiltrations dans les canaux d'irrigation, à une mauvaise répartition de l'eau, etc.

On parle alors de l'efficience ou de l'efficacité de l'irrigation pour désigner le rapport entre la quantité d'eau fournie par le système de pompage et la quantité d'eau qui parvient effectivement à la plante et confère un taux d'efficacité à chaque système.

Tableau 1 : Taux d'efficacité des différents modes d'irrigation

Type ou mode d'irrigation	Taux de l'efficacité en pourcentage	Observations
Irrigation gravitaire en moyenne	50 et 60 %	Dépend essentiellement du nivellement, du type de revêtement et de la porosité du matériau.
Irrigation par aspersion	65 %	
Irrigation à l'arrosoir	80 %	En moyenne
Irrigation localisée au goutte-à-goutte	90 %	

Source : Rapport FAO Irrigation en Afrique

NB : *Quantité d'eau nécessaire = besoin / efficacité*

Réserve en eau du sol : le sol est le réservoir d'eau où la plante va puiser ses éléments nutritifs. Ce réservoir est naturellement alimenté par les pluies. La quantité d'eau que peut contenir un sol s'exprime en mm de hauteur comme la pluviométrie. Une partie seulement de l'eau du sol est utilisable par la plante : c'est *la réserve utile*.

- **La réserve d'eau dépend du type de sol** : un sol sableux retient moins d'eau qu'un sol limoneux. Ce dernier quant à lui retient moins d'eau qu'un sol argileux. Plus la réserve d'eau d'un sol est limitée, plus le temps entre deux arrosages doit être court et plus la dose sera faible.

- La réserve d'eau disponible pour les plantes dépend également du volume occupé par les racines. Plus le système racinaire d'une plante est développé, plus la réserve d'eau dont elle dispose est importante.

- Afin que le manque d'eau ne limite pas le rendement des cultures, il faut que le sol contienne en permanence une eau facilement utilisable. Si on irrigue un sol au-delà de la réserve utile, l'eau ne peut plus être retenue par le sol et se perd par infiltration ou ruissellement. Elle est perdue pour la plante.

La réserve facilement utilisable du sol permet de déterminer la dose d'irrigation qu'un sol peut recevoir, c'est-à-dire la quantité d'eau que l'on peut apporter en une seule fois : *dose d'irrigation qu'un type de sol peut recevoir selon la nature des plantes*.

1.2. Situation géographique et organisation administrative

S'étendant sur une superficie de 876 km², la commune de Copargo compte 70.938 habitants (l'INSAE, 2013) dont 35.389 femmes ; soit 49,89 % de sa population. La densité de sa population est de 81 ha/km² (DET, 2014). Elle est subdivisée en 04 arrondissements (Copargo Centre, Anandana,

Singré et Pabégou) et 46 villages. Le taux d'accroissement de la population est de 3,00%. Le chef-lieu de la commune (Copargo Centre) est situé à 510 km de Cotonou, la capitale économique du Bénin et à 20 km environ au nord-ouest de la ville de Djougou, Chef-lieu du département de la Donga. La commune de Copargo est limitée au nord par les communes de Kouandé et de Natitingou au nord, Ouaké au Sud, Djougou à l'Est et la République togolaise à l'ouest.

Sur une distance d'environ 55 km, la commune est traversée et arrosée par plusieurs cours d'eau dont un fleuve et trois sources principales. Parmi les plus importants, on trouve le fleuve Ouémé au Bénin, le fleuve Kéran au Togo (tous deux prenant leur source à Tanéka-Béri) ainsi que le fleuve Sounhour/Binah, qui prend sa source à Téval. A cela s'ajoutent plusieurs cours d'eau à écoulement saisonnier tels que le Yari, le Gbangbaré, le Saguigui, le Pabégou, le Baana, le Sountchoulou, le Danêgué, le Sounêgou, le N'kouéma et le Makoulouhou.

Cependant, ces ressources hydriques font face à plusieurs menaces : comblement, ensablement, tarissement et pollution. Cinq retenues ont été aménagées sur le territoire communal, mais aucune n'est actuellement en bon état écologique. Cela est principalement dû à la destruction de la galerie forestière, l'implantation des champs agricoles dans leur corridor et bassin versant, ainsi qu'aux récentes activités d'orpaillage, responsables de l'ensablement et du comblement de ces retenues. Enfin, l'état de dégradation avancée des bassins versants et la forte pente du relief rendent particulièrement difficiles la mobilisation et le stockage des eaux de surface (ORSTOM, 1993 ; MEMH, 2016, Le Barbé et al., 2014).

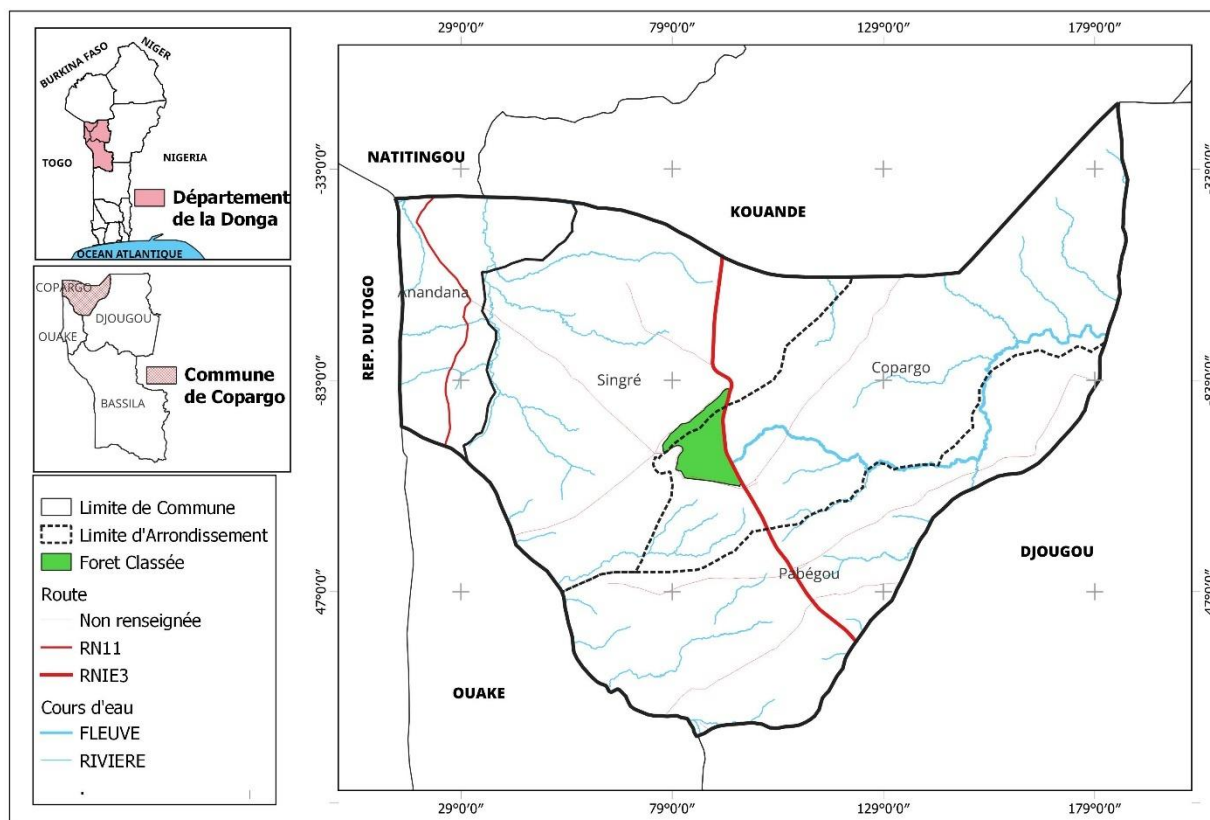


Figure 1 : carte de situation géographique de la commune de Copargo

Source : travaux Arouko 2024

1.3. Relief et Climat

Le relief de la commune de Copargo est caractérisé essentiellement par une zone montagneuse dominée par la chaîne de l'Atacora avec son point culminant qui atteint 654 mètres à Tanéka-Koko, et une zone constituée de vastes plaines boisées alternées de cuvettes et de vallons (PDC3, 2017). Dans la zone montagneuse, le relief est légèrement accidenté. Le climat qui prévaut dans la commune de Copargo est de type soudano-guinéen nuancé par le relief atacorien, caractérisé par une saison sèche qui règne de mi-octobre à mi-avril et une saison pluvieuse entre mi-avril et mi-octobre (ASECNA, 2019) et (PDC3, 2017). Alors que la saison sèche est marquée par l'harmattan, un vent sec et frais qui souffle de décembre à février, la saison pluvieuse connaît des précipitations oscillantes entre 800 mm et 1300 mm avec des maximas atteignant parfois 1 492 mm. Les mois les plus arrosés dans l'année sont généralement ceux d'Août et de Septembre. La valeur de la pluie journalière décennale est estimée à $P_{10} = 110$ mm. L'évapotranspiration annuelle avoisine 1 000 mm en année normale. Pendant les années sèches, son accroissement engendre des déficits hydriques.

C'est dans cette commune précisément dans la localité de Tanéka-Béri que le fleuve Ouémé prend sa source et coule vers l'océan Atlantique. En saison pluvieuse, les cours d'eau entraînent des submersions favorables à la pratique de la riziculture dans les bas-fonds.

1.4. Sol et végétation

Les types de sols rencontrés dans la commune de Copargo ont les mêmes caractéristiques que ceux des autres communes du département de la Donga. Il s'agit en l'occurrence des sols ferrugineux tropicaux lessivés non concrétionnés et indurés, des sols légers à faible capacité de rétention d'eau qui couvrent surtout les arrondissements d'Anandana et de Singré. Les sols ferrallitiques et quelques rares sols à tendance hydromorphe sont rencontrés au pied des sommets et dans les berges du fleuve Ouémé. Ces sols ont besoin d'importants apports en matière organique pour la reconstitution de la couche humifère sur les parcelles mises en culture.

Le couvert végétal qui protège et préserve ces formations pédologiques est dense le long des cours d'eau et constitue ainsi des forêts-galeries. On rencontre des savanes arborées et arbustives dominées par les espèces karité (*Vitellaria paradoxa*) et Néré (*Parkia biglobosa*) qui sont deux essences forestières protégées et sont les plus rencontrés partout sur le territoire de la commune de Copargo. On y rencontre aussi d'autres essences comme le manguier (*Mangifera indica*), le caïlcédrat (*Khaya senegalensis*), l'eucalyptus (*eucalyptus, camaldulensis*), le teck (*Tecktona grandis*), l'anacardier (*Anacadium occidentale*) et le doussié (*Afzelia africana*). Il existe dans la commune une forêt classée d'une superficie de 1 091 ha et des forêts sacrées, conservées sur le plan traditionnel pour divers usages.

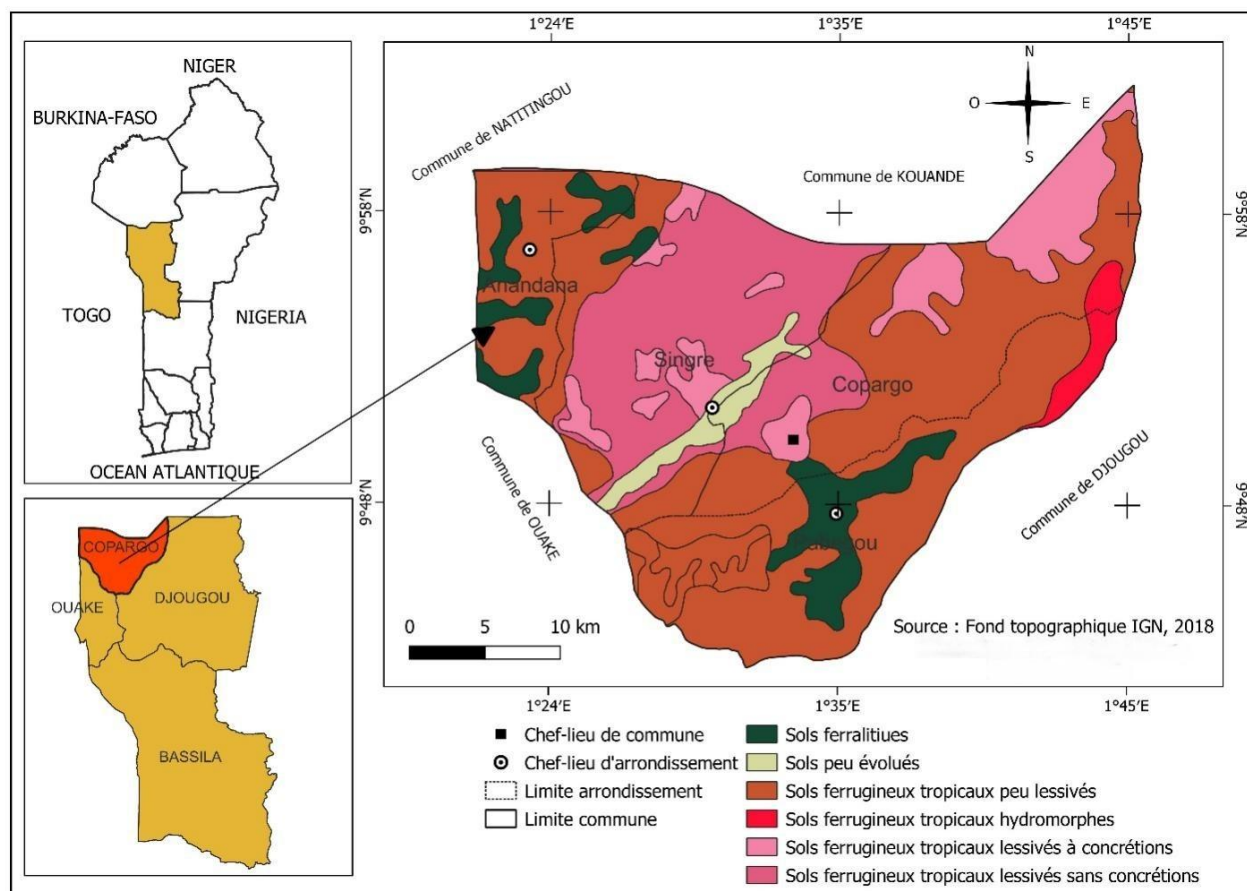


Figure 2 : Carte des types de sols dans la commune de Copargo

Source : PDC 3 de la Commune de Copargo 2017

1.5. Hydrogéologie de la zone d'études

La géologie de la commune de Copargo résulte de celle du Département de la Donga composée de formations du socle cristallin du précambrien. Ces unités de l'Atacorien constituent avec le Buem, la zone externe de la chaîne panafricaine des Dahoméides où les aquifères exploitables ne sont donnés que par les altérites, les fractures et les failles intervenues dans le socle (Ambrassey et Adam, 1986).

Le territoire de la commune est compris entre les formations géologiques de deux groupes :

- le groupe de Kouandé dominé par des quartzites et des schistes à muscovites, des schistes à quartz-muscovite-disthène constituant des interlits minces isolés au sein des quartzites (Guiraud et al., 1987) et
- le groupe de Tagayé formant une grande partie de la chaîne atacorienne. Il est constitué par de quartzites gris-clair et gris jaunâtre avec des interlits de quartzites mono minéraux blancs et des

niveaux conglomératiques puis des schistes séricite quartzeuse de couleur grise à gris jaunâtre constituant ainsi une grande partie de la chaîne atacorienne.

Elle est constituée essentiellement de quartzites et de schistes dont les lithotypes sont diversement interprétés de la base au sommet selon la lithostratification de Kriatov (Kriatov et al., 1980).

