



Action structurante COSTEA
« Aménagement des bas-fonds
en Afrique de l'Ouest »

**Diagnostic des ressources, de la mise en valeur et
des options d'aménagement des bas-fonds**

Rapport site de Doumba - Mali

Novembre 2022

Comité Scientifique et Technique Eau Agricole



Table des matières

Partie 1. Etat des lieux avant aménagement	6
1.1 Organisation spatiale et éléments de contexte	6
1.1.1 Contexte micro-régional (échelle communale).....	6
1.1.2 Contexte local (terroir villageois et zone bas-fond à aménager)	7
1.2 Hydrologie, risques agro-climatiques, aménagements, gestion de l'eau.....	11
1.2.1 Analyse agro-climatique	11
1.2.2 Besoins en eau pour la riziculture de bas-fond et calage du cycle cultural	14
1.2.3 Ecoulements et crues	18
1.2.4 Etat des aménagements préexistants et facteurs des dégradations	19
1.3 Diagnostic agri-environnemental	21
1.3.1 Les ressources agricoles du bas-fond et leurs usages	21
1.3.2 Les systèmes de culture : calendrier, pratiques par saison, aptitude à l'intensification	23
1.3.3 Autres ressources et usages du bas-fond.....	25
1.4 Diagnostic des services écosystémiques.....	27
1.4.1 Point de vue des populations	27
1.4.2 Point de vue de l'expert	28
1.5 Diagnostic Socioéconomique	29
1.5.1 Historique de la mise en valeur du bas-fond et du projet d'aménagement	29
1.5.2 Droits fonciers, accès aux terres de bas-fond	29
1.5.3 Cessions de terres au projet d'aménagement et modalités de ré-attribution des parcelles post-aménagement.....	30
1.5.4 Organisation des usagers bas-fond	30
1.5.5 Moyens d'existence et place des catégories vulnérables	31
<i>Les jeunes</i>	31
<i>Les femmes</i>	31
1.5.6 Valorisation des productions, chaînes de valeurs locales et potentiel de débouchés après aménagement.....	32
<i>Analyse des comptes d'exploitation des principales productions</i>	32
<i>Systèmes de financement</i>	33
1.6 Conclusion Enjeux clés à considérer pour un aménagement agricole durable du site	33
Partie 2 : Choix d'aménagement, impacts potentiels et inflexions proposées..	35
2.1 Options d'aménagement et choix retenus par le PARIIS	35

2.2	Evaluation des impacts potentiels de l'aménagement	37
2.2.1	Impacts sur la ressource en eau et les superficies cultivables	37
2.2.2	Analyse de la dynamique Ressource – Usages d'une retenue d'eau, application au barrage de l'option 1 d'aménagement	38
	- Conditions initiales	38
	- Durabilité des caractéristiques de la retenue compte tenu de la dynamique d'envasement	39
	- Estimation du coefficient de ruissellement de la pluviométrie annuelle moyenne	40
	- Estimation du volume des apports	41
	- Les pertes par infiltration.....	41
	- Les pertes par évaporation du plan d'eau	41
	- Estimation des besoins en eau	42
	- Méthode d'établissement de la courbe d'exploitation de la retenue	42
	- Estimation de la part des divers usages de l'eau et pertes en % du volume initial stocké.....	43
	- Surfaces de la retenue pouvant être utilisées pour le maraichage.....	44
	- Estimation des surfaces de riz dont l'alimentation en eau profite de la retenue.....	45
	- Règles de remplissage de la retenue induite par la riziculture	46
2.3	Inflexions proposées au projet	47
	Bibliographie	50
	Annexe Méthodes complémentaires <i>Coutagne</i> et <i>Dubreuil-Vuillaume</i> pour l'estimation du ruissellement et des apports annuels	51

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques régionales et orientations agro-sylvo-pastorales (sources: APS, EIES).....	6
Tableau 2: Caractéristiques locales du bas-fond de Doumba (sources : APS, EIES).....	8
Tableau 3: Ajustement de la pluviométrie (Loi normale) Station de Koulikoro 2001-2019	13
Tableau 4: Détermination des décades favorables au semis du riz	15
Tableau 5: Caractéristiques du bassin versant de Doumba (source : APS)	19
Tableau 6: Occupation des terres dans le bas-fond et bas de versant de Doumba (Source : APS)	21
Tableau 7: Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sols prélevés dans le bas-fond de Doumba (source : IER)	23
Tableau 8: Appartenance des usagers du bas-fond à des Organisations villageoises Source : Enquête IER/ COSTEA.....	31
Tableau 9: Valorisation des productions du bas-fond pour un échantillon de parcelles campagne 2021-2022 (source : Enquête IER/ COSTEA)	33
Tableau 10: Hypothèses d'évolution des surfaces cultivées (ha) du bas fond de Doumba après aménagement d'après l'APS 2021	37
Tableau 11: Caractéristiques de la retenue d'eau du micro-barrage de Doumba (source :APS)	38
Tableau 12: Courbes d'exploitation de la retenue d'eau de l'option 1 du micro-barrage de Doumba	39
Tableau 13: Comparatif des estimations du volume moyen d'envasement annuel de la retenue d'eau de Doumba	40
Tableau 14: Coefficients de ruissellement/écoulement par les méthodes de Coutagne et Turc pour le bassin versant de Doumba	40
Tableau 15: Estimation du volume des apports d'eau annuels à la retenue (expertise COSTEA)	41
Tableau 16: Calendrier cultural	42
Tableau 17: Gestion de la lame d'eau à la parcelle en fonction des types de riziculture et des franges identifiées.....	45
Tableau 18: Caractéristiques des franges, du calendrier cultural des types de riziculture et des apports d'eau à Doumba	46
Tableau 19 : Estimation des surfaces cultivables après option 1 d'aménagement Doumba	48

Liste des figures

Figure 1: Situation et occupation actuelle du bas-fond de Doumba (carte IER, d'après données topo APS)	8
Figure 2 : Evolution de la pluviométrie annuelle à la station de Koulikoro (station synoptique la plus proche de Doumba).....	11
Figure 3: Indice standardisé de la pluviométrie, station de Koulikoro pour la période 2001-2019.....	12
Figure 4: Evolution du cumul pluviométrique saisonnier (mai-juin ; juillet-août ; septembre-octobre) station de Koulikoro	13
Figure 5: Bilan climatique moyen décadaire interannuel à la station de Koulikoro 2001-2019 (source : Mali-Météo)	14
Figure 6: Comparaison des besoins en eau décadaires (ETM) d'un riz semé la 3 ^{eme} décade de Juin aux pluviométries décadaires dépassées 2 et 8 années sur 10	16
Figure 7: Comparaison des besoins en eau décadaires (ETM) d'un riz semé la 1 ^{ere} décade de Juillet aux pluviométries décadaires dépassées 2 et 8 années sur 10	16
Figure 8: Comparaison interannuelle des apports pluviométriques aux besoins en eau du riz aux cours de ses différentes phases phénologiques	17
Figure 9: Relief et occupation des sols du bassin versant de Doumba (carte IER).....	18
Figure 10 : Points de prélèvement d'échantillons de sols (IER/COSTEA)	22
Figure 11: Types de sols rencontrés dans le bas-fond de Doumba (Source APS)	23
Figure 12: Zone impactée par le micro-barrage 1 de Doumba (carte IER d'après topo APS)	36
Figure 13: Zone impactée par le micro barrage supplémentaire de l'option d'aménagement2.....	36
Figure 14: Courbe d'exploitation de la retenue d'eau du micro-barrage 1 de Doumba, établie sur la base des bilans d'eau décadaires	43
Figure 15: Usages de l'eau de la retenue et pertes en % du volume d'eau initial stocké.....	44
Figure 16: Evolution des superficies inondées et exondées, 1 mois après le retrait des eaux.....	44
Figure 17: Gestion de la retenue d'eau du micro-barrage de Doumba pour répondre aux contraintes des trois modes de riziculture	47

Partie 1. Etat des lieux avant aménagement

Le site de Doumba a été proposé par l'UGP PARIIS du Mali en tant que site représentatif des bas-fonds de la région candidats à un nouvel aménagement, en zone soudano-sahélienne. Il présente l'intérêt d'être à une phase avancée de la procédure d'aménagement, avec une forte motivation de la population à sa réalisation.