En définitive, la commune de Copargo est géologiquement constituée des formations du socle cristallin précambrien, composé essentiellement de gneiss à biotite et à muscovite, de quartzites, de gneiss à grenat puis à amphibole (Guiraud et Alidou, 1981). Nous avons les micaschistes et les gneiss rubanés de Djougou de même que des quartzites et amphiboles (Bellion et al., 1984).

Dans cette formation géologique, le niveau de la nappe piézométrique varie au cours de l'année de plusieurs mètres et peut se déplacer entre le système aquifère fracturé à la base et l'aquifère saprolitique sous-jacent. Ces fluctuations de la nappe indiquent l'existence d'un système très dynamique dans lequel le stock global d'eau est très sensible aux variations saisonnières. L'extension limitée de l'aquifère n'offre pas de grandes capacités tampons qui pourraient protéger contre l'influence de facteurs externes tels que le changement du régime des précipitations et des changements dans l'utilisation des sols à long terme (Hydro-Genie, 2014).

Par sa position en zone de socle, l'accès aux sources d'eau souterraine est très limité en raison des caractéristiques hydrogéologiques difficiles d'accès de la région pour lesquelles les roches sont compactes et peu perméables pour stocker de l'eau et constituent des aquifères peu productifs. Cette géologie est plus prononcée dans la partie ouest de la ville de Copargo et les zones de Babazaoré caractérisées par un taux anormal de forages négatifs. Cependant, 143 forages d'eau potable sont réalisés avec des débits variés pour l'approvisionnement en eau potable des populations.

En somme, toutes les formations géologiques du périmètre circonscrit pour les études sont composées de roches résistantes recouvertes des produits de leur altération physico-chimique à dominance sablée argileuse. Cependant, les contraintes tectoniques ont développé au sein de ces roches compactes des réseaux de fractures denses et ouvertes pour stocker et conduire les eaux d'infiltration. C'est le domaine des aquifères dits « discontinus » (seules les zones fracturées sont aquifères), peu perméables et très peu poreux. Ces aquifères jouent le rôle de drainage de l'eau souterraine.

C'est la ressource en eau contenue dans ces aquifères discontinus qui est exploitée pour les forages hydrauliques.

Selon les travaux issus du PDC3 et du bureau d'étude Hydro-Génie, les forages existants dans la zone d'études fournissent les caractéristiques hydrogéologiques suivantes :

- Profondeur des forages varie de 50 à 80 m ;
- Niveau statique se situe très souvent entre 10 et 25 m du sol ;
- Débit moyen d'exploitation des forages va de l'ordre de 0,7 à 10 m³/h ;
- Le taux de réussite pour la réalisation des forages allant de 30 à 70%.

Les altérations des roches compactes, formations meubles à prédominance argilo sableuse, constituent un deuxième réservoir aquifère, en continuité hydraulique avec le socle. Ce réservoir supérieur est continu, très peu perméable, mais fortement capacitif ; il renferme plus de 80 % des ressources en eau stockée dans le système. Elles sont peu exploitées pour les forages hydrauliques, mais jouent un rôle capital dans le système d'aquifère du socle, celui du stockage de l'eau souterraine (Detay et al., 2017).

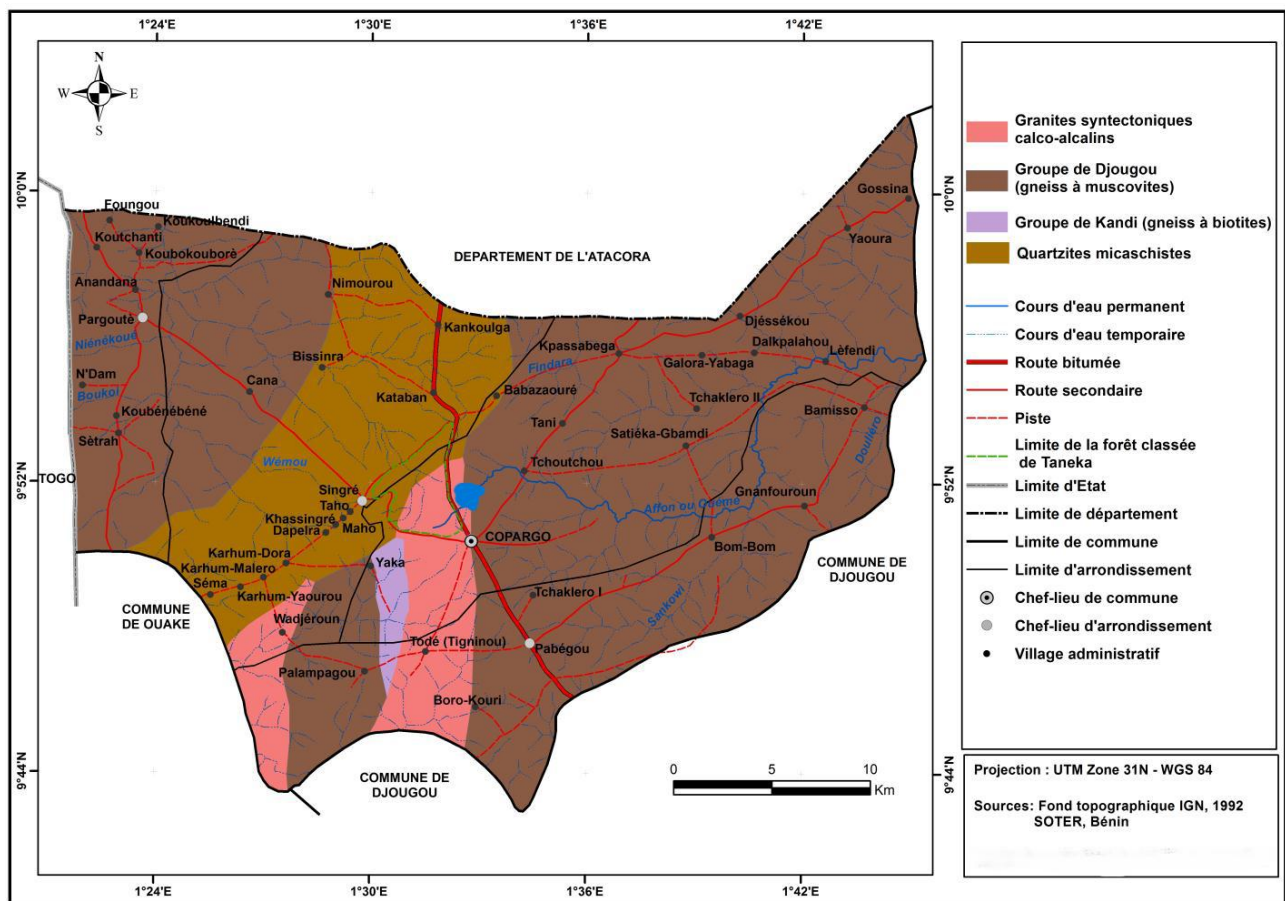


Figure 3 : Carte géologique de la commune de Copargo

Source : PDC 3 de la Commune de Copargo 2017

1.6. Démographie et données sociales

Malgré son taux d'accroissement relativement élevé pondéré à 3,00%, la commune de Copargo compte 70.938 habitants. Toutefois, elle est marquée par d'importants flux migratoires sortants, principalement en direction du Borgou, de l'Alibori, des Collines et vers les pays comme le Togo, le Ghana, le Nigéria, le Niger, le Gabon, l'Algérie, l'Allemagne ou encore l'Italie. Ce phénomène concerne essentiellement les jeunes (hommes et femmes) en quête de terres fertiles et d'emplois saisonniers rémunérateurs dans le secteur agricole entraînant ainsi une réduction significative de la main-d'œuvre disponible pour les secteurs productifs locaux.

Le diagnostic économique territorial de la commune de Copargo met en évidence d'importantes potentialités valorisant son développement économique et social. L'économie locale repose sur trois secteurs majeurs :

- ❖ le secteur primaire est dominé par l'agriculture, qui constitue l'activité principale occupant plus de 90 % de la population active et suivie de l'élevage et du commerce. L'agriculture, essentiellement extensive sur brûlis, demeure fortement dépendante du climat (précipitations) et des engrais. La production est principalement orientée vers les céréales et les tubercules.
- ❖ le secteur secondaire, qui se limite à la transformation des produits agricoles, reste peu développé.
- ❖ le secteur tertiaire, incluant le commerce et l'artisanat, joue un rôle complémentaire. Le commerce local repose sur la commercialisation des produits agricoles tels que l'igname, les céréales et les noix de cajou, ainsi que sur la distribution de produits manufacturés.

L'élevage, bien que pratiqué de manière traditionnelle, est confronté à des défis liés à l'accès aux soins vétérinaires.

1.7. Impacts des changements climatiques

La Commune de Copargo est soumise de façon permanente aux risques des changements climatiques. Les résultats du diagnostic des impacts des changements climatiques révèlent que la population subit les effets néfastes des changements climatiques notamment la mauvaise répartition des pluies, la modification du régime pluviométrique entraînant ainsi de longues saisons sèches avec l'existence des poches de sécheresse en saison pluvieuse et le bouleversement du calendrier agricole (Ogouwalé, 2006). De même, on note l'assèchement précoce des zones humides (bas-fonds et cours d'eau), la chaleur excessive, les vents violents et les inondations. Ces risques climatiques ont des conséquences

néfastes sur l'agriculture et l'élevage, les zones humides, les ressources forestières, l'énergie et sur la santé humaine.

1.8. Etude géophysique du site de Tchandoga

La géomorphologie de la zone d'étude révèle un relief peu accidenté marqué par la présence de vallonnements ou des buttes essentiellement constituées d'affleurements rocheux en saillis : quartzites, gneiss, blocs et cuirasses latéritiques... L'élévation topographique mesurée est de 483 m.

Le périmètre de Tchandoga est situé dans le socle cristallin issu de formation du socle cristallin du précambrien des unités de l'atacorien constitué avec le Buem composé de quartzites où les aquifères exploitables ne sont donnés que par les altérites, les fractures et les failles intervenues dans le socle. Il est situé sur un plateau/ mi- pente limitée par un cours d'eau au sud.

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des paramètres géophysiques pour la réussite d'une implantation

Formations géologiques dominantes dans la zone d'étude	Forme de l'anomalie		Épaisseur altération (en m)		Résistivité de l'anomalie (en Ohm.m)		Contraste de résistivité	
	Recom- mandée	Acceptable	Recom- mandée	Acceptable	Recom- mandée	Déconseillée	Recom- mandé	Déconseillé
Gneiss à biotite et Schistes	V	-	>15	>10	< 300	-	>3	-
Quartzites	U	V/W	>15	>10	<200	>300	>4	<2
Granitoïdes	V	U	>10	-	<200	>400	>5	<2

Source : HYDRO-GENIE Sarl 2014

1.9. Profondeur des venues d'eau et profondeur des forages

Dans la zone d'études, les venues d'eau sont variables et sont intimement liées au niveau de fracturation. Toutefois, les principales venues d'eau varient entre 25 et 75 m. La profondeur des forages est alors de 50 m à 80 m voire plus. Les débits sont très faibles (0.2 m³/h à 3 m³/h). Mais il arrive que l'on rencontre des forages à gros débits (débits supérieurs à 5 m³/h qui peuvent être utilisés pour alimenter des Adductions d'Eau Villageoise).

Le taux de succès dans la réalisation des forages est faible (60 à 70% environ). En effet, la zone d'études se révèle comme étant une zone hydrogéologiquement difficile et complexe comme d'ailleurs l'ensemble du socle cristallin béninois.

CHAPITRE II : APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Il existe une importante documentation qui traite de la problématique de satisfaction des besoins en eau sur le plan national et international. Dans notre cas, nous avons orienté notre recherche documentaire vers la mobilisation et la gestion de l'eau de surface et souterraine notamment les petits barrages et les forages. Ainsi, la recherche documentaire dans le cadre de notre étude a consisté en la collecte des données secondaires au niveau international, national, régional et local en rapport avec notre thème de recherche. Les principaux documents exploités sont ceux portant sur la politique nationale en matière d'eau, les rapports des structures intervenant dans le domaine de l'eau, les rapports du Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche et de certaines de ses structures sous-tutelles, les rapports de recherche et d'études de certains organismes et programmes de valorisation des ressources en eaux souterraines portant sur la problématique de la réalisation et de l'utilisation des forages à but d'irrigation.

2.1. Historique/origine des aménagements hydroagricoles de Tchandoga.

Bien que le PROFI ait prévu réaliser les études hydrogéologiques des forages sur chacun des sites maraîchers retenus pour être aménagés, une foration pilote a été exécutée en tenant compte des résultats des études antérieures commanditées en 2014 par la Facilité d'Appui aux Filières Agricoles FAFA.

En effet, la FAFA-AD a également financé directement des microprojets ou des projets d'entrepreneuriat agricole dans le domaine du maraîchage à travers son guichet de financement dénommé FODEFI (Fonds de Développement des Filières) dans le but de créer de réelles initiatives publiques et privées de grande envergure sur le développement du maraîchage dans les départements de l'Atacora et la Donga et particulièrement sur le développement de la petite irrigation privée.

Il faut souligner que la thématique "eau pour le maraîchage" est bien connue de la majorité des acteurs en appui à la filière maraîchage comme l'une des contraintes majeures à l'essor de la filière avec très peu d'information sur le potentiel en eau de la région et particulièrement les technologies d'irrigation adaptées aux départements de l'Atacora et de la Donga qui possèdent un contexte hydrogéologique complexe (DDMEH, 2012).

Les quelques dispositions prises par les promoteurs sont la mini retenue sur seuil et les surcreusements de (lit mineur) marre qui n'arrivent pas à combler les attentes des maraîchers au point où les plans de

production maraîchère sont confrontés à des déficits d'eau en pleine campagne entre janvier et mars (URCoopMA AD, 2014).

Pour pouvoir constituer un véritable laboratoire d'expérimentation de solutions concrètes au développement de la petite irrigation privée, l'Union Régionale des Coopératives des Maraîchers (URCooPMA) a, dans un premier temps, réalisé dans les zones de production maraîchère des études géophysiques pour les caractériser en matière de potentialités hydriques et les catégoriser (zones d'accès facile, zone d'accès difficile, etc.). Elle a de même formulé les options technologiques pour les adapter aux réalités des différentes zones maraîchères afin de permettre directement l'exploitation des résultats de cette première initiative par tous les acteurs en appui au maraîchage. Dans le cadre dudit processus, le bureau d'étude Hydro Génie a été sélectionné à la suite de la demande de cotation N° 002/2013/URCooPMA AD pour réaliser l'étude géophysique sur des sites maraîchers.

L'objectif de l'étude est de définir les ouvrages de captage (puits ou forage) à réaliser pour mobiliser les ressources en eau souterraine afin de réaliser une irrigation à grande échelle en tenant compte de l'aspect avantage technologique/coût de réalisation.

La méthodologie utilisée pour réaliser les études a combiné les approches quantitatives et qualitatives dans le respect strict des orientations du commanditaire.

2.2. Collecte des données

La collecte de données a lieu à trois niveaux que sont :

- les centres de documentation et bibliothèques ;
- les services et structures intervenant dans le domaine de l'eau et de l'agriculture ; et
- le site du périmètre de Tchandoga dans la commune de Copargo (les exploitations).