1.1 Organisation spatiale et éléments de contexte

1.1.1 Contexte micro-régional (échelle communale)

Doumba est un chef-lieu de Commune, situé sur l'axe RN27 Koulikoro- Banamba, à 32 km au Nord de Koulikoro. C'est donc un site bien desservi par le réseau routier et aisément accessible depuis Bamako, distant de 120 km. La commune est assez fortement peuplée avec une population estimée à 11 000 habitants (projection de la DNP pour 2021), ce qui donne une densité de 44 habitants/ km² à l'échelle communale mais bien davantage au niveau du village-centre de Doumba qui concentre à lui seul 5000 habitants. La densité dans la zone d'aménagement serait ainsi dans les 80 habitants/ km², ce qui souligne la forte pression sur les terres cultivables et l'enjeu d'intensifier la mise en valeur agricole. Les céréales sèches (mil, sorgho, maïs) constituent les principales cultures de la Commune, et sont consacrées en grande partie à l'autoconsommation. Les cultures de rente sont essentiellement le sésame et le maraîchage, la zone ayant un faible potentiel pour la culture du coton qui a été quasiment abandonnée.

Le tableau suivant résume quelques grandes caractéristiques de la micro-région composée par la commune de Doumba (250 km²)

Tableau 1: Caractéristiques régionales et orientations agro-sylvo-pastorales (sources: APS, EIES)

Micro-région		Commune de Doumba (cercle de Koulikoro)
Agro-climatologie	station météo de référence	Koulikoro Sce local d'Agriculture 1996-2020
	données climatiques moy annuelle et mensuelle	P cumul annuel 882 mm climat soudano sahélien
		ETo non renseigné
		distrib saisonnière non renseigné dans l'étude technique
	variabilité interannuelle P	P an quinquen.sèche 684 mm
tendance récente à 20 ans	non renseigné pour les années 2000 -2020	
pluie journalière décennale	105 mm	
Milieu physique	substrat roches	Argilo-gréseux avec des intrusions doléritiques surmontées de cuirasses latéritiques
	matériaux d'altération	Cuirasses ferrugineuses et alluvions latéritisées et indurées

	végétation naturelle dominante		Savanes, Galerie forestière
	grandes problématiques environnementales	végétation, sols, pollutions, mines....	Dégradation, baisse de fertilité des terres
Orientation agro-sylvo-pastorale	agriculture vivrière	% de la Surface Agricole Utilisée	2020/2021: SAU 4290 ha dont mil 29 %, sorgho 27 %, riz 10 %, maïs 8 %, fonio 9 %, arachide 3 %, niébé 2 %,
	agriculture de rente		coton 1% de SAU sésame bio 10% surplus de céréales (50% de la production)
	élevage		
	Foresterie, parc arboré pêche/chasse		
Milieu humain	densité de population		44 habitants/km ²
	taux de croissance démo		3%
	années de migrations		2016-2020
	ethnies dominantes		Bamanan, Sarakolé, Peul
	infrastructure majeure	Pôle urbain proche voie de communication grand barrage aire protégée	Koulikoro RN27 bitumée
	grands programmes et structures d'appui		OHVN

1.1.2 Contexte local (terroir villageois et zone bas-fond à aménager)

Le bas-fond de Doumba est constitué d'une bande de terre assez étroite (largeur de 100 à 200 m) le long du cours d'eau saisonnier *Doumba fala* qui traverse d'Ouest en Est le terroir villageois sur plusieurs kms. Bien qu'il occupe une surface limitée au sein du terroir, ce bas-fond revêt une grande importance car la zone de bas de versant qui le longe concentre de nombreux jardins maraichers et vergers. Le tronçon de bas-fond ciblé pour l'aménagement s'étend sur près de 3 km au Sud et à l'Est du village et la zone impactée pressentie serait de 54 ha (source: APS)

Le bassin versant qui alimente le bas-fond est de petite dimension, il fait 17,5 km² au point d'exutoire de l'ouvrage prévu en aval. Le terroir du village de Doumba correspond en grande partie à ce bassin versant qui se trouve donc assez intensément cultivé.

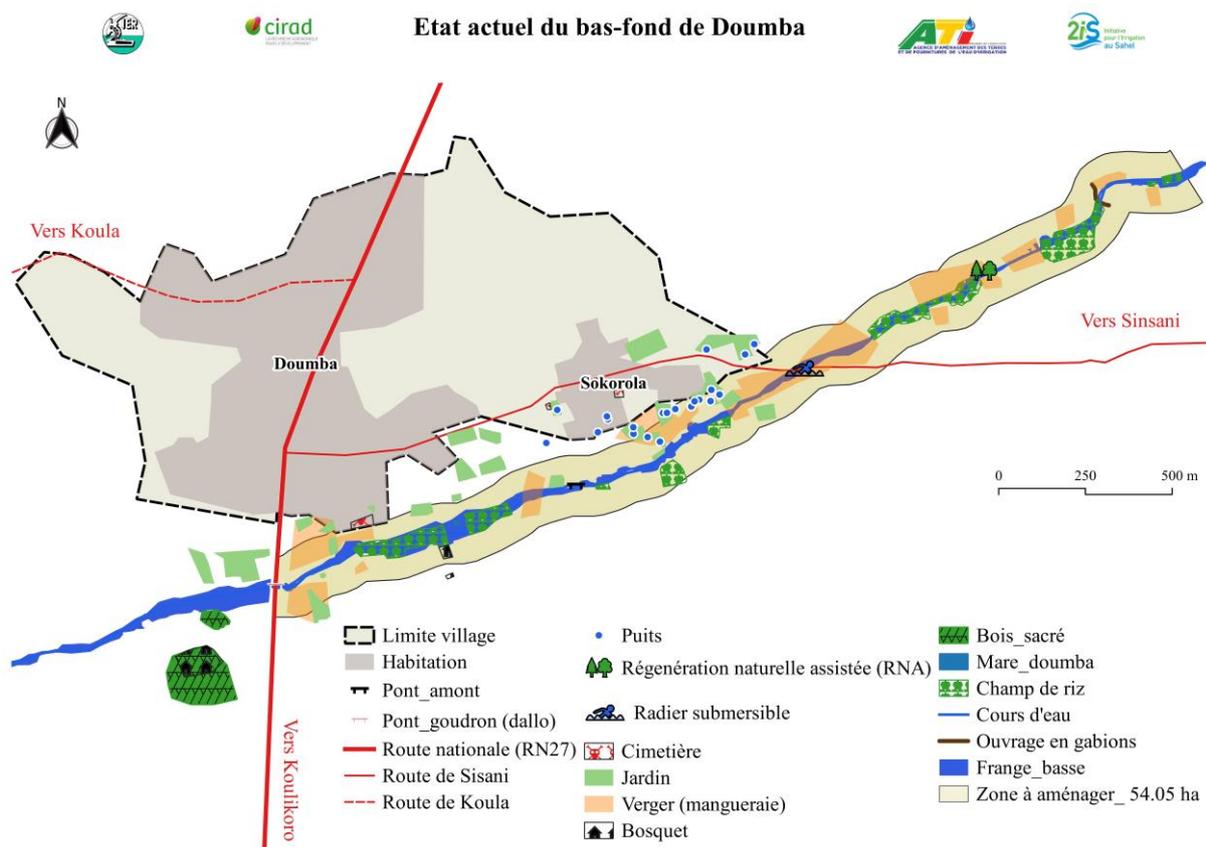


Figure 1: Situation et occupation actuelle du bas-fond de Doumba (carte IER, d'après données topo APS)

Le cadre local du Projet d'aménagement est résumé dans le tableau suivant :