Tableau 3 : Liste des centres visités, nature des documents exploités et les types d'informations recueillies

Centre de documentation	Nature des documents	Types d'informations recueillies
ATDA pôle 4	Rapports d'étude,	Les filières agricoles et leur importance
Bibliothèque Bénin Excellence	Ouvrage de cours d'hydraulique	Principe de calcul des pertes de charge
MAEP	Rapport d'étude et guide	Règles et principes de réalisation des aménagements hydro-agricoles et de gestion de l'eau dans l'agriculture (Matériels d'irrigation).
DDAEP Donga et DDAEP Atacora	Rapport d'activité	La filière maraîchère, contraintes, atouts et approches de solutions.
INE	Mémoire de Licence et de Master	- Système d'approvisionnement en eau des populations urbaines au Bénin. - Données générales et spécifiques sur évaluation du taux de desserte de l'eau.
UFR AD	Rapport d'activité et d'étude diagnostique	Les appuis techniques au développement des systèmes d'irrigation en agriculture de contre-saison.
Service de l'hydraulique de Djougou	Rapports et guides	- Matériels de forage. - Dynamique des aquifères. - Bilan des campagnes de foration dans la Donga (Copargo).
Ministère de l'Eau	Rapports et guides	- Politique et stratégie sur la mobilisation et la gestion de l'eau. - Hydrogéologie de l'Afrique de l'Ouest et des eaux souterraines - Caractéristiques des eaux souterraines.
Site Schola	Mémoires	Caractéristiques hydrogéologiques des aquifères.
UAC (INE)	Mémoires et livres	Généralités sur les techniques de rédaction de mémoire.

Source : Travaux de terrain, novembre 2024.

2.3. Phase préparatoire

Elle prend en compte la définition des données utilisées, l'identification des domaines et sous-domaines (thématiques et sous thématiques) abordés par le présent rapport et a permis de procéder au choix des centres de documentation visités dans le cadre de la recherche documentaire. Les structures

et services consultés pour la vérification et confirmation des informations, ainsi que pour la définition de l'échantillonnage, ont été identifiés dès la phase préparatoire. Cette anticipation a grandement facilité l'élaboration du questionnaire d'enquête de terrain, ainsi que la conduite des entretiens avec les exploitants maraîchers les bénéficiaires de l'aménagement faisant objet de contestation.

2.4. Données utilisées

Les données utilisées pour cette étude concernent les données démographiques de la commune de Copargo, le nombre et la superficie des périmètres irrigués aménagés par PROFI et leurs caractéristiques (état de fonctionnement), les données quantitatives et qualitatives sur les besoins hydriques des producteurs recueillis sur les exploitations individuelles des maraîchers de Tchandoga.

Le bilan des études de faisabilité de la réalisation du forage de Tchandoga a été déterminé lors de nos collectes d'informations selon ce qui suit :

- Séance de travail du bureau d'étude avec le Maître d'ouvrage URCoopMA-UFR AD.

Dans le but de valider la liste définitive des sites prévus pour l'étude et le plan de travail du bureau d'études, deux séances ont eu lieu respectivement les 10 et 11 février 2014 au siège de l'URCooPMA et de la CTB. A l'issue de ces séances, la liste de vingt-cinq (25) localités prioritaires (sites maraîchers) a été remise à l'équipe du bureau d'étude accompagnée d'une liste de localités complémentaires. Cette liste complémentaire a été prévue pour permettre de remplacer les sites prioritaires qui seraient défavorables dans l'étude.

- Reconnaissance technique des sites

Cette démarche a permis au cabinet Hydro Génie de prendre contact avec les communautés des localités et d'engager des échanges préliminaires avec les bénéficiaires et leurs responsables afin de leur expliquer l'objectif du travail et de recueillir leurs préoccupations sommaires immédiates. Ce qui a favorisé la définition d'une stratégie de travail et d'aboutir à des résultats concordants avec les souhaits des populations.

Une collecte d'informations sommaires a été entreprise sur la géomorphologie, l'organisation du réseau hydrographique, la géologie et l'hydrogéologie (*type d'aquifère, profondeur des ouvrages, niveau statique, la colonne d'eau, la qualité de l'eau*) du périmètre étudié. D'autres aspects techniques ont été recherchés notamment les coordonnées géographiques du site qui ont permis d'acquérir les photos aériennes interprétées.

La synthèse des données de localisation est la suivante :

Le site de Tchandoga, classé parmi les localités prioritaires, est situé dans Copargo Centre à 01°32'39.1" longitude (x) et 09°51'22.6" latitude (y) à 483 mètres d'altitude (z) (Rapport Hydro-Génie Sarl, 2014).

- études documentaires et l'analyse des données sur l'hydrogéologie des sites maraîchers.

La carte hydrogéologique du Bénin à l'échelle de 1/500.000 a permis d'avoir un aperçu général du contexte hydrogéologique du périmètre de Tchandoga pour les études.

Les données hydrogéologiques et techniques des ouvrages d'alimentation en eau potable et surtout les coupes lithologiques desdits ouvrages, retrouvées au niveau de la Direction Départementale de l'Energie et de l'Eau (DDMEE) de l'Atacora-Donga ont permis d'apprécier les caractéristiques des eaux souterraines dans la zone du projet.

Les cartes IGN et les données climatiques de l'ASECNA ont permis de mieux caractériser le périmètre.

- photo-interprétation.

Elle a permis d'identifier la zone et d'implanter l'ouvrage d'eau dans le périmètre de l'étude.

- travaux de bureau

Ils ont consisté à :

- dépouiller les informations recueillies au cours des différentes phases de l'étude ;
- traiter des données avec les logiciels adéquats en vue de s'assurer des caractéristiques pour permettre d'obtenir des ouvrages d'eau productifs et pérennes existants ;
- définir et analyser les options technologiques d'ouvrages d'eau à réaliser, leurs avantages et inconvénients avec les coûts y afférents pour le périmètre de Tchandoga ;
- choisir l'option technologique qui tienne compte du couple avantage technologique (pérennité)/coût de l'ouvrage d'eau.
- élaborer les rapports provisoires et définitifs de l'étude.

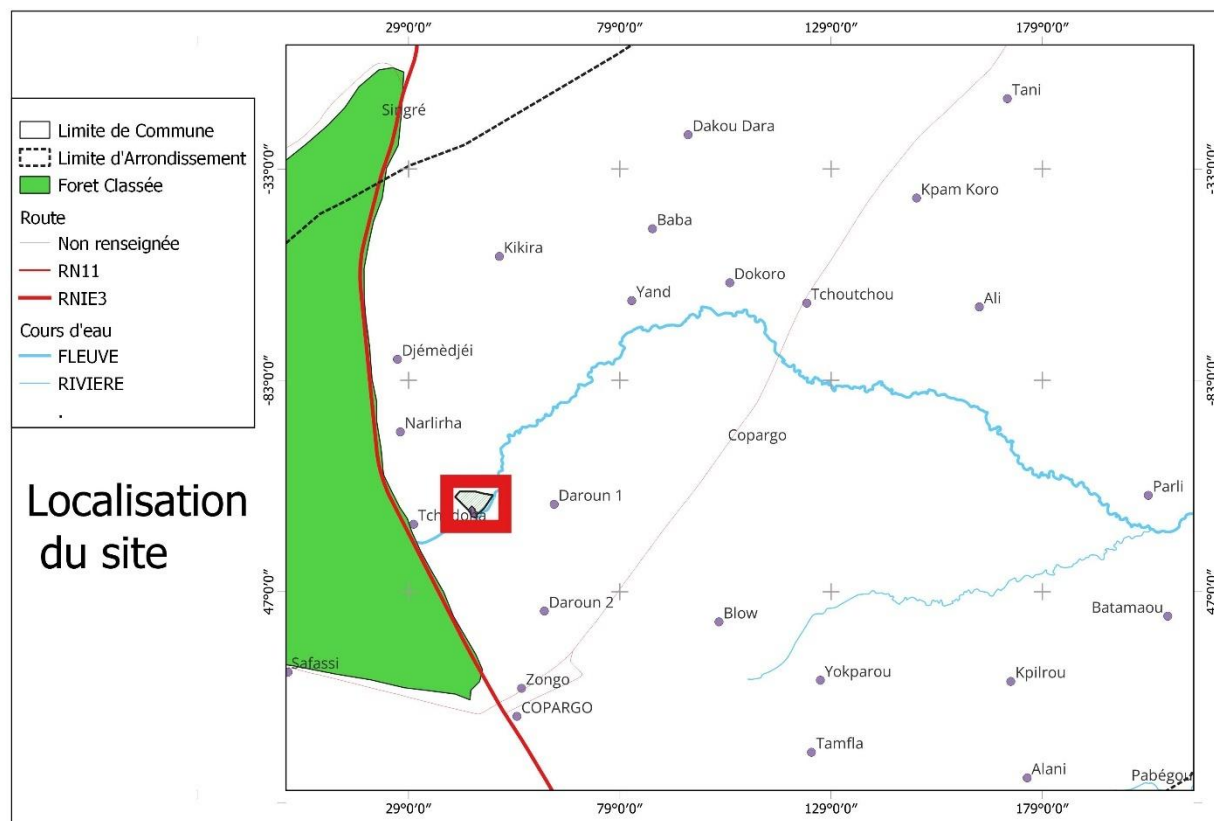


Figure 4 : Carte de localisation du site maraîcher de Tchandoga dans Copargo

Source : travaux Arouko 2024

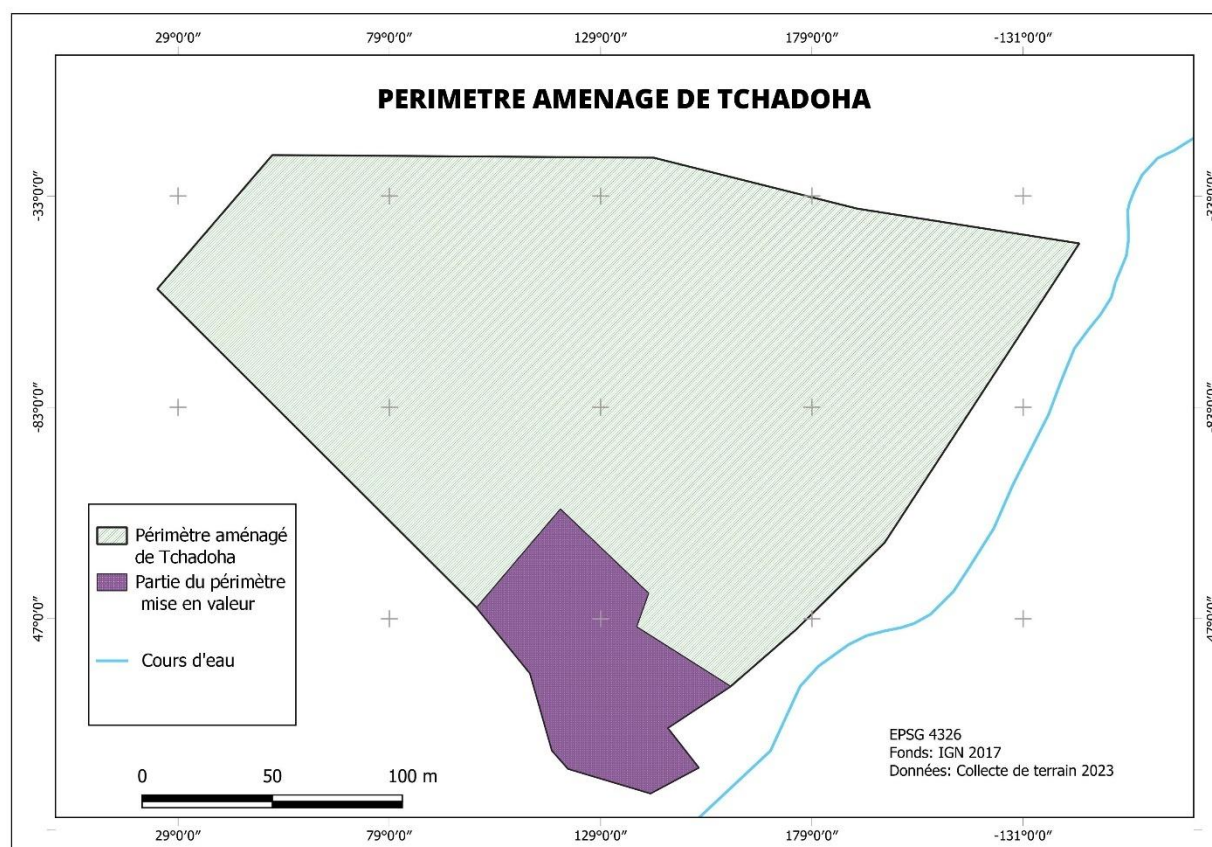


Figure 5 : Carte de la portion exploitée et la zone aménagée du site maraîcher de Tchadoga

Source : travaux Arouko 2024

2.5. L'échantillonnage

L'enquête s'est déroulée exclusivement sur le périmètre irrigué de Tchadoga, l'un des six périmètres identifiés dans la commune de Copargo. En effet, seuls les exploitants de ce site ont exprimé des préoccupations quant à la non-satisfaction des performances de l'aménagement dont ils ont bénéficié. L'échantillonnage des producteurs a été réalisé selon une méthode de randomisation complète, prenant en compte l'ensemble des maraîchers installés sur le périmètre.

Deux critères principaux ont guidé la sélection des exploitants enquêtés : d'une part, la présence effective du réseau d'irrigation sur leurs parcelles, et d'autre part, la fréquence et la durée d'utilisation des installations hydrauliques (accès à l'eau).

Au total, 34 des exploitations individuelles ont été enquêtées, ce qui correspond à l'effectif total des maraîchers répertoriés sur le site, selon les données issues du recensement réalisé par les services de l'encadrement de l'ATDA4 (Cellule Communale de Copargo) et de la DDAEP Donga.

En complément des questionnaires administrés aux maraîchers de Tchandoga, des entretiens ont également été conduits avec les agents de la DDAEP et de l'ATDA 4, afin de recueillir leurs avis sur divers aspects liés à l'enquête.

2.6. Phase d'enquêtes de terrain

Un questionnaire a été conçu dans le but de recueillir directement des informations auprès des exploitants du site maraîcher de Tchandoga. Les données collectées seront ensuite analysées et comparées à celles issues de la recherche documentaire, afin de dégager des conclusions en lien avec la problématique de cette étude. Parallèlement, un guide d'entretien incluant un questionnaire spécifique a été adressé aux agents communaux d'encadrement ainsi qu'aux responsables des producteurs.

Pour faciliter l'identification des personnes enquêtées, les responsables des groupements ou coopératives d'exploitants intervenant sur les périmètres accompagneront l'enquêteur vers les exploitants disposant de parcelles aménagées sur les sites.

Lors de l'investigation, plusieurs matériels, outils et techniques ont été exploités :

2.7. Matériel

Un appareil photo a été utilisé pour capturer des images des différentes constatations.

Un Smartphone Android avec une application de collecte mobile de données a été utilisé pour l'enregistrement des informations de l'enquête.

Le ruban ou décamètre pour les mesures de distances et dimensions de certains équipements hydrauliques.

Un guide d'entretien, un questionnaire et une grille d'observation ont été utilisés pour la collecte des informations liées aux systèmes d'irrigation des exploitations et l'état de fonctionnement des installations hydrauliques sur les périmètres abritant leurs exploitations.

La grille d'observation a permis de noter certaines conditions d'utilisation du réseau d'irrigation des périmètres ainsi que les installations et équipements hydrauliques disponibles.

La carte hydrogéologique du Bénin à l'échelle de 1/500.000 a permis d'avoir un aperçu général du contexte hydrogéologique du périmètre de Tchandoga pour les études.

Les données hydrogéologiques et techniques des ouvrages d'alimentation en eau potable et surtout les coupes lithologiques desdits ouvrages, retrouvées au niveau de la Direction Départementale de de

l'Eau (DDE) de l'Atacora-Donga ont permis d'apprécier les caractéristiques des eaux souterraines dans la zone du projet.

Les cartes IGN et les données climatiques de l'ASECNA ont permis de mieux caractériser le périmètre.

Les Travaux de bureau ont permis d'élaborer les rapports provisoires et définitifs de l'étude.

2.8. Traitement des données et analyse des résultats

Les données collectées sur le terrain ont été dépouillées et apurées manuellement à l'aide d'un ordinateur. Elles ont ensuite été combinées aux données statistiques obtenues auprès des services de la DDEAP Donga et de l'ATDA4, puis regroupées en fonction des objectifs de l'étude. A cet effet, le logiciel Microsoft Word 2016 a été utilisé pour la saisie et la mise en forme des informations qualitatives, tandis que Microsoft Excel 2016 a servi à effectuer les calculs des fréquences, des moyennes, des tendances et à élaborer les graphiques.

Une fois les données apurées et traitées, l'analyse des résultats a été conduite selon le modèle du pourcentage. Ce modèle a permis, d'une part, d'identifier les impacts des aménagements (périmètres irrigués) sur l'activité maraîchère des notamment en ce qui concerne la disponibilité de l'eau, le gain de temps et l'accroissement des superficies irrigables et, d'autre part, d'évaluer les effets du système de gestion et d'entretien des infrastructures sur l'état des installations et équipements hydrauliques en termes de fonctionnement et de durabilité du réseau, sur le périmètre maraîcher de Tchandoga dans la commune de Copargo.

2.9. Détermination des besoins en eau du piment : culture principale sur le périmètre

La démarche de détermination du taux de satisfaction des besoins en eau d'irrigation des cultures des producteurs maraîchers a suivi quatre (4) étapes ci-après :

2.9.1. Analyse du contexte climatique, agricole et hydrologique

- Variabilité climatique importante (inondations / sécheresses).
- Dépendance des cultures aux apports hydriques exogènes.
- Pression sur la ressource : évaporation, ensablement, abreuvement du bétail.

2.9.2. Détermination des besoins en eau du piment

- Valeur de l'ETP

La valeur journalière de l'évapotranspiration potentielle maximale de la région obtenue au service de la météorologie de Natitingou est 6,2 mm (Arnaud et al, 2014).

- Identification du coefficient cultural

La valeur du coefficient retenue parmi celles présentées dans plusieurs documents de l'hydraulique et de l'irrigation pour le piment durant le besoin de pointe végétatif est 1,2.

- Evaluation de la superficie exploitée

La superficie en exploitation de façon régulière par les maraîchers est 1,5 hectares soit 15000 m²

- Calcul du BE journalier

Le besoin journalier de la culture du piment représente l'ETP qui est la somme de la quantité d'eau transpirée par la plante et de celle évaporée par le sol de la culture surplace multipliée par le coefficient cultural multiplier par la superficie. Son expression est :

$$\mathbf{BEj = ETP_{max} \times kc \times 15000}$$

- Détermination du besoin en eau (BE) saisonnier

En prenant en considération les informations des structures techniques telles que l'URCoopMA-AD et le CARDER-AD, nous pouvons déterminer le taux de satisfaction des besoins en eau des maraîchers de Tchandoga pour la culture du piment ayant un cycle végétatif de 120 jours. Soit ce besoin saisonnier : BEs = ETPmax x kc x S ; on a :

$$\mathbf{BEs = 6,2 \times 1,2 \times 15000 \times 120}$$

- BEs : Besoins en Eau saisonniers
- ETPmax : Evapotranspiration maximale
- Kc : Coefficient cultural
- 120 : durée du cycle végétatif du piment

2.9.3. Évaluation de l'offre en eau disponible

- Mesure du volume réel stocké par la mini-retenue

La détermination de la capacité volumique de stockage de la mini retenue sur seuil est évaluée par la méthode de calcul de volume suivante : section mouillée de la cuvette multipliée par la profondeur moyenne de la cuvette (Bergron et al 2013).

$$\mathbf{V = S \times P ; \text{ avec}}$$

- V : Capacité volumique de stockage
- S : Section mouillée de la cuvette
- P : Profondeur moyenne de la cuvette

Cette estimation a été possible en combinant les mesures directes des ouvrages de mobilisation des eaux de ruissellement sur le périmètre. Les valeurs des paramètres ont été obtenues dans les rapports des services d'encadrement technique des producteurs maraîchers. Ces services ont dressé les mesures issues de l'observation du fonctionnement hydrologique de la mini retenue sur seuil durant son utilisation pour l'irrigation.

- Détermination du volume mobilisable par le forage

Le volume d'eau fourni par le forage pour servir à l'irrigation est évalué à partir du débit horaire du forage et de la durée de fonctionnement de la pompe d'exhaure.

Soit V_f ce volume

$$V_f = D_f \times d_P$$

- V_f : Volume d'eau fourni par la forge
- D_f : Débit horaire du forage
- d_P : Durée de fonctionnement de la pompe solaire en heure

2.9.4. Étape 4 : Calcul du taux de satisfaction des besoins en eau

La détermination des différents taux de satisfaction étudiés dans le présent rapport a été effective par la méthode de calcul de proportion exprimée en pourcentage (%).

Elle a consisté à diviser les volumes d'eau fournis par la retenue d'une part et d'autre part celui fourni par le forage par le besoin en eau saisonnier du piment (Lessard 2019).

Soit TS ce taux

$$TS = V_d / BE_s$$

- TS : Taux de satisfaction ou taux de couverture des besoins saisonnier de la culture ;
- V_d : volume d'eau disponible (fourni par la retenue ou le forage) ;
- BE_s : Besoins en eau saisonnier du piment (besoin en eau du périmètre).

Chapitre III : RÉSULTATS DE RECHERCHE ET DISCUSSION

Ce chapitre aborde l'état des lieux des infrastructures hydrauliques à Tchandoga et s'articule autour de la typologie des infrastructures/ouvrages de mobilisation de l'eau sur les sites de Tchandoga, la répartition spatiale des infrastructures/ouvrages de mobilisation de l'eau sur le site du fonctionnement des infrastructures/ouvrages de mobilisation de l'eau et enfin de la distribution de l'eau sur les parcelles de cultures (quantité et régularité).

3.1-Nature du besoin en eau des cultures maraîchères à Tchandoga avant l'aménagement

La culture des légumes s'est développée au fil du temps dans le département de la Donga et présente des caractéristiques différentes en fonction des localités où elle est pratiquée. Les éléments pris en considération dans une étude de caractérisation menée par le Centre d'Action Régional pour le Développement Rural (CARDER) Atacora-Donga en 2015 sont le système de culture et le type de production (les superficies individuelles, le type d'exploitation, le statut des exploitations et les moyens de production).

L'instabilité du régime pluviométrique affecte la production maraîchère dans les localités au nord du Bénin où se trouve le bas-fond de Tchandoga. C'est un phénomène qui est désigné sous le terme de variabilité climatique et se manifeste par une forte variation de pluies entraînant ainsi les inondations et les sécheresses (Djohy, 2016). Cette perturbation du climat a favorisé un bouleversement des calendriers agricoles dans la zone septentrionale et surtout les performances physiologiques des cultures maraîchères (Ogouwalé, 2006). La résultante de ce phénomène climatique rend les activités agricoles fortement dépendantes des pluies (Boko, 1988) et celles maraîchères inadaptées à cette saison humide (Tiamiyou, 1995).

La situation du maraîchage sur le site de Tchandoga présentée dans ce rapport s'appuie sur la dimension (aspect) utilisation de l'eau quant à sa quantité, sa régularité et décrit les infrastructures hydrauliques mises à contribution. Elle expose de même leur état de fonctionnement sur le site.

Les réflexions et efforts menés par les différents services de l'agriculture ont permis de tirer de l'analyse de la variabilité de pluviométrie des stratégies d'adaptation développées par les producteurs maraîchers. Les cultures maraîchères constituent une activité de contre-saison et nécessitent un apport d'eau par arrosage (Bognini, 2011).

Dans son rapport de diagnostic rapide de faisabilité des aménagements maraîchers dans les départements de l'Atacora et de la Donga en 2015 (APS et APD), le PROFI a souligné que le choix des spéculations des producteurs maraîchers est le plus souvent guidé par les opportunités d'affaires déterminées par l'existence de marchés d'écoulement des récoltes ou produits maraîchers (PROFI, 2015). Ce qui limite la possibilité de procéder à la gestion rationnelle de la ressource en eau disponible pour une diversification des cultures d'où la convergence de tous les maraîchers vers la seule spéculation qui bénéficie du marché transfrontalier d'écoulement du piment vers le Togo, le Ghana et la Côte d'Ivoire (URCoopMA-AD, 2016) et CARDER-AD, 2017).

En prenant en considération les informations des structures techniques telles que l'URCoopMA-AD et le CARDER-AD, nous pouvons déterminer le taux de satisfaction des besoins en eau des maraîchers de Tchandoga pour la culture du piment ayant un cycle végétatif de 120 jours. Soit ce besoin saisonnier : $BEs = ETP_{max} \times k_c \times S$; on a :

$$BEs = 6,2 \times 1,2 \times 15000 \times 120$$

$$BEs = 13392000 \text{ l soit } 13392 \text{ m}^3.$$

- BEs : Besoins en Eau saisonniers
- ETP_{max} : Evapotranspiration maximale
- K_c : Coefficient cultural

Le besoin est quantitatif et relatif à la disponibilité de l'eau pour l'agriculture.

3.2- Typologie des ouvrages de mobilisation de l'eau sur le site de Tchandoga

Deux types d'eau sont utilisés pour combler la demande en eau des cultures pratiquées à Tchandoga. L'eau de surface avant l'aménagement du périmètre irrigué et l'eau souterraine à partir du forage après les aménagements.

3.2.1- Sources d'eau utilisées dans le maraîchage sur le site de Tchandoga avant l'aménagement

▪ Caractéristiques de la mini retenue sur seuil de Tchandoga.

Dès l'installation des précipitations, les écoulements dans le lit mineur du ruisseau (bas-fond) TCHANDOGA sont barrés et captés par une digue construite en maçonnerie pour créer un mini barrage ou retenue d'eau. C'est un ouvrage composé de :

- une digue de 48.7 m de longueur, 0.40 m de largeur et de 1.5 m de hauteur avec la portion d'ancrage ou de scellement pour l'appui ;
- une cuvette de 1 512 m² de surface et d'une profondeur moyenne de 0.90 m pour une section mouillée de 1 200 m². Voir récapitulatif dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Caractéristiques de l'ouvrage de la source d'eau à Tchandoga avant l'aménagement

N°	Caractéristiques géométriques	Valeur algébrique	Méthode d'obtention
1	Longueur de la digue déversant en m	48.7	Mesure directe
2	Largeur de la digue déversant en m	0.40	Mesure directe
3	Hauteur de la digue déversant en m	1.5	Mesure directe
4	Profondeur de la cuvette en m	0.90	Mesure directe
5	Surface en m ²	1512	Mesure directe
6	Section mouillée en m ²	1200	Mesure directe
7	Volume saisonnier en m ³	1080	Calcul (h x S)

Source : travaux de terrain Arouko 2023

La cuvette sert en même temps de barque d'admission ou de captage de l'eau utilisée pour l'arrosage des cultures.

Il s'agit d'un ouvrage implanté sur un versant à pente relativement prononcée, ce qui le rend particulièrement vulnérable à l'érosion hydrique. Cette situation a favorisé un ensablement rapide de la retenue dès les premières saisons pluvieuses, réduisant ainsi de manière significative sa capacité de stockage en eau.

Par ailleurs, en raison de son exposition directe au climat tropical, cette retenue subit une forte évaporation, ce qui contribue à son assèchement prématuré — souvent au moment critique du cycle végétatif des cultures, notamment en phase de floraison ou de fructification. Cette situation engendre des pertes importantes, pouvant atteindre l'équivalent financier des coûts de production des spéculations sinistrées.

Enfin, la retenue est également utilisée comme point d'abreuvement par le bétail en divagation, ce qui accentue la pression sur cette ressource en eau déjà insuffisante.

Le bétail en divagation se sert de l'eau de la même retenue pour son besoin d'abreuvement.

▪ Capacité volumique de la retenue sur seuil de Tchandoga et demande en eau des maraîchers

La disponibilité en eau assurée par la retenue réalisée sur le mini seuil de rétention est estimée à un volume brut de 1 080 m³. Pour évaluer le niveau de satisfaction des besoins en eau d'irrigation sur le périmètre maraîcher de Tchandoga, une approche arithmétique est utilisée. Celle-ci consiste à établir le rapport entre la demande en eau (ou besoins cultureux) de la culture de piment avant l'aménagement et l'offre en eau, représentée par le volume de stockage effectif de la retenue (Vs). Ce rapport, exprimé en pourcentage, permet de déterminer le taux de satisfaction des besoins en eau d'irrigation. Il constitue un indicateur clé pour apprécier l'adéquation entre la capacité de la retenue d'eau et les exigences hydriques des cultures, en particulier dans un contexte de forte évaporation, de pression animale et d'extension des superficies cultivées non prévues initialement :

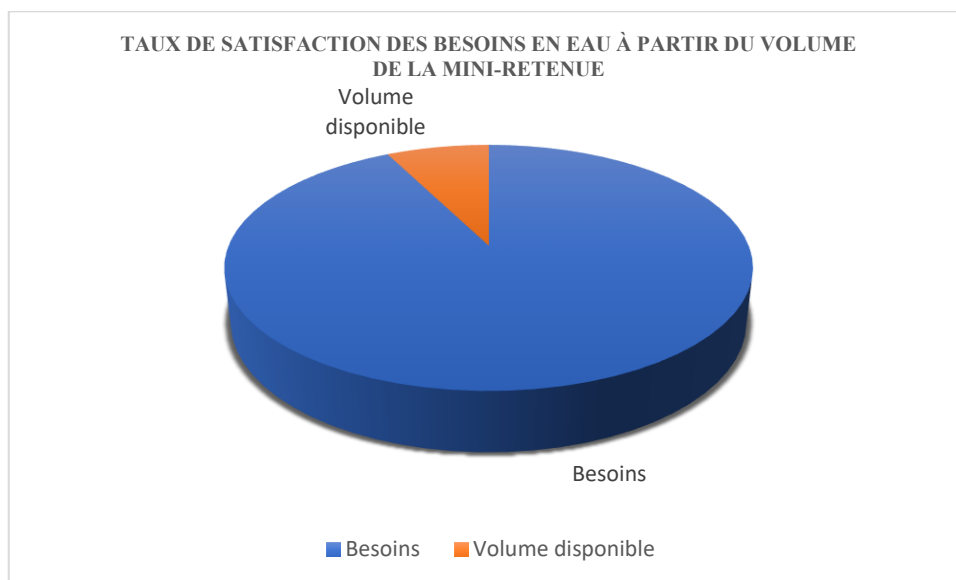
Ce qui s'explique par : $TS (\%) = Vs/BEs$; $Vs = 1080 \text{ m}^3$ et $BEs = 13\,392 \text{ m}^3$

$$TS = 1080 / 13\,392 \times 100$$

$$TS = 8,06\%$$

- TS : Taux de satisfaction des besoins en eau
- Vs : Volume saisonnier de la mini retenue sur seuil
- BEs : Besoins en Eau saisonniers

Figure 2 : Couverture des besoins en eau de la culture du piment à partir du volume d'eau disponible dans la mini retenue sur seuil



Commentaire : Le taux de satisfaction des besoins en eau d'irrigation, estimé à 8,06 %, reste très faible sur le périmètre maraîcher de Tchandoga. Cette insuffisance est à l'origine du dessèchement des cultures maraîchères en pleine phase végétative ou productive, entraînant des pertes importantes.

Ce faible taux corrobore les plaintes des producteurs sur le manque d'eau d'irrigation, notamment pour la culture du piment.

▪ **Durée de couverture des besoins en eau par le volume de la retenue**

Le volume utile de la retenue sur mini-seuil est estimé à 1 080 m³. Pour apprécier l'adéquation entre ce volume et les besoins en eau de la culture du piment, on évalue la durée (en jours) pendant laquelle ce volume peut couvrir les besoins d'irrigation sur une superficie moyenne exploitée de 1,5 hectare.