Tableau 2: Caractéristiques locales du bas-fond de Doumba (sources : APS, EIES)

identité du bas-fond	nom du site	Doumba
	nom du cours d'eau	Fala
identité du bas-fond	villages et quartiers traversés par le bas-fond	quartiers centre et Est
	distance moyenne du village au bas-fond	0,5 à 2 km
	village demandeur de l'aménagement	Doumba
	délimitation du tronçon à aménager	coord amont X, Y 650566,14 m (X); 1449135,67 m (Y)
		coord aval X, Y 652094,00 m (X); 1449371,00 m (Y)
Bassin Versant	surface du BV défini à l'exutoire du bas-fond	17,8 Km ²
	indice de compacité	Kc 1,9 d'où BV allongé; 12,95 km de long et 1,38 km de large;
	géo-morphologie du BV	densité de drainage 0,62 km/ km ²
		pente moy du cours d'eau 0,17%
		indice global de pente cor 7,90
		dénivelée spécifique 33,6 m

	couverture du sol du BV	espèces ligneuses	sols nus dans les glacis d'érosion; tapis herbacé et cultures sèches sur glacis d'épandage limono-argileux ; <i>Vitellaria paradoxa</i> (Karité), <i>Tamarindus indica</i> , <i>Parkia biglobosa</i> , <i>Lawsonia inermis</i> , <i>Annona glauca</i> , <i>Daniella oliveri</i> , <i>Piliostigma thonningii</i> , <i>Saba senegalensis</i> , <i>Combretum micranthum</i> , <i>Combretum nigricans</i> , <i>Combretum glutinosum</i>
	estimation de la crue décennale QR ₁₀	plantations sylvicoles	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , <i>Azadirachta indica</i> , <i>Tectona grandis</i>
	estimation des apports annuels moy	année moyenne	37 m ³ /s méthode ORSTOM et CIEH avec P moy décennale ruisselée de 89 mm; lame d'eau ruisselée décennale de 25 mm ;
	ouvrage existant à l'amont du bas-fond	année quinquennale sèche	2,9 M m ³ Méthode Coutagne et Turc 1,5 M m ³ coef 60% de l'année moyenne Aucun
"Berceau" du bas-fond	dimension du bas-fond sur le terroir du village demandeur	longueur totale	5000 m estimé
		largeur moy du lit majeur	200 m
		surface du bas-fond	100 ha
		surface du site pressenti pour l'aménagement	54 ha
	topographie	pende moy longitudinale	0,17%
		pende moy transversale	1,90%
		lit mineur incision de l'axe d'écoulement	lit mineur est assez marqué en aval et très peu marqué en amont
	substrat géologique		Argilo gréseux avec des intrusions doléritiques surmontées de cuirasses latéritiques; appartenance aux formations sédimentaires du précambrien.
	type de sol		argileux à hydromorphie temporaire humifère; limono-argileux; limoneux présentant des recouvrements gravillonnaires par endroit
	durée des écoulements		Juin à octobre
Aménagement ancien du bas-fond	type d'ouvrage, état, niveau de fonctionnalité ou dégradation	année de réalisation, aménageur	Seuil en gabion réalisé par la population Non fonctionnel
	surface concernée		Non renseigné
	projet de réhabilitation		pas de réhabilitation
Nouvel aménagement en projet	genèse du projet	qui a fait la demande	population de Doumba
		qui est le porteur	micro-barrage 1 en béton cyclopéen avec pertuis avec hauteur crête 3,25 m capacité 137 700 m ³
		variante n°1	
	type d'ouvrage	variante n°2	micro-barrage 1 + micro-barrage 2 avec raccords en terre calé à la cote de 357,00 capacité totale 258 300 m ³
	vocation pour la saison des pluies, pour la saison sèche		1- recharge de la nappe pour du maraîchage de contre-saison; 2-riziculture en hivernage ; 3- abreuvement des animaux; 4 arboriculture
	totale		variante 1: 14,6 ha variante 2 : 31 ha

	<p>surface inondée par l'ouvrage à la côte prévue</p> <p>submersion ≥ 1 m riz flottant</p> <p>1 m > submersion $\geq 0,5$ m riz dressé</p> <p>submersion $\leq 0,5$ m</p> <p>totale</p> <p>cultures d'hivernage post projet</p> <p>surface bénéficiaire post projet</p> <p>cultures de contresaison post projet</p> <p>intensité culturale</p> <p>nombre de bénéficiaires pressentis</p> <p>coût d'aménagement</p>	<p>barrage 1: 5,86 ha (40%) ; barrage 2: 5,1 ha (31%)</p> <p>barrage 1: 3,20 ha (22%) barrage 2: 4,2 ha (26%)</p> <p>barrage 1: 5,5 ha (38%) barrage 2: 5,1 ha (43%)</p> <p>variante 1 : 49 ha variante 2: 95 ha</p> <p>variante 1: riz 20 ha; maïs 15 ha; maraichage hiv 14 ha ;</p> <p>variante 2: riz 45 ha; maïs 25 ha; maraichage hiv 25 ha</p> <p>maraichage variante 1: 15 ha variante 2: 30 ha</p> <p>1,3</p> <p>non renseigné</p> <p>variante 1: 106,7 M FCFA variante 2: 207,8 M F</p>
Usages actuels du bas-fond avant aménagement	<p>cultures</p> <p>marais de contresaison</p> <p>surface cultivée, nature des cultures, rendements</p> <p>rendements céréales</p> <p>en contresaison chaude (mars-juin)</p> <p>arboriculture</p> <p>nombre de producteurs dans le bas-fond</p> <p>surface à usage de paturage</p> <p>usage pêche</p> <p>usage chasse</p> <p>usage coupe de bois</p> <p>végétation naturelle</p> <p>carrières de briques</p> <p>espèces ligneuses</p>	<p>variante 1: 42,5 ha dont riz 12 ha; sorgho 13 ha; maïs 10 ha ; sésame 6,7 ha variante2: 53 ha (dont maraichage)</p> <p>11 ha dont piment 3,5 ha ; oignon 2 ha ; tomate 1,5 ha; concombre 1 ha ; tabac 0,5 ha ; poivron 0,5 ha; chou 0,5 ha; gombo 0,5 ha; aubergine traditionnelle 0,5 ha; laitue 0,5 ha</p> <p>riz, maïs 3t/ha; sorgho 2 t/ha; mil 1 t/ha; sésame, arachide 0,5 t/ha; niébé 0,4 t/ha)</p> <p>Rendement cult. maraîch.: oignon, pomme de terre, chou 15 t/ha; tomate 14 t/ha; aub. afr. 8,5 t/ha; melon 7 t/ha; laitue, concombre 5 t/ha; gros piment, poivron 4 t/ha; pastèque 2 t/ha)</p> <p>vergers de manguiers et d'anacardiers en bas de versant</p> <p>300</p> <p>Non</p> <p>Oui</p> <p>Non</p> <p>Non</p> <p>Oui</p> <p>Oui</p> <p>Oui</p>
Terroir villageois	<p>surface du terroir du village</p> <p>population résidente du village</p> <p>densité de population sur le terroir</p> <p>surface cultivée</p> <p>cultures d'hivernage</p> <p>marais en contresaison</p> <p>arboriculture</p>	<p>2293 hab au RGPH 2009; estimé 5000 hab en 2021 répartis en 297 familles</p> <p>60 hab/Km² estimation</p> <p>625 ha dont Sésame : 32 %; Sorgho: 24 %; Maïs : 16 % ; haricot : 16 % ; Mil : 10 % ; Riz : 2 %; Arachide: 1 %</p> <p>100 ha: pomme de terre 29 %; Gros piment: 16 %; Oignon: 15 % ; Tomate : 14 %; Aubergine africaine: 13 % ; Chou : 3 %; Poivron: 2 %; Concombre: 2 %; Melon: 2 %; Laitue Pastèque 1%</p> <p>17 ha dont manguiers 58% ; anacardiers 29% ; goyaviers 6% ; orangers 6% ; Jujubiers greffés 1 %</p>

	plantations forestières	5 ha d'Eucalyptus camalduelensis; 2 ha d'Azadirachta indica; 3 ha de Tectona grandis
Elevage (cheptel local, transhumant)		zone d'élevage majorité de petits ruminants (caprins 50 %; Bovins 25 %; Ovins 12,5 %; Asins 12,5 %) Total cheptel 8000
composition du revenu global du village en %	cult vivrières de plateau (céréales-légumineuses), de bas-fond (riz, céréales précoces), maraichage, autres cult de rente, élevage	Revenus d'exploitation: maraîchage 80 %, céréales 22 % (riz, maïs) déficit céréalier 85% de couverture des besoins
accès au marché et aux services	distance du village au marché d'envergure régional accessibilité de la voie de desserte	32 km de Koulikoro RN27 bitumée

1.2 Hydrologie, risques agro-climatiques, aménagements, gestion de l'eau

1.2.1 Analyse agro-climatique

La caractérisation agro-climatique du bas-fond de Doumba a été faite avec les données de pluviométrie et d'évapotranspiration de référence (ETP) décennales de la station synoptique Mali-météo de Koulikoro, la station la plus proche à une trentaine de km au Sud de Doumba. Ces données collectées sur la période 2001 à 2019 ont été utilisées pour analyser la tendance de la pluie et établir le bilan climatique. La figure 2 ci-dessous illustre les hauteurs de pluie enregistrées à la station de Koulikoro sur la période 2001-2019. L'analyse montre une grande variabilité interannuelle de la pluviométrie à la station de Koulikoro (de 613 mm à 1088 mm, pour une moyenne interannuelle de 864 mm -cf tableau 3) et aucune tendance sur la période. Si on prend en compte la sécheresse connue des années 1970-1980, on est actuellement dans une période plus favorable. Les pluies quinquennales forte et faible sur la période (2001-2019) sont respectivement de 967 mm et de 760 mm (Tableau 1).