Sachant que le besoin journalier en eau pour le piment est estimé à 111,6 m³, la durée de couverture peut être calculée comme suit :

$$N_j = V_s / BE_j$$

$$N_j = 1080 / 111,6$$

$$N_j = 9,68$$

Sensiblement égal à 10 jours

- N_j : nombre de jours
- V_s : Volume saisonnier (en m³)
- BE_j : Besoins en Eau journaliers (en m³)
- la capacité de couverture des besoins en eau par le volume de la retenue sur mini-seuil est estimée à 10 jours, sur un cycle de culture du piment de 120 jours. Ce faible taux de couverture (soit à peine 8,3 % du cycle cultural) met en évidence l'incapacité de la seule retenue à satisfaire durablement les besoins hydriques des cultures maraîchères sur le périmètre de Tchandoga.

Cette situation témoigne de la contribution indispensable des autres sources d'approvisionnement, notamment les puisards surcreusés dans le lit du cours d'eau, qui complètent le volume d'eau nécessaire à la mise en valeur effective des 1,5 hectares exploités à chaque saison de production.

Il ressort donc clairement de cette estimation que les maraîchers de Tchandoga ne peuvent compter uniquement sur la retenue existante. Pour garantir la continuité du cycle végétatif des cultures et prévenir les pertes, il devient impératif de mobiliser d'autres ressources en eau, ou d'envisager une amélioration des infrastructures d'irrigation, que ce soit par l'augmentation de la capacité de stockage ou par la diversification des points de captage.

▪ Superficie efficace irrigable à partir du volume de stockage de la retenue

Des rapports issus des travaux de suivi-appui-conseil des structures décentralisées intervenant dans l'agriculture dans les départements de l'Atacora et de la Donga, notamment les études de faisabilité et diagnostic d'exploitation, la superficie mise en valeur par les maraîchers de Tchandoga est évaluée à 1,5 ha avec la culture du piment à partir d'une source d'eau assimilable à une mini-retenue (PROFI-AD, 2016) dont le volume est estimé à 1 080 m³. A partir de l'analyse du taux de satisfaction des besoins en eau précédemment établi (soit 8,06 %, équivalant à 10 jours de couverture sur un cycle de 120 jours), il est possible de déterminer la superficie réellement cultivable en piment vert, culture préférée des maraîchers du site de Tchandoga, en tenant compte du volume d'eau disponible dans la retenue :

soit S_r la superficie réelle possible d'être cultivée.

$$BEs = ETP_{max} \times k_c \times S_r ;$$

$$S_r = \frac{BEs}{ETP_{max} \times k_c}$$

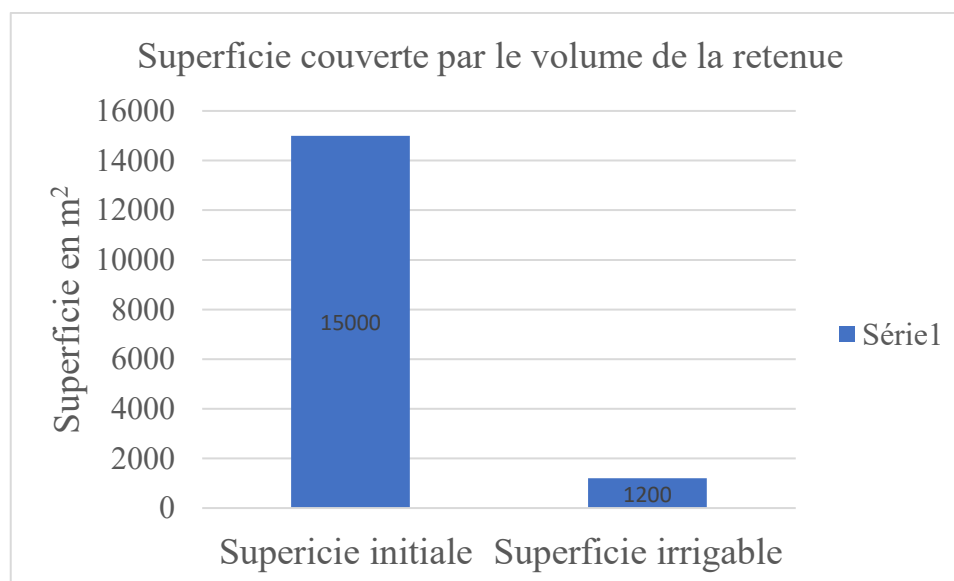
En remplaçant le volume de la retenue par BEs, on pourra déduire la superficie possible d'être cultivée.

$$S_r (m^2) = 1080 / (6,2 \times 1,2 \times 120)$$

$$S_r (m^2) = 1209,67 \text{ soit } S \text{ (ha) et en ha ;}$$

$$S_r \text{ (ha)} = 0,12 \text{ ha}$$

Figure 3 : Superficie irrigable à partir du volume d'eau de la retenue



Commentaire : Environ 1/12 de la superficie initialement cultivée peut être irrigable par le volume d'eau contenu dans la mini retenue sur seuil. Les 11/12 régulièrement irrigués le sont grâce à l'apport des surcreusements du lit mineur.

Si nous nous en tenions à la traduction directe de la satisfaction des besoins en eau des maraîchers de Tchandoga, sur les 1,5 ha exploités initialement, la ressource en eau ne couvre que 0,0145 ha, la superficie complémentaire à irriguer à partir d'autre source d'eau est 1,4855 ha.

La situation de déficit hydrique décrite précédemment représente la principale difficulté rencontrée par les maraîchers du site de Tchandoga. Cette contrainte majeure justifie les multiples demandes et préoccupations qu'ils ont adressées au Projet de Promotion des Filières Agricoles (PROFI), piloté par l'Agence Belge de Développement (Enabel) à travers l'Unité Fonctionnelle Régionale Atacora-Donga (UFR-AD).

Après plusieurs phases de vérification et de validation de ces doléances, le projet a reconnu la pertinence de la requête des exploitants. En réponse, l'équipe technique du PROFi a engagé la mise en œuvre d'un ensemble d'actions et d'activités techniques visant à doter les producteurs d'infrastructures hydro-agricoles adaptées et productives, afin de réduire durablement le déficit en eau d'irrigation.

C'est dans ce cadre qu'a été initiée la réalisation des aménagements hydro-agricoles du périmètre de Tchandoga, dont le forage constitue l'ouvrage principal. Il représente la source d'eau prioritaire et conditionne l'ensemble des travaux relatifs à la mise en place du réseau d'irrigation.

▪ **Fonctionnement hydrologique de la retenue sur seuil**

La disponibilité permanente de l'eau demeure le principal facteur limitant la production agricole de contre-saison, selon les constats du CARDER-AD (2016). À ce titre, la source d'eau joue un rôle central en tant que réservoir de stockage. Cependant, sur le site de Tchandoga, la retenue utilisée s'assèche prématurément entre février et mars, compromettant ainsi l'optimisation des productions maraîchères en période sèche.

La retenue d'eau de Tchandoga est essentiellement alimentée par les ruissellements issus des précipitations naturelles. Ce mode d'alimentation confère à la retenue un fonctionnement hydrologique saisonnier, tributaire du régime climatique local. D'après les rapports techniques du CARDER-AD et de l'UFR AD/CTB, le régime hydrologique des retenues dans cette zone s'étend

généralement d'août à janvier, avec un assèchement observé entre février et mars (DAER/CARDER-AD, 2016). L'eau commence à affluer dans la cuvette dès l'installation des grandes pluies, aux environs de juillet ou début août, mais se retire rapidement avec l'arrivée de la saison sèche, rarement au-delà de mars ou avril.

Quant aux puisards aménagés le long du lit mineur du ruisseau Tchandoga, ils présentent un régime hydrologique similaire à celui de la retenue. Toutefois, leurs profondeurs surcreusées permettent un stockage précoce des ruissellements temporaires dès le début des pluies, et prolongent légèrement leur disponibilité jusqu'à février voire mi-mars. Ainsi, leur période d'utilisation s'étend en général de juillet à février, parfois jusqu'à la mi-mars, offrant un sursis hydrique aux exploitants en fin de saison.

3.2.2- Fonctionnement du système d'arrosage avant l'aménagement à Tchandoga

▪ Matériels et équipements de transport de l'eau

Le système d'irrigation à Tchandoga est un dispositif composé de matériel de pompage (groupes thermiques ou motopompes), du matériel de transport (tuyaux d'aspiration, de tuyaux de refoulement) et de distribution de l'eau (de tuyaux de répartition et distribution branchés/raccordés à la pomme d'arrosage). Sur la plupart des exploitations individuelles, les bandes flexibles perforées remplacent les tuyaux de distributions et les pommes d'arrosages. Leur nombre est fonction de l'effectif des maraîchers installés sur le site.

▪ La prise d'eau

Les prises d'eau au niveau des parcelles maraîchères sont des vannes/robinets et il est d'usage courant de diriger l'eau vers les parcelles au moyen de vanne-robinet qui arrête l'écoulement dans les conduites.

Dans ce système, les pertes d'eau par fuites (écoulements hors conduites) sont parfois importantes et proportionnelles au nombre de dérivations.

▪ Modes d'irrigation

La monoculture est largement pratiquée dans le bas-fond de Tchandoga.

Sur le périmètre maraîcher qu'abrite ce site, le piment vert constitue la culture dominante, privilégiée par les producteurs pour sa rentabilité et sa demande sur le marché local et régional. Cette spéculation est souvent associée à d'autres espèces de légumes comestibles, implantées de manière stratégique

en ceinture, en tâches ou en bandes, autour ou à l'intérieur des parcelles de piment, dans un souci de diversification culturelle et d'optimisation de l'espace.

En ce qui concerne les pratiques culturelles, le mode d'irrigation traditionnel reste largement généralisé. Il s'agit principalement de l'arrosage manuel à la pomme d'arrosoir, une technique qui consiste à asperger directement l'eau sur les bandes cultivées, jusqu'à obtenir une humidification satisfaisante du sol. Bien que cette méthode soit accessible et peu coûteuse, elle reste peu efficiente en termes de gestion de la ressource en eau, surtout dans un contexte de pénurie hydrique, comme celui observé à Tchandoga.

L'irrigation traditionnelle quotidienne sans mesure de la durée et du volume est pratiquée et présente les inconvénients du point de vue de l'utilisation rationnelle de l'eau :

- la portion mouillée très large est à l'origine d'une forte perte de l'eau par évaporation ;
- de fortes pertes par infiltration dues aux heures d'irrigation inégales.

Les agriculteurs ont essayé plusieurs mesures économes en eau dont la réduction de la largeur des allées entre les bandes ou planches (DAER/CARDER-AD, 2015) et (URCoopMa-AD, 2014). Cependant, elles ne se sont pas avérées efficaces.

▪ **Technique pratique d'arrosage**

Le périmètre maraîcher de Tchandoga se distingue par une topographie à pente relativement modérée, avec une surface totale de 5 hectares, dont 2,5 hectares sont régulièrement exploités par les producteurs. Avant les interventions du Projet de Promotion des Filières Agricoles (PROFI), appuyé par la Coopération Technique Belge (Enabel), les principaux modes d'irrigation utilisés étaient l'aspersion manuelle à la pomme d'arrosoir et le système de micro-jets.

Ces systèmes d'irrigation reposaient sur des bandes flexibles perforées, jouant le rôle de conduites tertiaires ou terminales, permettant de distribuer l'eau pompée depuis les puisards et le mini-barrage vers les cultures en place.

Cependant, selon les témoignages recueillis auprès des producteurs, l'ensemble de ce dispositif présentait de nombreuses limites techniques et fonctionnelles, constituant ainsi l'une des principales contraintes à la production maraîchère. C'est cette situation qui a motivé la mise en œuvre des aménagements hydro-agricoles réalisés dans le cadre du PROFIL, afin de renforcer la productivité et la résilience des exploitants face à la pénurie d'eau.

Conclusion partielle

Vers une solution durable d'approvisionnement en eau : nécessité d'une nouvelle source et impératif d'une analyse de faisabilité

Face à l'insuffisance du volume de la retenue existante et à la difficulté de garantir sa pérennité en termes de capacité de stockage, il devient impératif d'envisager la mobilisation d'une nouvelle source d'eau pour assurer l'alimentation régulière et durable des parcelles maraîchères de Tchandoga.

Cependant, conformément aux principes de bonne gestion des infrastructures productives, toute initiative d'investissement doit s'appuyer sur une analyse de faisabilité approfondie, intégrant les dimensions technique, économique, financière, sociale et, dans une certaine mesure, environnementale.

Une telle démarche permet non seulement d'évaluer la viabilité de l'option envisagée, mais aussi de garantir que les solutions mises en place seront efficaces, efficaces et soutenables à long terme, au bénéfice des producteurs locaux.

3.2.3- Conception des aménagements du périmètre de Tchandoga

Le maraîchage représente une activité clé pour l'économie de la région de l'Atacora-Donga et du Bénin en général. En tant que filière prioritaire, il a un impact majeur sur la sécurité alimentaire et les revenus des populations rurales. Ce secteur a un potentiel énorme à condition de surmonter les défis liés à la gestion de l'eau, à la durabilité des infrastructures et à l'efficacité des systèmes d'irrigation. Cependant, le maillon production de cette filière est confronté à la principale contrainte de manque d'eau pour l'irrigation (PSDSA/MAEP, 2017). Plusieurs acteurs intervenant dans le secteur agricole ont contribué à la résolution des difficultés des maraîchers relatives à la mobilisation et l'utilisation de l'eau d'arrosage en maraîchage. La démarche entreprise par la Coopération Technique Belge (CTB) pour conduire les actions du Projet de Promotion des Filières agricoles (PROFI) est basée sur l'appropriation et la capitalisation des approches antérieures portant sur l'amélioration de la petite irrigation privée dans les départements de l'Atacora et de la Donga. C'est une démarche issue des efforts combinés de certains partenaires (PROTOS, AIDEB, PAMRAD, MCA, PADER-PACER) et coordonnée par le CARDER-AD, elle constitue une innovation à petite échelle sans véritablement asseoir une stratégie durable d'accès à l'eau pour les maraîchers. La plupart de ces initiatives sont souvent abandonnées après le retrait des partenaires et les producteurs sont à nouveau confrontés à leurs difficultés.

▪ Etapes de conception des aménagements maraîchers de Tchandoga

En vue d'obtenir des ouvrages résistants et durables, le PROFI a suivi les étapes recommandées par la SPPIP dans la réalisation des aménagements hydro-agricoles qui s'inspire du schéma directeur des aménagements hydroagricoles. Il s'agit de/du :

- diagnostic d'identification des difficultés et contraintes ;
- l'expression des besoins des bénéficiaires ;
- la recherche de partenaires techniques et financiers ;
- l'étude avant-projet sommaire ;
- l'étude avant-projet détaillé ;
- l'élaboration des dossiers et documents d'exécution des investissements ; la contractualisation des travaux de réalisation du projet (investissements) ; la gestion des infrastructures ;
- identification des contraintes ;
- évaluation des besoins ;
- recherche de financement ;
- études de faisabilité ;
- conception du sous-projet ;
- réalisation des installations et travaux ;
- gestion ou l'utilisation des installations.

Dans la pratique et la mise en œuvre du processus, les différentes étapes ci-dessus énumérées ont été regroupées en trois phases que sont :

- études de faisabilité des aménagements hydro-agricoles maraîchers de Tchandoga ;
- réalisation des infrastructures hydrauliques et d'aménagement du périmètre ;
- mise en service et utilisation des infrastructures (gestion du périmètre maraîcher).

▪ Etudes de faisabilité des aménagements hydro-agricoles maraîchers de Tchandoga

Plusieurs étapes ont été combinées avec des outils techniques et documents professionnels pour concevoir les différents ouvrages et installations du périmètre maraîcher de Tchandoga.

▪ **Demande d'investissements structurants portés par les communautés bénéficiaires**

Les fiches outils d'aide à l'analyse de la faisabilité du sous-projet d'investissement ont été utilisées lors de l'élaboration du dossier de la demande d'appui et d'investissement portée par la communauté de maraîchers de Copargo installés à Tchandoga. Elle respecte les règles, principes et critères définis par des services techniques déconcentrés (CARDER, DDPD et Préfecture) chargés de faciliter l'arbitrage des « décisions » du financement du projet. La finalité poursuivie est de garantir ou d'optimiser la qualité des investissements et leur conformité vis-à-vis des réglementations techniques, financières, sociales, environnementales et foncières, afin d'assurer leur reproductibilité au plan économique et dans des conditions de leur future gestion.

Ces outils sont élaborés dans le contexte du fonctionnement du Comité Régional d'Approbation et de Validation (CRAV) devenu Comité Départemental d'Approbation et de Validation (CDAV) chargé du suivi de la mise en œuvre du mécanisme du Fonds d'Appui au Développement Agricole des Communes (FADeC) dont l'usage a été généralisé pour faciliter les missions d'appui-conseil aux collectivités territoriales conduites par les services techniques déconcentrés dans le cadre de la décentralisation. Ce processus est terminé par celui de l'élaboration des dossiers d'études avant-projet sommaire (APS) qui a mobilisé des techniciens des services du génie rural du Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural et du PROFI appuyés par une expertise internationale spécialisée dans l'assistance technique à la réalisation de projets d'aménagement hydro-agricoles.

Au total 19 fiches ont été élaborées pour conduire le diagnostic rapide de l'étude préalable à l'étude de faisabilité sur une trentaine d'aménagements et/ou infrastructures.

▪ **Etudes de faisabilité proprement dites**

Ces études ont été réalisées en trois étapes distinctes et visent chacune à définir les potentialités des équipements et installations à travers une définition des caractéristiques et spécifications techniques avant leur mise en place. Elles comprennent le diagnostic rapide, l'étude avant-projet sommaire et l'étude avant-projet détaillé.

Du diagnostic d'exploitation ou diagnostic rapide à l'étude avant-projet détaillé de faisabilité des aménagements hydro-agricoles maraîchers de Tchandoga, les aspects mis en relief sont :

- le potentiel hydrogéologique de la nappe environnante de la zone (suivi des piézomètres de la zone) ;
- le potentiel agronomique du site et de l'activité ;
- le potentiel technique du site ou hydraulique des installations.

Tableau 5 : Prévion de paramètres hydrogéologiques du site de Tchandoga pour la réalisation du forage maraîcher

Paramètres étudiés	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne	Conclusion Décision	Valeurs admises
Sites	COPARGO CENTRE site de TCHANDOGA				
Azimuths (A)					
Longueurs (L) des principales fractures repérées			1km<L<1.5km		>1.5km
Traînés électriques (Résistivité)	525 Ohm.m	525 Ohm.m		Supérieure à 500 Ohm.m (mauvais)	< 200 Ohm.m (bon) R>200<300 Ohm.m (assez bon)
Traînés électriques (Longueur)			360 m		
Largeur Anomalie			90 m		
Contraste de résistivité			2.46	2< © < 3 (acceptable)	© > 3 (assez bon) 2< © < 3 (acceptable)
Forme de l'anomalie				V large	
Épaisseur de l'altération			SE1: 20 m SE2 : 20 m SE3 : 15 m	EP > 15m (assez bon)	EP > 15m (assez bon) 10 < EP <15m (acceptable)
Profondeur des fractures au SE1	25 m à 35 m	50 m à 60 m	70 75,	Profondeur maximale prévue pour le forage 75 m	50 m à 80 m
Profondeur des fractures au SE2	25 m à 40 m	50 m à 70 m	75 et 65	Profondeur maximale prévue pour le forage 70 m	50 m à 80 m
Profondeur des fractures au SE3	25 m à 35 m	40 m à 60 m		Profondeur maximale prévue pour le forage 60 m	50 m à 80 m

Source : Rapport HYDRO-GENIE Sarl, 2014.

Le choix du forage s'est avéré plus adapté qu'un puits à grand diamètre en raison de l'épaisseur réduite de la zone altérée et de la discontinuité hydraulique entre l'aquifère superficiel (altération) et l'aquifère fissuré du socle.

NB : Le forage de Tchandoga a été réalisé suivant le respect des prescriptions ci-dessous fournies par le bureau Hydro-Génie en 2014 dont les principaux paramètres sont :

- la géologie et la géomorphologie du site favorisent le stockage naturel souterrain de l'eau appelé nappe et aquifère ;
- la profondeur estimée est de l'ordre de 60 à 75 m ;
- le débit probable est estimé entre 0.2m³/h et 3m³/h ;
- le forage est plus adéquat à l'exploitation des nappes superficielles et profondes de l'aquifère discontinu ;
- l'installation du matériel le mieux performant pour l'exhaure d'eau serait une pompe électrique (Hydro-Génie Sarl, 2014).

3.2.4- Réalisation des aménagements maraîchers de Tchandoga

▪ Caractéristiques des infrastructures et installations hydrauliques

L'analyse des données collectées lors de l'enquête de terrain a permis d'établir les caractéristiques dimensionnelles et techniques des installations hydrauliques du périmètre maraîcher de Tchandoga, synthétisées dans le tableau n°6 (Caractéristiques des équipements d'aménagements hydroagricoles maraîchers).

Tableau 6 : Caractéristiques des équipements et installations du périmètre maraîcher de Tchandoga

Nature /type installation	Désignation	Caractéristiques	Capacité	Performance
Ouvrage de mobilisation	Forage faible débit	70 m de profondeur	2 m ³ /h débits	Niveau dynamique 5 m
Ouvrage de stockage	Réservoir	8 m de hauteur sous cuve	Volume 4 m ³	Pression nominale de 5 m
Matériel d'exploitation	Pompe solaire	Puissance hydraulique 1354	Rendement 40%	Puissance 542

Source : travaux de terrain Arouko 2023

- **Le forage**
 - Profondeur : 70 m ;
 - Débit : 1,8 à 2 m³/h ;
 - Niveau dynamique : 5 m.
- **La pompe**
 - Type : solaire ;
 - Puissance hydraulique : 1354 Wh ;

- Rendement : 40% ;
- Puissance : 542
- **Le réservoir**
 - Hauteur sous cuve : 10 m, dont 8 m ;
 - Volume : 4 m³ ;
 - Pression nominale : 5 m
- **Conformité dans la réalisation et la mise en place des installations hydrauliques à Tchandoga.**

La comparaison entre les paramètres prévisionnels des investissements hydro-agricoles maraîchers et les réalisations effectives révèle une non-conformité mineure concernant le système de pompage. Bien que le dossier technique initial ait prévu une pompe électrique pour l'exploitation du forage, c'est finalement une pompe solaire qui a été installée sur le site de Tchandoga. Cette divergence ne présente cependant pas d'impact significatif sur les performances globales du système.

- **Installations ou équipements d'irrigation**

L'adoption de techniques d'irrigation améliorées s'est généralisée rapidement dans les petites exploitations et motivée par la nécessité impérieuse d'accroître l'efficacité d'utilisation de l'eau tout en intensifiant et diversifiant la production agricole.

- **Réseau d'irrigation.**

Plusieurs éléments sont à prendre en compte dans l'évaluation du niveau de satisfaction des besoins en eau d'irrigation selon le guide pratique intitulé « De l'eau pour le maraîchage » de Luc Arnaud et Bernard Gay. Dans le cas de notre travail, le plus indispensable pris en compte est la disponibilité de la ressource en eau et son mode d'utilisation. La disponibilité quant à elle implique sa localisation géographique et géomorphologique.

Le système d'irrigation mis en place à Tchandoga comprend des ouvrages, des conduites, et du matériel pour transporter et distribuer l'eau aux cultures. Une seule catégorie de systèmes d'irrigation a été recensée : le réseau de conduites sous pression et ne concerne que le système avant l'aménagement du périmètre. Il faut noter que ce système de techniques d'irrigation en conduites sous pression remplace avec succès les méthodes traditionnelles d'irrigation par canal à ciel ouvert au niveau des exploitations dans les pays arides et semi-arides (FAO, 2015). Il permet de transporter et de distribuer l'eau dans des conduites fermées sous pression en suivant le tracé le plus favorable (souvent le plus court), sans tenir compte de la pente ni de la topographie de la zone traversée.

Un système d'irrigation en conduites sous pression est un réseau constitué de conduites, raccords et autres dispositifs conçus et installés pour acheminer l'eau sous pression de la source jusqu'à la superficie à irriguer.

Dans le cas de Tchandoga, l'eau de la retenue est amenée sur les parcelles maraîchères au moyen de groupes motopompes raccordés aux petites conduites en PVC de diamètre variant entre 0,015 – 0,040 m et de longueur comprise entre 50 et 100 m (distance moyenne entre les sources d'eau et les exploitations maraîchères de rive).

Le réseau d'irrigation semi-moderne en conduite sous pression des conduites à Tchandoga comprend trois niveaux que sont la conduite principale, les conduites secondaires et les conduites tertiaires (implantés à l'intérieur des parcelles maraîchères).

- La conduite principale est définie comme étant l'ouvrage canal d'adduction (d'amener) d'eau d'irrigation à partir de l'admission dans la retenue jusqu'aux conduites secondaires situées à l'entrée des parcelles. Elle correspond à la conduite de refoulement. Sa longueur est généralement fonction de la capacité d'aspiration du groupe motopompe et va de 25 à 50 m.
- Les conduites secondaires sont des ramifications disposées perpendiculairement à la conduite principale. Leur rôle est d'approvisionner les parcelles individuelles en eau d'irrigation. Elles sont en PVC parfois enterrées le long des allées à l'intérieur dans les parcelles. Dans certaines exploitations qui pratiquent l'irrigation semi-manuelle ou motorisée, les conduites tertiaires utilisées pour obtenir l'aspersion sont remplacées par un tuyau flexible muni de pomme d'arrosage.
- Les conduites dans les parcelles sont des conduites terminales ou tertiaires. Elles servent à distribuer de l'eau aux cultures. Dans certaines exploitations qui utilisent les équipements modernes, elles sont réduites à de petits tuyaux (bandes) flexibles perforés de multitudes orifices de projection d'eau. Leur diamètre est d'environ 0.025 m et une longueur de 10 à 25 m.

D'après les résultats de l'inventaire issu des entretiens réalisés avec les maraîchers de Tchandoga, les caractéristiques des conduites installées dans le réseau du périmètre aménagé sont :

- longueur de la conduite principale : 96 m ;
- diamètre de la conduite principale : 0.010 m ;
- longueur des conduites secondaires : 90 m ;
- diamètre des conduites secondaires : 0.050 m ;
- longueur des conduites terminales ou tertiaires : 1000 m ;
- diamètre des conduites terminales ou tertiaires : 0.025 m.

Il est pertinent de considérer que les pertes par infiltration et par mauvaise répartition au niveau des parcelles représentent l'une des contraintes à l'utilisation adéquate des eaux à Tchandoga.

▪ Distribution d'eau aux cultures maraîchères

Réduire le gaspillage d'une ressource plus nécessaire que le pétrole qui se raréfie et la valoriser au mieux pour assurer la sécurité alimentaire sont des priorités des pays ACP, dont le Bénin (FAO-Aquastat, 2014). Les pertes d'eau dans les parcelles peuvent représenter d'énormes volumes d'eau principalement par distribution hors parcelles et par infiltration et fuites des conduites.

Les assistances techniques apportées aux maraîchers du site irrigué de Tchandoga concernant la formation sur le choix d'un matériel durable, le savoir-faire technique et l'utilisation des équipements n'ont pas permis d'atteindre le but économique d'eau propice qui permet aux agriculteurs de valoriser leurs investissements, clé de la réussite de l'exploitation du site.

Selon les réponses de certains maraîchers, les connaissances sur les doses, volumes ainsi que les fréquences d'arrosage n'ont pas été approfondies ni accompagnées de mise en place d'outils adéquats tels que les fiches, calendriers ou plans types d'arrosage. Dès lors que le système d'arrosage pratiqué conditionne le modèle de gestion de l'eau qui caractérise l'irrigation traditionnelle difficile à adapter aux nouvelles technologies, il est indispensable de procéder à un changement du calendrier de distribution de l'eau afin de parvenir à une gestion rationnelle de l'eau.

3.2.5- Niveau de satisfaction des besoins en eau des maraîchers de Tchandoga

Sur la base des éléments précédents et conformément aux aspirations exprimées par les maraîchers de Tchandoga lors des études d'avant-projet, les besoins hydriques du périmètre maraîcher correspondent à un volume suffisant pour irriguer une superficie de 5 hectares de cultures, principalement dédiée à la production de piment vert.

Éléments à prendre en considération dans la détermination des paramètres hydro-agricoles

Tableau 7 : Méthode de détermination des besoins en eau de la culture du piment sur le périmètre de Tchandoga.

Besoins en eau	unité	1
Superficie aménagée	ha	
Taux d'occupation du sol pour l'irrigation	%	70
Surface irriguée nette	ha	0
ETP max mensuelle	mm	5
Kc max	coef	1,2

Besoins en eau	unité	1
Besoins en eau max journaliers	mm	6
Efficiencie irrigation	%	80
Volume max journalier de pompage	m3	0
Surface maximale irrigable	ha	
HMT		
Niveau dynamique	m	
Pression irrigation	m	
Dénivelée	m	
Diamètre tuyau de refoulement	mm	
Longueur maxituyau refoulement	m	100,0
Estimation pertes de charge canalisation	m	
Hauteur Manométrique Totale	m	
Générateur et pompe solaire		
Débit forage	m3/h	
Débit instantané pompe	m3/h	
Volume pompage	m3	0,0
Puissance hydraulique	Wh	
Rendement total du système	%	25
Ensoleillement moyen	kWh/m2/jour	6
Puissance du générateur	Wc	
Puissance panneau fournisseur	Wc	
Nombre de panneaux	pièces	
Rendement pompe	%	40
Puissance pompe	pièce	

Source : PROFI AD 2017

Commentaire : Ce tableau dresse la liste des éléments pris en compte dans le calcul des besoins en eau à partir de certains paramètres et caractéristiques des installations hydrauliques mis en place.

▪ **Besoins théoriques en eau du maraîchage à Tchandoga**

Au sens agronomique, le besoin en eau est défini pour une période bien déterminée et la plus minime soit-il est en un jour. Ainsi, le besoin journalier en eau d'une culture et dans le cas de notre étude le piment à Tchandoga est présenté comme le produit de l'évapotranspiration potentielle par le coefficient cultural et la surface. Soit : $ETP \times kc \times Surfaces\ cultivées$. (GRET, 1943) et (Luc Arnaud et Bernard Gay, 1994).

Selon les données de l'ASECNA annexe de Natitingou en 2016, l'ETP de la région varie de 5 à 6,2 au maximum contre 5 à 7 préconisées dans la zone soudanienne d'Afrique de l'Ouest. Le coefficient cultural maximal pour le piment est 1,2 et la surface envisagée 5 hectares. On a : $BE \text{ (mm/l)} = ETP \text{ (mm)} \times K_{cmax} \times S(m^2)$ en application arithmétique ;

$$BE = 6,2 \times 1,2 \times 50000. \text{ Sachant qu' } 1\text{mm} \leftrightarrow 1\text{L par m}^2 \leftrightarrow 10^{-3} \text{ m}^3.$$

$$BE = 372\,000 \text{ litres ou } 372 \text{ m}^3 \text{ par jour.}$$

Pour satisfaire ce besoin journalier des maraîchers, ils se servent de la mini retenue dont le volume calculé à partir des dimensions caractéristiques est : $V = S_m \times h = 1200 \times 0,9 = 1080 \text{ m}^3$

Hauteur de la digue en mètre = 1,5

Profondeur moyenne en mètres de la cuvette = 0,9 soit (h)

Surface de cuvette en $m^2 = 1512$

Section mouillée de cuvette = 1200 soit (S_m)

Le bilan hydrique révèle une inadéquation marquée entre :

- La ressource disponible ($1\,080 \text{ m}^3$ pour l'ensemble du cycle cultural)
- Les besoins bruts totaux ($10\,800 \text{ m}^3$ pour 30 jours, soit $360 \text{ m}^3/\text{jour}$)

Ce calcul met en évidence un déficit décupal (rapport de 1:10) entre la capacité de la mini-retenue et les exigences hydriques des cultures.