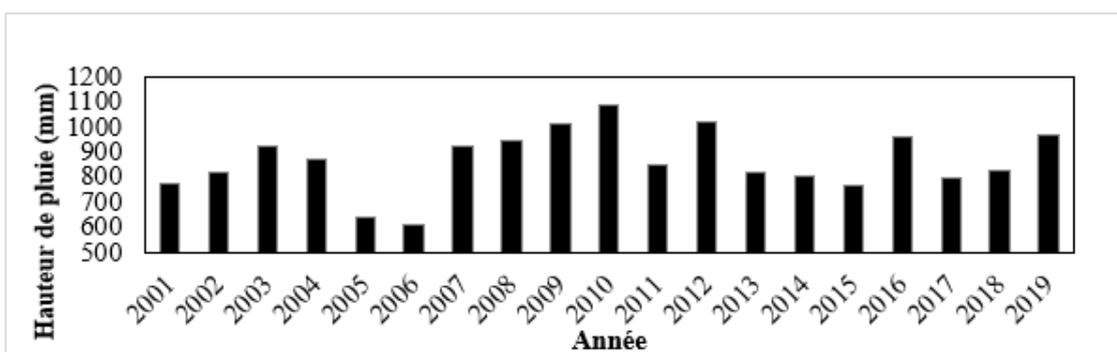


Figure 2 : Evolution de la pluviométrie annuelle à la station de Koulikoro (station synoptique la plus proche de Doumba)

L'indice standardisé calculé à partir des données de précipitation à la station de Koulikoro (Figure 2) permet de distinguer trois périodes au sein des deux dernières décennies. Les périodes 2001-2006 et 2013-2019 sont relativement sèches tandis que la période qui se situe entre les deux précédentes (2007-2012) est plus humide que la moyenne. Ces évolutions sont associées à de fortes variabilités interannuelles de la pluviométrie (Figure 3). Le test de Man Kendall de la série pluviométrique sur la période 2001-2019 ne montre pas de tendance statistiquement significative (p-value de 0,76 est supérieure à p-alpha : 0,05).

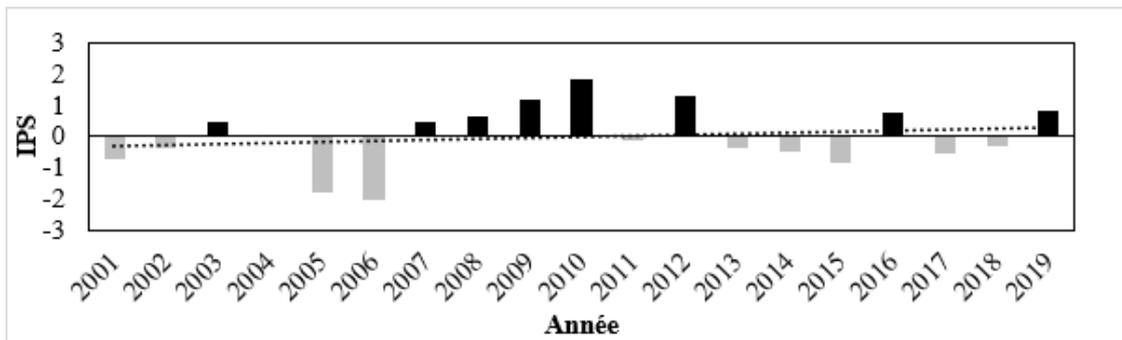


Figure 3: Indice standardisé de la pluviométrie, station de Koulikoro pour la période 2001-2019

Pour examiner l'éventuel effet du changement climatique sur les pluies, il convient de différencier la pluviométrie par saison (pré-humide, humide et post humide -cf Figure 4) ; ces résultats sont néanmoins peu robustes car l'approche du changement climatique nécessiterait une série longue d'une quarantaine d'années, non disponible pour ce site.

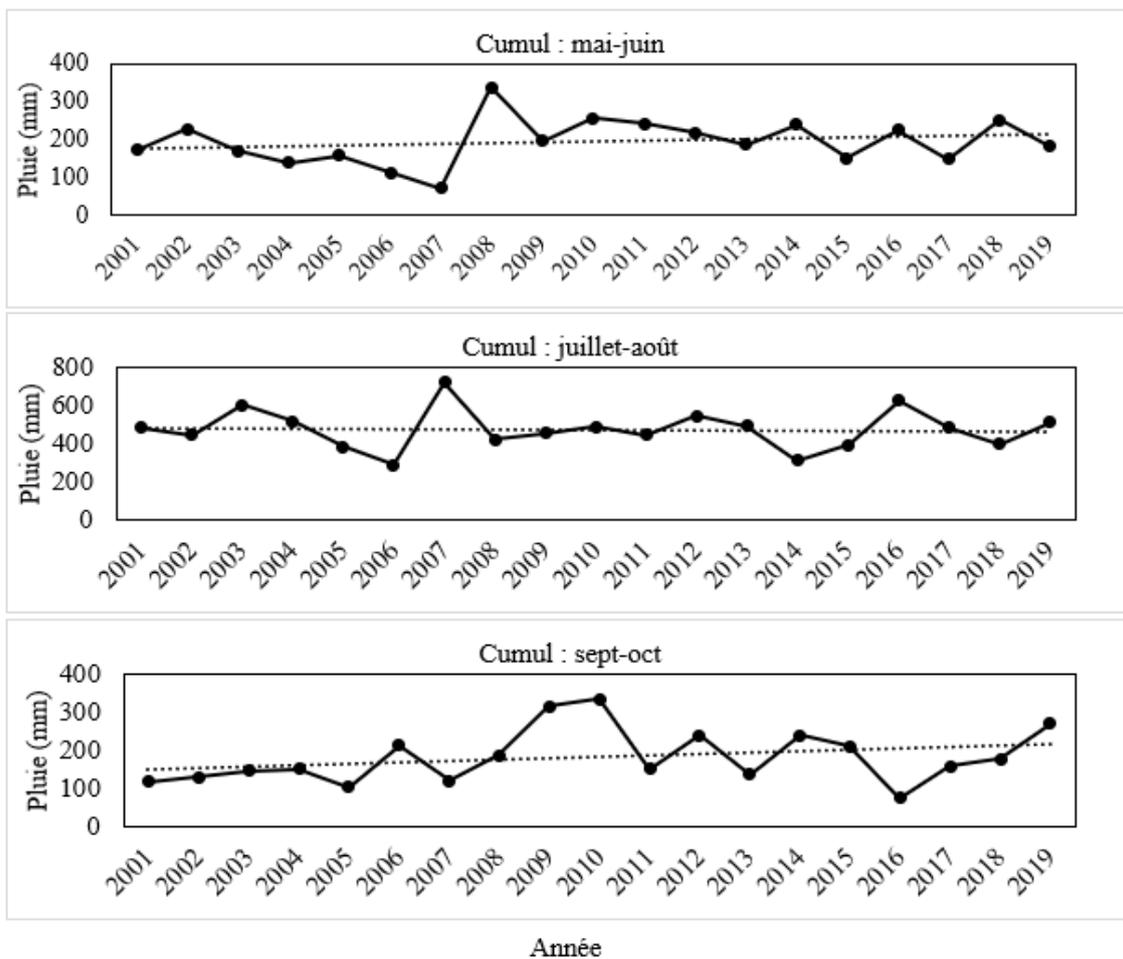


Figure 4: Evolution du cumul pluviométrique saisonnier (mai-juin ; juillet-août ; septembre-octobre) station de Koulikoro

Comme pour les pluies annuelles, aucune tendance statistiquement significative ne se dégage au cours de la période 2001-2019 pour les pluies saisonnières.

Tableau 3: Ajustement de la pluviométrie (Loi normale) Station de Koulikoro 2001-2019

P Décennale forte	1021,6 mm
P Quinquennale forte	967,5 mm
P Médiane	863,9 mm
P Quinquennale faible	760,3 mm

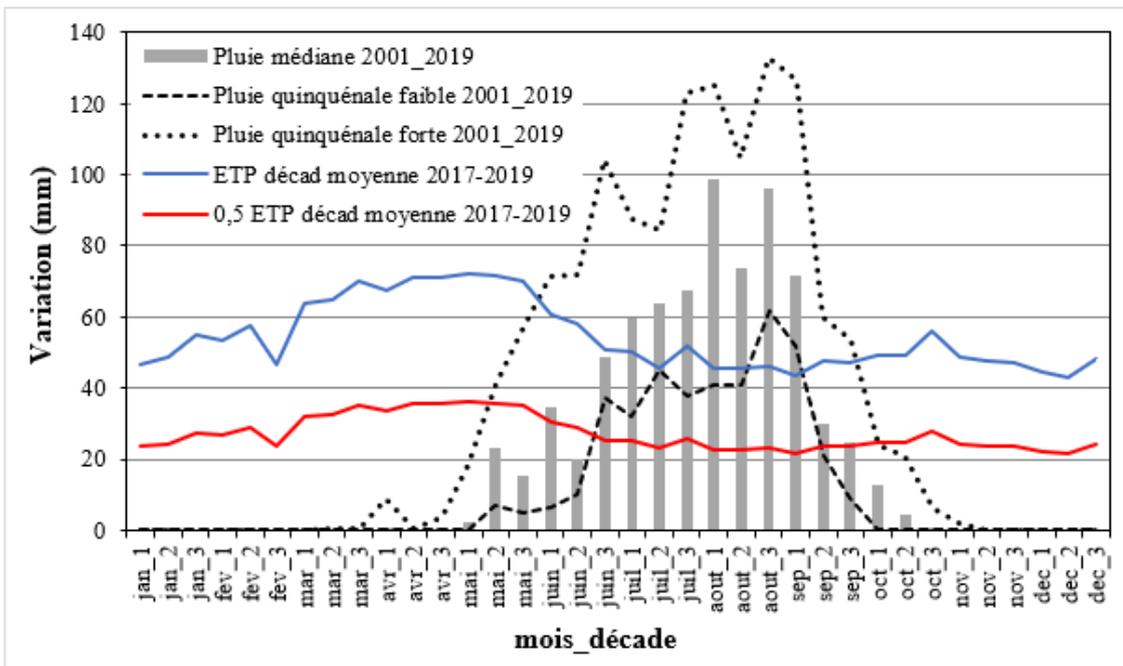


Figure 5: Bilan climatique moyen décadaire interannuel à la station de Koulikoro 2001-2019 (source : Mali-Météo)

L'analyse du bilan climatique à la station de Koulikoro sur la période 2001-2019 (Figure 5) indique :

- une saison pré-humide ($ETP > Pluie > ETP/2$) de la 1^{ère} décade de juin à la 3^{ème} décade de juin (soit trente jours). On note une forte variabilité des pluies au cours des deux premières décades rendant risqués des semis effectués avant la 3^{ème} décade de Juin ;
- une saison humide ($Pluie > ETP$) d'une durée de 70 jours. Elle se situe entre les 1^{ères} décades de juillet et de septembre. Durant cette saison, le risque de poche de sécheresse est illustré par les décades ayant une pluviométrie quinquennale faible inférieure à ETP (4 décades sur 7), ce qui signifie un risque de déficit hydrique décadaire pris une année sur cinq. Ce risque reste faible compte tenu du fait que P reste au-dessus de ETP/2 et le sol peut jouer un rôle de réservoir tampon.
- une saison post-humide ($ETP > Pluie > ETP/2$) courte située sur les 2^{ème} et 3^{ème} décades de septembre. Cette saison est marquée par un fort risque d'arrêt précoce des pluies illustré par une très faible pluviométrie médiane et quinquennale faible au cours de la troisième décade de septembre. Elle est suivie par un arrêt progressif des pluies en octobre. La nappe phréatique doit descendre rapidement à partir de la 1^{ère} décade d'octobre du fait d'une pluviométrie devenant significativement inférieure à ETP/2.

1.2.2 Besoins en eau pour la riziculture de bas-fond et calage du cycle cultural

En riziculture de bas-fond, la satisfaction des besoins en eau est totalement assurée par les précipitations et les flux entrants. Le plant de riz de bas-fond présente une résistance à une forte humidité et aux faibles inondations, mais est sensible à la sécheresse. Or le cycle de développement du riz est caractérisé par une phase critique (phase reproductive de l'initiation

paniculaire à la floraison) durant laquelle le manque d'eau compromet systématiquement la récolte. Le calage des besoins en eau pour la riziculture de bas-fond a alors été fait en comparant les apports pluviométriques au cours des différentes phases phénologiques, aux besoins en eau de la culture. Cette comparaison a été réalisée pour différentes dates de semis et longueurs de cycle cultural. Une analyse interannuelle des apports pluviométriques au cours des différentes phases permet de déterminer la fréquence avec laquelle ces apports pluviométriques sont supérieurs aux besoins. Cette approche fréquentielle n'est à considérer que comme un indicateur simplifié de diagnostic des potentialités (conditions nécessaires) dans la mesure où il gomme la distribution pluviométrique, la prise en compte des pluies excédentaires et les reports d'une décade à la suivante (stockage d'eau dans le sol utilisable par la plante), facteurs qui nécessiteraient le recours à une estimation des termes du bilan hydrique. Pour ce calage il a été retenu un riz de 100, 110 et 120 jours.

La détermination des décades favorables au semis est réalisée en identifiant la fréquence avec laquelle la pluviométrie de la décade est supérieure aux besoins en eau de la culture (Tableau 4 ci-dessous).

Tableau 4: Détermination des décades favorables au semis du riz

Décade de semis	Juin_1	Juin_2	Juin_3	Juil_1
ETP	60 mm	58 mm	51 mm	50 mm
Kc	0,7	0,7	0,7	0,7
ETM	42 mm	41 mm	36 mm	35 mm
P1 au seuil inférieur à ETM	36 mm	37 mm	19 mm	32 mm
Fréq P > P1	45%	40%	85%	80%
P2 au seuil supérieur à ETM	43 mm	44 mm	37 mm	39 mm
Fréq P > P2	40%	35%	80%	75%
Fréq P > ETM	41%	37%	80%	78%

Ce tableau 4 montre que ce n'est qu'à partir de la troisième décade de juin qu'on atteint une pluviométrie dépassant les besoins en eau de la culture avec une fréquence de l'ordre de 8 années sur 10 permettant de sécuriser une bonne levée de la culture.

La détermination des longueurs de cycle en utilisant le diagramme illustrant la variabilité interannuelle des pluies décadaires a permis d'optimiser la satisfaction des besoins en eau du riz en fonction de la date de semis. En effet, en reportant l'évolution de l'ETM de la culture (Riz) au cours de son cycle par décade (Figure 6) on se rend compte que :

- pour un semis effectué à la troisième décade de juin (Figure 6), le risque de stress hydrique en fin de cycle est élevé pour un riz d'une durée de cycle supérieure à 110 jours (ETM au-dessus de la courbe d'évolution de la pluviométrie décadaire dépassée 2 années sur 10, soit en quinquennale humide), alors que pour des durées de cycle entre 100 et 110 jours les besoins en eau restent majoritairement compris entre les pluviométries décadaires des quinquennales sèches et humides, respectivement dépassées 8 et 2 années sur 10 ;
- pour un semis la première (1^{ère}) décade de Juillet (Figure 7), le risque de stress hydrique en fin de cycle est élevé pour une durée de cycle supérieure à 100 jours (ETM au-dessus

de la courbe d'évolution de la pluviométrie décadaire dépassée 2 années sur 10), alors que pour une durées de cycle de 100 jours les besoins en eau restent majoritairement compris entre les pluviométries décadaires respectivement dépassées 8 et 2 années sur 10 (risque faible de ne pas atteindre cette pluviométrie).