▪ **Système de fonctionnement de la relation eau plante sol**

Bien que les besoins hydriques des cultures soient calculés sur une base journalière, leur apport peut être programmé de manière périodique sous deux conditions essentielles :

- ✓ Le volume apporté ne doit pas dépasser la capacité de rétention en eau du sol.
- ✓ La quantité doit correspondre strictement à la dose d'irrigation requise.

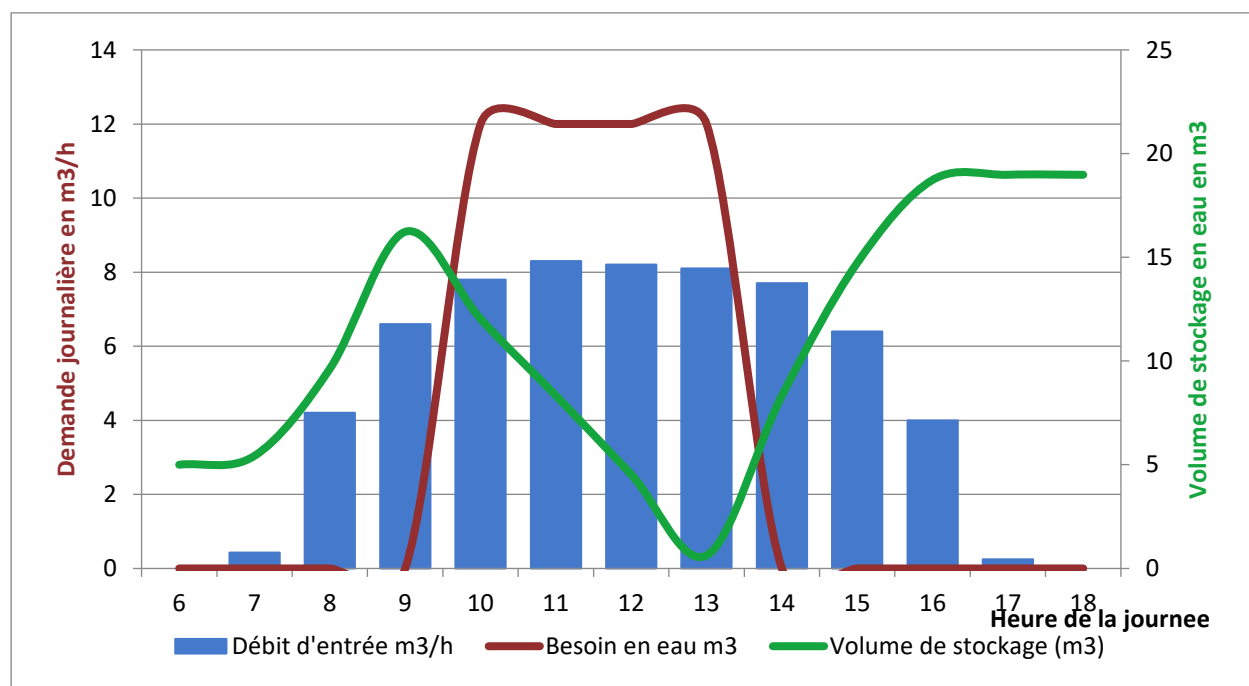
Cette approche permet :

1. D'apporter le volume total requis sur une période donnée ;
2. De déterminer la fréquence optimale des tours d'eau ;
3. De maintenir l'équilibre hydrique du système sol-plante.
 - La fréquence d'irrigation se calcule ainsi par le rapport entre le besoin total en eau de la période et la dose optimale par irrigation. Besoins en eau : $50,0 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Volume réservoir : $5,0 \text{ m}^3/\text{h}$, 10% des besoins
 - Volume minimum : $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$

Tableau 8 : Relation besoins en eau – capacité de rétention du sol et estimation du temps de remplissage

Temps (h)	Besoin en eau m3	Débit d'entrée m3/h	Balance en eau	Volume de stockage (m3)
6	-	0	0,0	5,0
7	-	0,43	0,4	5,4
8	-	4,20	4,6	9,6
9	-	6,60	11,2	16,2
10	12,00	7,80	7,0	12,0
11	12,00	8,30	3,3	8,3
12	12,00	8,20	-0,5	4,5
13	12,00	8,10	-4,4	0,6
14	-	7,70	3,3	8,3
15	-	6,40	9,7	14,7
16	-	4,00	13,7	18,7
17	-	0,25	14,0	19,0
18	-	0,00	14,0	19,0

Graphique n° 1 : Représentation de la variation dans le temps des besoins en eau du piment en lien avec la capacité de rétention du sol.



Source : *PROFI AD 2017* : Rapport des travaux techniques de mise en place des aménagements.

Commentaire : Ce graphique permet de lire le besoin maximal en eau (besoin de pointe) d'irrigation à partir d'une évaluation itérative. C'est cette limite de besoin qu'il faut considérer dans l'apport

d'eau en irriguant et résulte du principe de l'irrigation qui sous-tend « *Qui peut le plus peut le moins* ».

▪ **Estimation du besoin en eau d'irrigation du périmètre irrigué de Tchandoga.**

Dans la réalité de la mise en valeur des exploitations maraîchères à Tchandoga, 1,5 à 2,5 ha sont régulièrement cultivés par saison. En rapportant les besoins journaliers bruts à la surface emblavée soit 1,5 ha on a : $BE = 6 \times 1,2 \times 15000 = 108000 \text{ L}$ soit 108 m^3 .

Lorsqu'on se réfère au calendrier cultural des spéculations pratiquées à Tchandoga, le piment vient au premier plan avec une durée d'occupation des sols estimée à 120 jours. Ce qui revient à comparer l'offre de l'eau à la demande estimée à $108 \text{ m}^3 \times 120 = 12960 \text{ m}^3$ plus de quatre fois supérieurs à 1080 m^3 .

▪ **Capacité du forage maraîcher de Tchandoga**

Le débit fourni par cet ouvrage est compris entre $1,8 \text{ m}^3$ et $2,4 \text{ m}^3/\text{h}$. Sans considération aucune faite à la capacité de la pompe, le forage réalisé à Tchandoga, pour couvrir entièrement le besoin en eau des maraîchers devrait fournir $111,600 \text{ m}^3$ d'eau par jour pour irriguer 1,5 ha initial cultivé avec le piment en temps égal : $111,600 / 2,4 \times 24 = 1,9 \approx 2$ jours.

En intégrant les paramètres de fonctionnement de la pompe solaire (activée entre 9h et 18h sous condition d'ensoleillement), le forage maraîcher de Tchandoga ne permet pas de couvrir le besoin total en eau des cultures, estimé à $111\,600 \text{ m}^3$ sur 120 jours (soit $13\,392 \text{ m}^3$ sur la période considérée). Cependant, le débit continu du forage peut s'adapter aux besoins hydriques journaliers des cultures, qui sont eux-mêmes continus et échelonnés dans le temps.

Une approche arithmétique permet d'évaluer le taux de couverture des besoins en eau par le potentiel hydraulique combiné du forage et de la pompe solaire.

Soit TSf ce taux : $TSf (\%) = (Dp \times tp)/BEj$ Dp : Débit de pompage vaut $1,8 \text{ m}^3$; tp : le temps ou durée de pompage. Il faut signaler que le pompage est efficace durant le moment ensoleillé de journée égal à 9 heures voire le paragraphe 2 ci-dessus. $BEj = 111,6 \text{ m}^3$

$$TSf (\%) = (1,8 \times 9)/111,6$$

$$TSf (\%) = 16,2/111,6$$

$$TSf = 0,14\%$$

Les travaux de simulation conduits par l'équipe conjointe des techniciens des services déconcentrés de l'agriculture et ceux du PROFI ont prospecté plusieurs options et déterminé certains paramètres

de l'irrigation (la superficie irrigable, la superficie irriguée, le débit réel d'arrosage), afin de définir le système d'irrigation à mettre en place.

Tableau 9 : Détermination de la superficie irrigable sur le périmètre de Tchandoga (Scénario 1)

Besoins en eau	Unité	Tchandoga
Superficie aménagée	ha	1
Taux d'occupation du sol pour l'irrigation	%	70
Surface irriguée nette	ha	0,7
ETP max mensuelle	mm	5
Kc max	coef	1,2
Besoins en eau max journaliers	mm	6
Efficiencce irrigation	%	80
Volume max journalier de pompage	m3	50
Surface maximale irrigable	ha	0,21
HMT		
Niveau dynamique	m	35
Pression irrigation	m	5
Dénivelée	m	-1,0
Diamètre tuyau de refoulement	mm	50,0
Longueur maxituyau refoulement	m	100,0
Estimation pertes de charge canalisation	m	0,19
Hauteur Manométrique Totale	m	39,2
Générateur et pompe solaire		
Débit forage	m3/h	2,0
Débit instantané pompe	m3/h	1,8
Volume pompage	m3/jour	10,8
Puissance hydraulique	Wh	1153
Rendement total du système	%	25
Ensoleillement moy	kWh/m2/jour	6
Puissance du générateur	Wc	769
Puissance panneau fournisseur	Wc	230
Nombre de panneaux	pièces	3,7
Rendement pompe	%	40
Puissance pompe	pièce	461

Source : Rapport PROFI AD/Enabel 2017.

Commentaire :

Sur la base de la valeur minimale d'évapotranspiration potentielle (ETP), le calcul des besoins en irrigation a permis de déterminer une superficie irrigable de 0,21 hectare. Cette estimation résulte du croisement entre :

- ❖ Les paramètres hydrauliques de la pompe (débit, pression, efficacité)
- ❖ Les caractéristiques du forage (débit soutenable, niveau dynamique)
- ❖ Les exigences hydriques des cultures (calculées à partir de l'ETP)

Tableau 10 : Détermination de la superficie irrigable sur le périmètre de Tchandoga (Scénario 2)

Besoins en eau	Unité	Tchandoga
Superficie aménagée	ha	1
Taux d'occupation du sol pour l'irrigation	%	70
Surface irriguée nette	ha	0,7
ETP max mensuelle	mm	6,2
Kc max	coef	1,2
Besoins en eau max journaliers	mm	7,44
Efficience irrigation	%	80
Volume max journalier de pompage	m ³	62
Surface maximale irrigable	ha	0,18
HMT		
Niveau dynamique	m	35
Hauteur réservoir	m	10
Diamètre tuyau de refoulement	mm	40,0
Longueur maxituyau refoulement	m	45,0
Estimation pertes de charge canalisation	m	0,25
Hauteur Manométrique totale	m	45,3
Générateur et pompe solaire		
Débit forage	m ³ /h	2,4
Débit instantané pompe	m ³ /h	1,8
Volume pompage	m ³ /jour	11,0
Puissance hydraulique	Wh	1354
Rendement total du système	%	25
Ensoleillement moy	kWh/ m ² /jour	6,1
Puissance du générateur	Wc	888
Puissance panneau fournisseur	Wc	85

Besoins en eau	Unité	Tchandoga
Nombre de panneaux	pièces	11,6
Rendement pompe	%	40
Puissance pompe	pièce	542
Volume de stockage		
Ratio stockage de l'eau	%	36
Volume du réservoir	m3	4

Source : Rapport PROFI AD/Enabel 2017.

Commentaire : À partir de la valeur maximale d'évapotranspiration potentielle (ETP), les besoins en eau d'irrigation ont été estimés, permettant de déterminer une superficie irrigable de 0,18 hectare. Ce résultat a été obtenu en croisant les paramètres hydrauliques de la pompe (débit, pression, efficacité) avec ceux du forage (débit exploitable, niveau dynamique).

Source : Rapport PROFI AD/Enabel 2017.

3.2.6- Discussions sur les résultats ou analyse des données collectées

Le degré de satisfaction des besoins en eau est conditionné par la disponibilité de cette ressource et son mode d'utilisation.

Pour valider les hypothèses et les objectifs définis dans le cadre de notre étude portant sur les aménagements hydrauliques du périmètre maraîcher de Tchandoga, une analyse critique s'impose. Cette discussion doit s'appuyer sur :

- ❖ La cohérence entre les hypothèses initiales et les données techniques recueillies,
- ❖ L'adéquation des solutions proposées avec les objectifs de productivité et de durabilité,
- ❖ Les limites éventuelles identifiées lors de la mise en œuvre.

Une telle évaluation permettra de mesurer la pertinence des choix techniques et d'ajuster, si nécessaire, les stratégies d'aménagement.

Niveau de satisfaction des besoins en eau des cultures maraîchères sur le périmètre de Tchandoga

L'analyse des besoins en eau des cultures maraîchères de Tchandoga a révélé une amélioration significative suite aux aménagements hydrauliques. Les tableaux n°8 et 9 montrent une augmentation des superficies irrigables grâce à la capacité du forage réalisé. Avant les aménagements, la superficie irrigable était de 0,12 ha, et elle est passée à 0,18 ha après la mise en place des infrastructures hydrauliques.

Un rapport de la FAO, (2020) indique que l'irrigation améliore considérablement la productivité agricole lorsqu'elle permet une utilisation plus efficace de l'eau disponible.

Contribution des aménagements maraîchers de Tchandoga à la satisfaction des besoins en eau d'irrigation des maraîchers.

Les aménagements réalisés à Tchandoga ont effectivement contribué à la satisfaction des besoins en eau des maraîchers. En combinant l'utilisation de la mini retenue et le forage, la superficie irrigable totale pourrait presque doubler, passant de 0,12 ha à 0,30 ha. Cela souligne l'importance d'une gestion intégrée des ressources en eau pour maximiser les bénéfices des infrastructures hydrauliques.

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2021) stipule que l'intégration des diverses sources d'eau peut maximiser l'efficacité de l'irrigation.

- **Vérification des hypothèses**

- **Accroissements et extensions de superficies individuelles**

Les extensions de superficies individuelles peuvent masquer les performances des investissements hydrauliques. Cependant, en analysant spécifiquement les capacités des forages et des retenues d'eau, il est possible de déduire que ces infrastructures ont effectivement amélioré la disponibilité en eau, comme le montrent les superficies irrigables augmentées.

Une étude de la Banque mondiale, (2022) sur les projets d'irrigation montre que l'évaluation spécifique des infrastructures est cruciale pour mesurer leur impact.

- **Réalisation des ouvrages hydrauliques**

La construction de forages et de retenues d'eau a effectivement réduit les contraintes d'exploitation du site maraîcher en augmentant la superficie irrigable et en diminuant les coûts opérationnels liés à l'utilisation de carburant pour les motopompes.

Le rapport de la FAO (2022) sur les impacts de l'irrigation sur les coûts opérationnels confirme que les systèmes d'irrigation solaire sont plus économiques à long terme.

- **Qualité des travaux et gestion des infrastructures**

Les irrégularités dans la réalisation des aménagements ne sont pas fondées, car les paramètres obtenus lors des études géophysiques correspondent aux résultats réels du forage. Cependant, la gestion et la maintenance des infrastructures restent des défis majeurs pour assurer leur durabilité et leur efficacité. (AFWC, 2020)

Un article de l'International Water Management Institute (IWMI) (Cahier Agric, 2022) souligne l'importance de la maintenance régulière des infrastructures d'irrigation pour garantir leur performance à long terme.