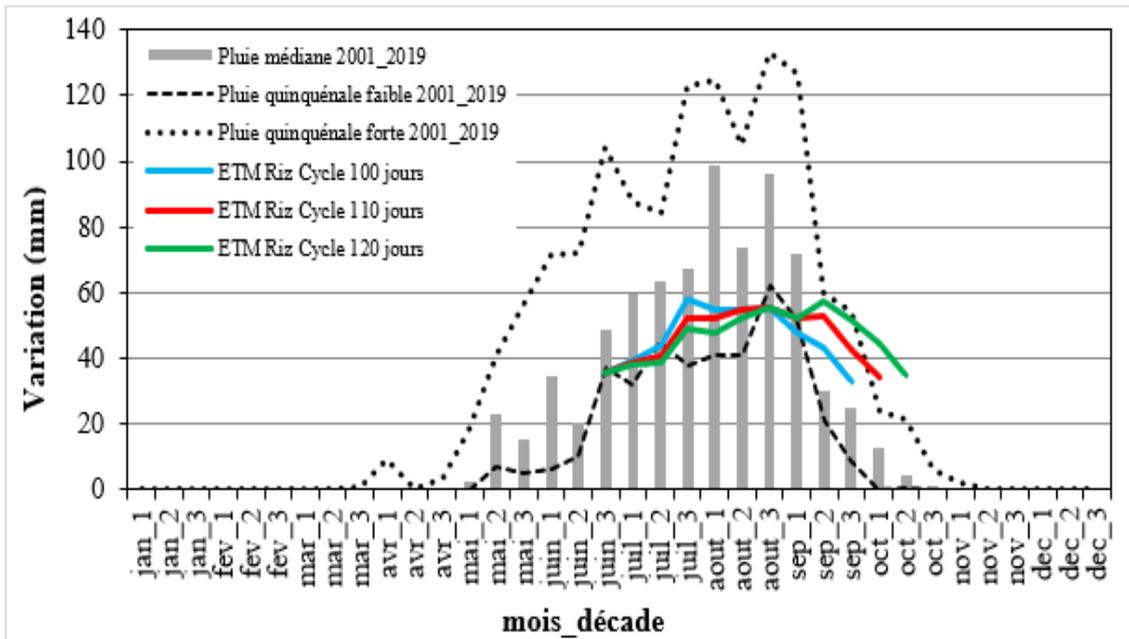


Figure 6: Comparaison des besoins en eau décadaires (ETM) d'un riz semé la 3^{ème} décade de Juin aux pluviométries décadaires dépassées 2 et 8 années sur 10

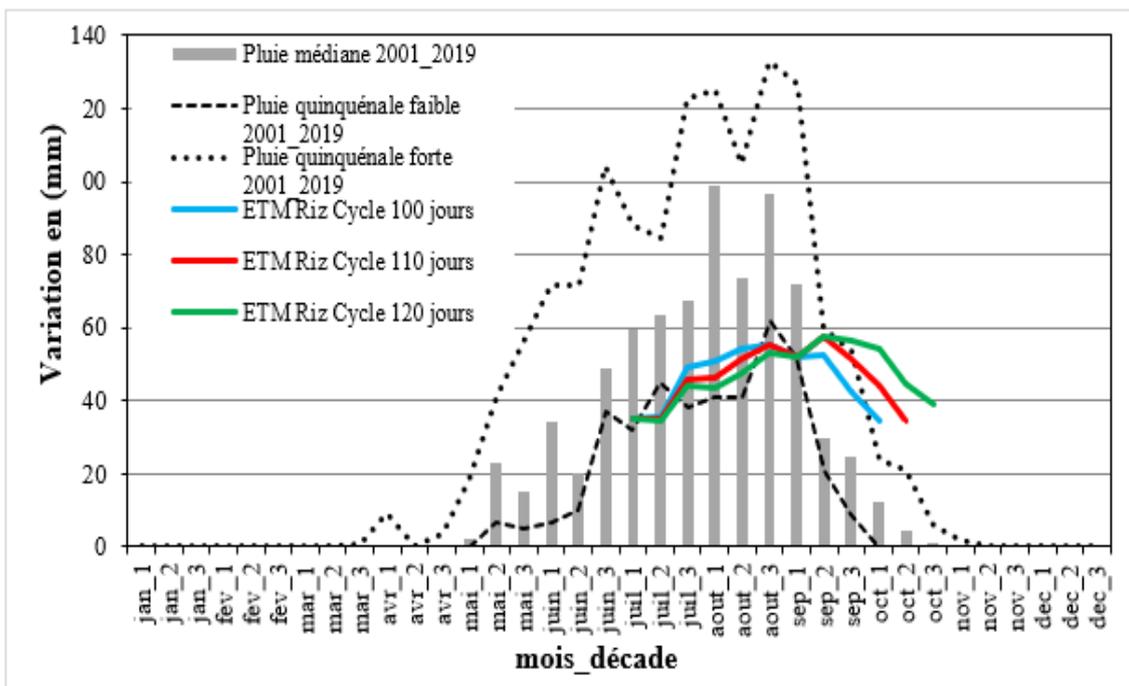


Figure 7: Comparaison des besoins en eau décadaires (ETM) d'un riz semé la 1^{ère} décade de Juillet aux pluviométries décadaires dépassées 2 et 8 années sur 10

Une comparaison interannuelle des apports pluviométriques aux besoins en eau de la culture aux cours de ses différentes phases phénologiques permet d'affiner l'estimation des risques de stress hydrique (Figure 8).

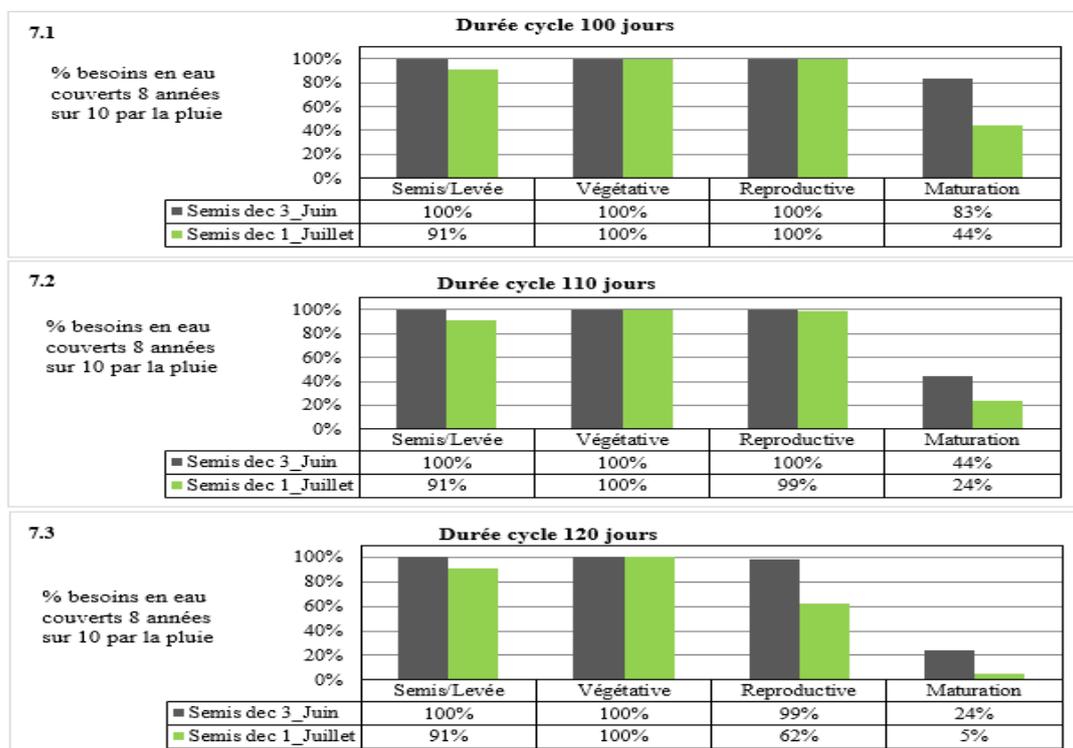


Figure 8: Comparaison interannuelle des apports pluviométriques aux besoins en eau du riz aux cours de ses différentes phases phénologiques

Cette comparaison illustre dans quelle mesure, les apports pluviométriques au cours d'une période dépassent 8 années sur 10 les besoins en eau de la culture au cours des différentes phases de son développement. Suffisante pour identifier les potentialités du milieu, elle ne permet pas à contrario d'estimer la variabilité interannuelle du niveau de satisfaction des besoins en eau de la culture qui nécessiterait de prendre en compte la distribution de la pluviométrie et les caractéristiques hydro-pédologiques des sols.

La Figure 7.1 illustre la satisfaction des besoins en eau d'un riz de bas-fond de 100 jours. Cette figure montre que lorsqu'on effectue un semis en décade juin_3, on peut s'attendre à un déficit hydrique de 17% en phase de maturation (pour 8 années sur 10). Le risque de ce déficit est faible en zone hydromorphe (dans le lit majeur et en bas de versant). Le second semis effectué en 1^{ère} décade de juillet indique un déficit non négligeable en phase de maturation (56% de déficit). Cette date de semis est adaptée aux zones de dépression dans le lit majeur du bas fond et dans la zone de la retenue où les eaux se retirent fin septembre où la plante peut bénéficier des remontées capillaires pour boucler son cycle.

L'analyse de la figure 7.2 qui illustre le niveau de satisfaction des besoins en eau d'un riz de 110 jours indique qu'un semis à la 3^{ème} décade de juin engendre un déficit hydrique de 56% à la maturation. Ce qui est non négligeable car il peut négativement affecter le rendement de la culture. Cette date de semis est aussi mieux adaptée aux zones de dépression dans le lit majeur

du bas fond et dans la zone de la retenue comme le riz de 100 jours semé en 1^{ère} décade de juillet. Cependant lorsqu'on effectue le semis à la 1^{ère} décade de juillet, on observe un risque de 76% à la phase de maturation. Donc pour un riz de 110 jours, cette date (1^{ère} décade de juillet) est adaptée dans la zone de la retenue ou dépression où les eaux se retirent au cours de la 1^{ère} décade d'octobre afin d'assurer les besoins en eau au cours de la phase de maturation.

Enfin, la satisfaction des besoins en eau d'un riz de bas-fond ayant un cycle de 120 jours est illustrée par la figure 7.3. L'analyse de cette figure permet de repérer clairement que lorsqu'un producteur effectue le semis à la 3^{ème} décade de juin, il notera un déficit hydrique de 76% lors de la phase de maturation. Pour éviter cela, il faut que la parcelle du producteur soit localisée dans la zone de la retenue ou dépression où les eaux se retirent au cours de la 1^{ère} décade d'octobre afin d'assurer les besoins en eau au cours de la phase de maturation. Pour un semis effectué à la 1^{ère} décade de juillet, on note un déficit hydrique de 38% à la phase reproductive et second déficit de 95% à la maturation. Alors cette date de semis pour un riz de 120 jours est adaptée dans la zone de la retenue ou dépression où les eaux se retirent au cours de la 1^{ère} décade d'octobre permettant d'assurer les besoins en eau au cours de la phase de maturation.

En conclusion, pour satisfaire les besoins en eau d'une variété de riz de bas-fond de 100 à 120 jours, il faut tenir compte de la frange dans laquelle se localise la parcelle. En effet une variété de riz de 100 jours implantée en 1^{ère} décade de juillet et celle de 110 jours semée à la 3^{ème} décade de juin sont adaptés dans les zones de dépression, le lit majeur du bas fond et dans la zone de la retenue. Par contre une variété de 110 jours implantée à la 1^{ère} décade de juillet et une variété de 120 jours semée à la 3^{ème} décade de juin et à la 1^{ère} décade de juillet ne sont adaptées que dans la zone de la retenue ou dépression.

1.2.3 Ecoulements et crues

Le bas-fond de Doumba est alimenté par un bassin versant d'une superficie approximative de 17,5 km², au point d'exutoire positionné au barrage 1. Cette superficie est calculée avec les techniques GIS en utilisant l'image SRTM de la région. Elle est pratiquement la même que celle indiquée par l'APS (17,8 km²). La crue décennale du bassin est comprise entre 47 et 64 m³/s (temps de base de 8,7 heures). Les zones de cultures couvrent plus de 20 % de la surface du bassin versant (Figure 9).

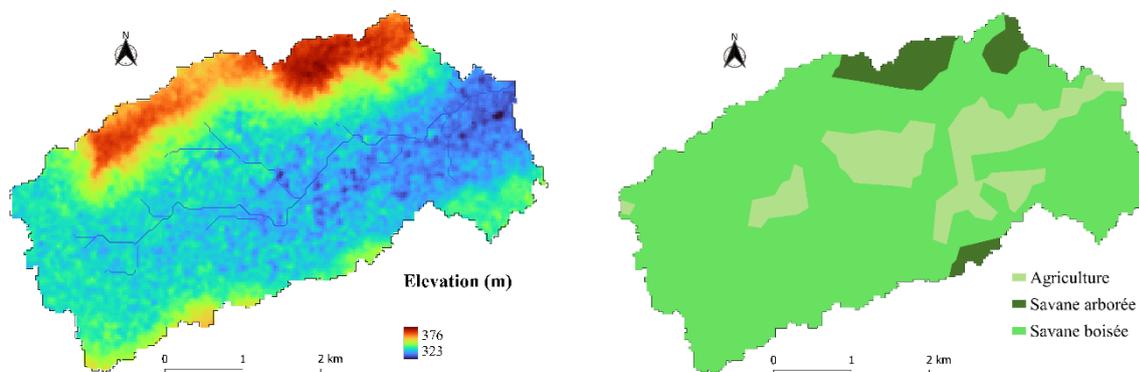


Figure 9: Relief et occupation des sols du bassin versant de Doumba (carte IER)

Tableau 5: Caractéristiques du bassin versant de Doumba (source : APS)

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Périmètre	P =	28,74	km
Superficie	S =	17,54	km ²
Longueur du cours d'eau principal ou du thalweg	Le =	7.14	km
Longueur totale des cours d'eau	LTe =	13.39	km
Pente moyenne	Imoy	1.9	m/km
Pente transversale	It =	3,4	m/km
Indice de compacité	Ig =	1,92	
Longueur du rectangle équivalent	Leq =	18,14	km
Largeur du rectangle équivalent	leq =	1,34	km
Altitude maximale	Hmax =	376	m
Altitude minimale	Hmin =	323	m
Altitude à 5% de surface	H5% =	371	m
Altitude à 95% de surface	H95% =	328	m
Altitude moyenne	Hmoy =	342,37	m
Altitude médiane	Hmed =	340	m
Indice globale de pente	Ig =	3.30	m/km
Indice globale de pente corrigé	Igcorr =	7,9	m/km
Indice globale de pente retenu	Igret =	7,9	m/km
Dénivelé spécifique	Ds =	8,04	m
Densité de drainage	Dd =	0,78	km/km ²
Type de relief selon ORSTOM	R	Relief très faible	
Classe de relief selon ORSTOM	R =	R1	
Perméabilité	I = RI (P3)	1,26 - 4,75 - 6,71	cm/h
Pluie décennale humide	P10 =	105,32	mm
Pluie moyenne annuelle	Pmoy =	882,4	mm
Coefficient d'abattement	A =	84	
Coefficient de pointe	Alpha10 =	2,6	
Coefficient de ruissellement décennal	Kr10 =	28,26	%
Temps de base	Tb	8,77	h
Temps de montée	Tm	2,90	h
Crue décennale (Méthode ORSTOM)	Q10 =	38,81	m ³ /s
Crue décennale (Méthode CIEH)	Q10 =	35,40	m ³ /s

1.2.4 Etat des aménagements préexistants et facteurs des dégradations

Les aménagements préexistants dans le bas-fond de Doumba sont les suivants, d'amont en aval:

- un pont à trois passes, situé sur l'axe principal d'écoulement, sert d'ouvrage de franchissement pour la RN27 Koulikoro - Banamba ; il est considéré comme l'endroit privilégié d'alimentation en eau du bas-fond de Doumba avec un débit très fort en saison pluvieuse ;

- la route de Doumba-Sisani-Wolokorodji avec radier submersible à la traversée du bas-fond. Cette route a été réalisée en 2020 par le projet IPRO-REAGIR-Koulikoro ;
- une quarantaine de puits artisanaux dont *Michikolon* (puits pour l'abreuvement des bovins). Les puits sont dans les parcelles maraîchères individuelles longeant le bas-fond surtout en rive gauche du côté du village de Doumba. Tous ces puits d'environ 10 à 15 m de profondeur se tarissent de Mars à Mai. Le nombre de puits par jardin varie en fonction de la superficie emblavée en cultures maraîchères et de la distance d'apport de l'eau aux cultures.
- enfin, le seul ouvrage de régulation en place est le seuil en gabion semi filtrant réalisé en 2019 barrant l'axe principal d'écoulement des eaux. Il est situé sur un site de resserrement du bas-fond, à 265 m en amont de l'emplacement du futur barrage 1. Soucieuse de faciliter la retenue d'eau dans leur bas-fond et de rehausser la nappe phréatique, la population jeune de Doumba a entrepris cet aménagement sous les conseils d'un volontaire américain de la paix (Photo 1). Ce seuil en gabion n'est plus actuellement fonctionnel du fait de sa détérioration par l'érosion hydrique et les animaux en divagation.



Photo 1 : Ouvrage en gabions

Les contraintes liées à l'exploitation de « *Doumba fala* » sont entre autres : (i) la non maîtrise des eaux de ruissellement dans le *fala* pour leurs éventuelles exploitation et faible potentiel d'épandage des crues compte tenu d'une topographie convexe défavorable, (ii) l'érosion hydrique qui entame les terres agricoles, (iii) l'insuffisance de la recharge de la nappe phréatique et sa forte profondeur (au-delà de 10 m) rendant difficile son exploitation en contre saison et (iv) la divagation des animaux portant préjudice aux cultures en place.