RECOMMANDATIONS

Pour améliorer la gestion des infrastructures hydrauliques à Tchandoga, les mesures suivantes sont proposées :

- Formation continue des maraîchers sur les techniques de gestion de l'eau et la maintenance des équipements.
- Suivi et évaluation régulière des infrastructures pour identifier et résoudre rapidement les problèmes.
- Promotion de l'utilisation des ressources alternatives, comme l'eau de pluie collectée, pour compléter les besoins en irrigation.

Les meilleures pratiques recommandées par la FAO pour la gestion durable des ressources en eau incluent la formation et le suivi régulier des infrastructures.

CONCLUSION

L'extension progressive des superficies cultivées à Tchandoga (de 0,25 ha à 2,5 ha) a entraîné une augmentation significative des besoins en eau. Cependant, les infrastructures hydrauliques actuelles (forage, réservoir surélevé et réseau d'irrigation) présentent plusieurs limitations. Les limitations identifiées incluent le débit insuffisant de forage (2,4 m³/h), la capacité de la pompe hydraulique (1,8 m³/h) et des problèmes d'alimentation électrique dont la durée d'utilisation journalière est 9 heures au maximum. De plus, la gestion déficiente du réseau d'irrigation dont le manque des paramètres techniques de l'irrigation (dose, durée et fréquence d'arrosage) et l'abandon de la retenue d'eau initiale ont contribué au faible niveau de couverture des besoins en eau d'irrigation.

Les résultats de cette étude révèlent que seulement 14,59% des besoins en eau sont couverts par les nouvelles infrastructures, comparés à une couverture initiale de 0,80% par la retenue d'eau sur seuil. Cette gestion inadéquate des ressources en eau a entraîné une réduction de la surface cultivée et une perception négative des bénéficiaires sur les performances des aménagements hydro-agricoles.

Pour améliorer la situation, il est crucial de :

- Renforcer la capacité des infrastructures existantes : augmenter le débit des forages (réaliser d'autres forages sur le site) et améliorer la capacité des pompes et l'alimentation électrique pour répondre aux besoins croissants en eau ;

- Optimiser la gestion des ressources en eau : réintroduire l'utilisation de la retenue d'eau initiale et mettre en place une gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) pour assurer une utilisation durable et efficace ;
- Former et sensibiliser les maraîchers : organiser des sessions de formation sur la gestion de l'eau pour l'agriculture (GEA) et la maintenance des infrastructures pour améliorer la gestion au quotidien ;
- Impliquer tous les acteurs dans la gestion : encourager la participation active de tous les acteurs, y compris les autorités locales, les bénéficiaires et les partenaires techniques, dans le processus de prise de décision et de gestion des infrastructures.

En mettant en œuvre ces recommandations, il sera possible d'améliorer la satisfaction des besoins en eau des maraîchers à Tchandoga et de maximiser les bénéfices des investissements réalisés. Cette approche participative et intégrée est essentielle pour assurer la durabilité et l'efficacité des aménagements hydro-agricoles dans la région.

ANNEXES



Photo 1 : Tête du forage et du réservoir surélevé



Photo 2 : Cuvette de retenue sur seuil



Photo 3 : Vue de dessus de la tête de forage



Photo 4 : Plaques solaires d'alimentation en énergie de la pompe



Photo 5 : Tuyau de refoulement de l'eau du réservoir



Photo 7 : Convertisseur de l'énergie solaire captée par les plaques solaires en énergie électrique pour la pompe hydraulique



Photo 8 : Tuyau PVC utilisé en conduit secondaire



Photo 6 : Tuyau en T de dérivation pour amener vers les parcelles

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIE

- 2005 AQUASTAT 2005 - Karen Frenken : *L'irrigation en Afrique en chiffre* - 78 pages.
- 2008 CTA – 2008 - *Les jardins irrigués d'Akodédé au Niger : Du pluvial à l'irrigué Malawi*.
- A. Phocades édition FAO 2008 : *Manuel des techniques d'irrigation sous pression* - 300 pages.
- Actions contre la faim : POMPAGE SOLAIRE - Guide - *Conception et réalisation de la partie électrique du pompage* - 40 pages.
- Assemblée Nationale du Bénin *Loi n° 2010-44 portant gestion de l'eau en République du Bénin*.
- Banque Africaine de Développement NKAMLEU, GUY BLAISE 2012 – Rapport d'évaluation : *Système de financement pour la Gestion de l'Eau pour l'Agriculture (GEA)*.
- Bellon-Maurel V., Brossard L., Garcia F., Mitton N., Terier A., 2022 : *Agriculture et numérique ; tirer le meilleur du numérique pour contribuer à la transition vers des agricultures et des systèmes alimentaires durables* p5.
- BURGEAP C. DILUCA CIEH –Manuel technique - Forage d'eau. Matériels et techniques mis en œuvre en Afrique Central et de l'Ouest.
- CARDER AD, 2016 et Enabel 2017 - Rapport de *l'étude avant-projet sommaire de faisabilité de l'aménagement maraîcher du périmètre de Tchandoga*.
- CARDER Atacora- Donga (2015 – 2016), *Rapport du diagnostic rapide sur les facteurs entravant le développement et l'expansion de la filière maraîchère dans l'Atacora et la Donga*.
- CARDER Atacora-Donga/DAER-2016 - *Rapports d'activités sur les contraintes limitant la production maraîchère dans les départements de l'Atacora et de la Donga*.
- Conseil Economique et Social France Florence Denier-Pasquier – 2013 - Rapport d'étude : *La gestion et l'usage de l'eau en agriculture*.
- DDAEP Donga, 2019 - Note de capitalisation : *les démarches de gestion rationnelle de l'eau dans l'agriculture dans le septentrion. Cas de la gestion des ressources en eau du bas fond de Tchandoga et de Tchandegou dans la commune de Copargo*.
- Detay M., Milville F., *l'Hydrogéologie de l'Afrique de l'Ouest*, 70 – 100p.
- Daniel Bergeron et Jacques Painchaud-2013-*Les systèmes d'irrigation : Les investissements qui rapportent*,
- E Penot, C Hébraud – 2003 CIRAD
- FAO – 2011- Fiche d'information no. 4 : *Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne*.
- FAO /AQUASTAT 2012 - Karen Frenken³ et Virginie Gillet – Rapport : *Besoins et prélèvements d'eau pour l'irrigation par Pays*.

FAO 2013 : *Faire face à la pénurie d'eau. Un cadre d'action pour l'agriculture et la sécurité alimentaire.*

FAO, 1997- *La petite irrigation dans les zones arides, Principes et options.*

Faraci, Sophie 2019-2020 - Mémoire de Master : *Analyse de la gouvernance et de la gestion de l'eau dans le maraîchage à Houeyiho et à Sèmè-Kpodji au Sud-Bénin.*

Florence Lessard – 2019 – Mémoire de Master : *Mise en œuvre de l'approche gire par la proposition d'un schéma de gestion de l'eau agricole dans la commune de darou Khoudoss au Sénégal.*

Gangbazo – 2011 – Mémoire de Master en génie de l'environnement : *Mise en place d'un schéma de gestion des ressources en eaux.*

Giz 2012 : Hydrogéologie du Bénin

Grange-Chamfray 2016 *la définition des mesures de compensation pour les exploitants sans terre à Kandadji et la sécurisation du foncier sur les périmètres irrigués.*

HOUNKPONOU Chrismè Nice Exaucée 2018 - Mémoire de Master : *Diagnostic de la problématique d'approvisionnement en eau de la commune de Comè et approche de solution.*

Kanda M, Akpavi S, Wala K, Djaneye-Boundjou G, Akpagana K. 2014. *Diversité des espèces cultivées et contraintes à la production en agriculture maraîchère au Togo. Int. J. Biol. Chem. Sci., 8 (1) : 115-127. DOI*

L. LE BARBÉ - G. ALÉ - B. MILLET - H. TEXIER - Y. BOREL⁺ - R. GUALDE 1993 - Ouvrage (Rapport d'étude) : *Les Ressources en eaux superficielles de La République du Bénin.*

La Houille Blanche 2021- Revue internationale de l'eau.

Laurie SCHNEIDER, 2019 - *Approche économique de l'eau agricole : Vers un partage et un prix juste.*

Luc Arnaud et Bernard GAY-2014- Guide pratique. L'eau pour le maraîchage : Expériences et procédés, p22.

M Orne-Gliemann - 2011 - theses.hal.science associations pour les petits périmètres irrigués : *la définition d'espaces de participation (périmètres irrigués) dans le cadre des transferts de gestion.*

Ministère de Développement de l'Agriculture du Niger – 2005 – Rapport d'étude : *Stratégie nationale de développement de l'irrigation privée au Niger.*

Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche - 2017 : *Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA 2017-2025. Les filières agricoles au Bénin.*

Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique 2005 : *Stratégie nationale de l'approvisionnement en eau potable en milieu rural du Bénin.*

Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique 2009 : *Politique Nationale de l'Eau.*

Mira Moernaut - 2019-2020 : *Les eaux souterraines* -107 pages.

Moussa SAMAKE, Savio SAMAKE et Ousmane KEÏTA, 2022 : *Rôle du maraîchage dans le développement socioéconomique à l'Office du Périmètre Irrigué de Baguineda*, Int. J. Biol. Chem. Sci. 16 (1) : 213-226

PADMAR, 2015 : Rapport de conception de projet - Version finale ; Rapport principal et appendices, p10.

Partenariat mondial de l'eau (Global Water Partnership, GWP) – 2017- *Manuel de Gestion Intégrée des Ressources en Eau par Bassin* -112 pages.

PNUD, 2014 : *Choix des technologies agricoles pour l'adaptation aux changements climatiques dans les communes d'intervention du PANAI*, p5-7

PROFI-AD – 2016 – Rapport de sessions du Comité Régional d'Approbation et de Validation (CRAV) des projets d'investissement agricole

SANOU David Luther 2011 - Rapport de mémoire de maîtrise : *Problématique de la satisfaction durable des besoins en eau autour des barrages de FARA et de GUIDO*.

Senabolo Nina Elvire CAKPO 2020 –Mémoire de licence : *Suivi des travaux de plomberie et d'évacuation de la quantité d'eau pour le réseau d'irrigation du Centre d'Information et de la Coordination (CIC) dans la commune d'Abomey-Calavi*.

SONEB – 2018 : Rapport d'étude : *Étude de collecte de données pour le développement des eaux souterraines et l'amélioration des systèmes d'approvisionnement en eau dans les départements de Couffo et Plateau en République du Bénin*.

UNICEF – 2011 - Pratica Foundation enterprise works/vita : *Étude de faisabilité des forages manuels ; identification des zones potentiellement favorables*.

Union Africaine - S. E. Amb. Josefa Leonel Correia Sacko – 2020 - Rapport de diagnostic : *Cadre de Développement de l'Irrigation et de Gestion de l'Eau Agricole en Afrique*.

Union Régionale de Coopératives des Maraîchers Atacora-Donga - 2016) – Rapport d'activités : *Propositions de stratégie de mise en marché des produits maraîchers*.

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Taux d'efficience des différents modes d'irrigation	9
Tableau 2 : Tableau récapitulatif des paramètres géophysiques pour la réussite d'une implantation	17
Tableau 3 : Liste des centres visités, nature des documents exploités et les types d'informations recueillies	20
Tableau 4 : Caractéristiques de l'ouvrage de la source d'eau à Tchandoga avant l'aménagement	31
Tableau 5 : Prévision de paramètres hydrogéologiques du site de Tchandoga pour la réalisation du forage maraîcher	41
Tableau 6 : Caractéristiques des équipements et installations du périmètre maraîcher de Tchandoga.....	42
Tableau 7 : Méthode de détermination des besoins en eau de la culture du piment sur le périmètre de Tchandoga.....	45
Tableau 8 : Relation besoins en eau – capacité de rétention du sol et estimation du temps de remplissage ...	48
Tableau 9 : Détermination de la superficie irrigable sur le périmètre de Tchandoga (Scénario 1).....	50
Tableau 10 : Détermination de la superficie irrigable sur le périmètre de Tchandoga (Scénario 2).....	51

Liste des figures

Figure 1 : carte de situation géographique de la commune de Copargo.....	11
Figure 2 : Carte des types de sols dans la commune de Copargo.....	13
Figure 3 : Carte géologique de la commune de Copargo	15
Figure 4 : Carte de localisation du site maraîcher de Tchandoga dans Copargo.....	23
Figure 5 : Carte de la portion exploitée et la zone aménagée du site maraicher de Tchandoga.....	24
Figure 6 : Couverture des besoins en eau de la culture du piment à partir du volume d'eau disponible dans la mini retenue sur seuil.....	32
Figure 7 : Superficie irrigable à partir du volume d'eau de la retenue	34

Liste des photos

Photo 1 : Tête du forage et du réservoir surélevé	57
Photo 2 : Cuvette de retenue sur seuil.....	57
Photo 3 : Vue de dessus de la tête de forage.....	57
Photo 4 : Plaques solaires d'alimentation en énergie de la pompe	57
Photo 5 : Tuyau de refoulement de l'eau du réservoir.....	58
Photo 6 : Tuyau en T de dérivation pour amener vers les parcelles	58
Photo 7 : Convertisseur de l'énergie solaire captée par les plaques solaires en énergie électrique pour la pompe hydraulique.....	58
Photo 8 : Tuyau PVC utilisé en conduit secondaire.....	58

Tables des matières

DEDICACES	I
REMERCIEMENTS.....	II
INTRODUCTION	1
JUSTIFICATION	2
OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	4
HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE.....	5
CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET SITUATION GEOGRAPHIQUE	6
1.1. Clarification conceptuelle.....	6
1.2. Situation géographique et organisation administrative.....	9
1.3. Relief et Climat.....	11
1.4. Sol et végétation	12
1.5. Hydrogéologie de la zone d'études	13
1.6. Démographie et données sociales.....	16
1.7. Impacts des changements climatiques.....	16
1.8. Etude géophysique du site de Tchandoga.....	17
1.9. Profondeur des venues d'eau et profondeur des forages	17
CHAPITRE II : APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE.....	18
2.1. Historique/origine des aménagements hydroagricoles de Tchandoga	18
2.2. Collecte des données.....	19
2.3. Phase préparatoire.....	20
2.4. Données utilisées	21
2.5. L'échantillonnage	24
2.6. Phase d'enquêtes de terrain.....	25
2.7. Matériel	25
2.8. Traitement des données et analyse des résultats	26
2.9. Détermination des besoins en eau du piment : culture principale sur le périmètre.....	26
Chapitre III : RÉSULTATS DE RECHERCHE ET DISCUSSION.....	29
3.1- Nature du besoin en eau des cultures maraîchères à Tchandoga avant l'aménagement.....	29
3.2- Typologie des ouvrages de mobilisation de l'eau sur le site de Tchandoga	30
3.2.1- Sources d'eau utilisées dans le maraîchage sur le site de Tchandoga avant l'aménagement	30
3.2.2- Fonctionnement du système d'arrosage avant l'aménagement à Tchandoga	36
3.2.3- Conception des aménagements du périmètre de Tchandoga	38
3.2.4- Réalisation des aménagements maraîchers de Tchandoga	42

3.2.5-Niveau de satisfaction des besoins en eau des maraîchers de Tchandoga.....	45
▪ Besoins théoriques en eau du maraîchage à Tchandoga	46
▪ Système de fonctionnement de la relation eau plante sol.....	47
▪ Estimation du besoin en eau d'irrigation du périmètre irrigué de Tchandoga.	49
▪ Capacité du forage maraîcher de Tchandoga	49
3.2.7- Discussions sur les résultats ou analyse des données collectées	52
CONCLUSION.....	54
RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIE	59
Liste des Tableaux	62
Liste des figures	63
Liste des photos	64