Il est à noter qu'à l'issue d'une forte pluie et d'une inondation du bas-fond, on observe une vidange progressive et rapide d'importantes quantités d'eau au bout d'environ trois à quatre heures de temps. Les personnes rencontrées sont conscientes de la dégradation des sols qui serait due à l'érosion et au fort ruissellement entraînant le décapage de la couche arable et le ravinement. Pour y remédier, elles ont suggéré la lutte mécanique à travers les cordons pierreux et des sacs remplis de pierres. La raréfaction de l'eau aurait, d'après les usagers, entraîné la disparition de deux espèces forestières du bas-fond, *Raphia sudanica* et *Elaeis guineensis*.

1.3 Diagnostic agri-environnemental

1.3.1 Les ressources agricoles du bas-fond et leurs usages

Usages des terres de bas-fond

Actuellement, le bas-fond et sa bordure en bas de versant, abritent des parcelles rizicoles des vergers, des parcelles maraîchères, des activités de pêche, des lieux de confection de briques en banco et des bois sacrés. Parmi ces usages, la riziculture d'hivernage est l'activité dominante en termes de surface occupée ; c'est une activité traditionnelle dévolue aux femmes qui la pratiquent depuis deux siècles. Les femmes se plaignent cependant de l'insuffisance de l'eau et de la divagation des animaux pour mener à bien cette culture. Le maraîchage est également pratiqué par les femmes en contre-saison (gombo, aubergine, échalote, pomme terre, tomate, ail, piment, choux pomme) sur le bas de versant jouxtant le bas-fond et en saison des pluies. Il est à noter que la culture des céréales sèches n'est quasiment pas pratiquée dans ce bas-fond. Les estimations de surfaces cultivées présentes dans le bas-fond en 2021 d'après l'APS sont les suivantes :

Tableau 6: Occupation des terres dans le bas-fond et bas de versant de Doumba (Source : APS)

Cultures		Superficie (ha)	Période de culture
Riz (frange basse)		12,25	Saison des pluies
Sésame		6,75	
Maraîchage de bas de versant	Piment	3,5	Contre-saison & Saison des pluies
	Oignon	2,0	
	Tomate	1,5	
	Concombre	1,0	
	Tabac	0,5	
	Poivron	0,5	
	Choux pomme	0,5	
	Gombo	0,5	
	Aubergine africaine	0,5	

La riziculture (12,25 ha) serait donc la première utilisation du bas-fond, suivie du sésame (6,75 ha). Le maraîchage de bas de versant a également une grande importance (10,5 ha).

Les sols, leur fertilité et zonage d'aptitude

Pour la caractérisation pédologique, trois échantillons de sols ont été prélevés le long du bas-fond (en amont, au milieu, et en aval). Ces échantillons ont fait l'objet d'un mélange afin de tirer un seul échantillon composite pour l'analyse au laboratoire.

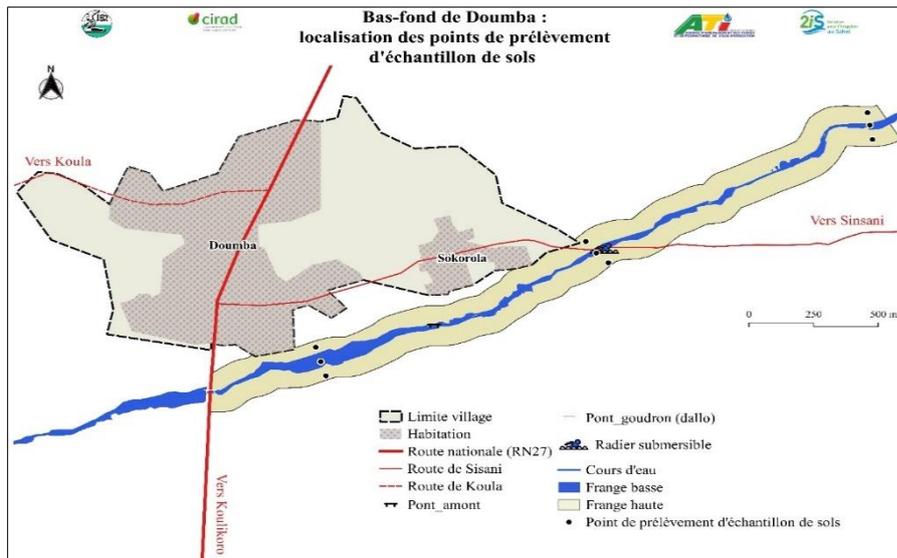


Figure 10 : Points de prélèvement d'échantillons de sols (IER/COSTEA)

L'analyse des profils pédologiques au cours du diagnostic a confirmé l'étude APS qui avait décelé, suivant la toposéquence, les trois parties suivantes (Figure 11) :

- **partie basse** : A ce niveau, l'humidité s'accumule avec une submersion temporaire. Les sols rencontrés sont de type argileux à hydromorphie temporaire humifère ou *Bogofing* en Bamanankan. Ils sont aptes aux cultures maraîchères, à la riziculture et très peu aptes à l'arboriculture (en cas de forte pluviométrie). Aujourd'hui, cette frange basse du bas-fond est exploitée pour la riziculture pluviale en submersion libre et la production du sésame ;
- **partie située au niveau du raccordement** entre la cuvette et le bas de versant : Les sols sont limono-argileux ou *N'Gakan* en Bamanankan. Ils sont aptes aux cultures sèches (sorgho, mil, maïs), aux cultures maraîchères, à l'arboriculture et moyennement aptes à la riziculture ;
- **partie haute** : Ce sont des sols de glacis d'érosion, limoneux gris-jaunâtre à jaunâtre présentant des recouvrements gravillonnaires par endroits. Leurs noms locaux sont *N'Gakan blé* ou *Bèlè N'Gakan*. Ces sols sont aptes pour l'arboriculture, peu aptes pour la céréaliculture et marginalement aptes pour le maraîchage et la riziculture. Aujourd'hui, ce bas de versant est exploité pour la production céréalière, l'arboriculture et le maraîchage.

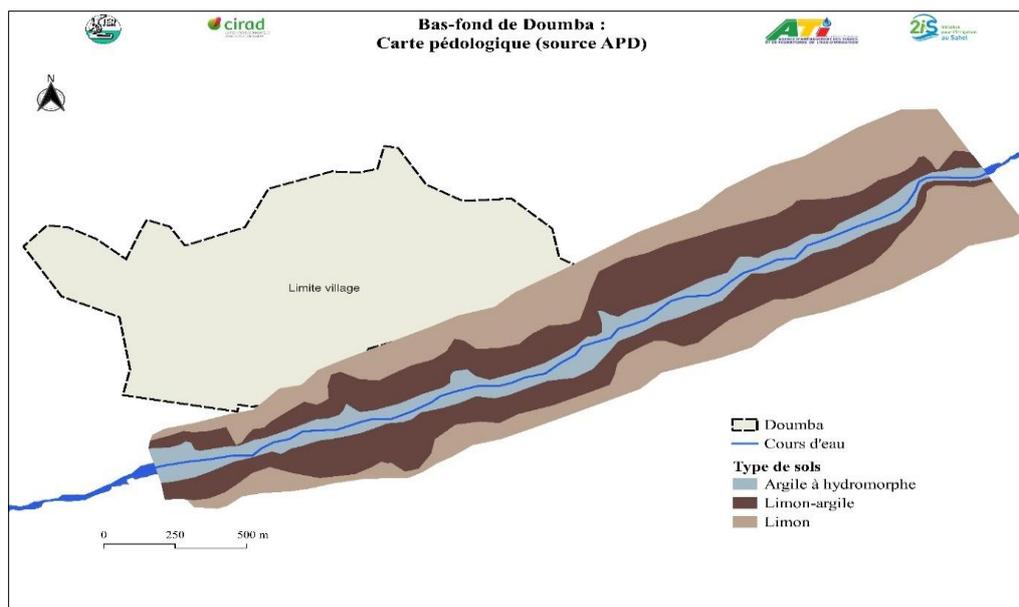


Figure 11: Types de sols rencontrés dans le bas-fond de Doumba (Source APS)

Le tableau 7 donne les caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sols prélevés dans le bas-fond de Doumba lors du diagnostic.

Tableau 7: Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sols prélevés dans le bas-fond de Doumba (source : IER)

Paramètres	Résultats
pH (eau)	6,18
Carbone organique (%)	0,38
Matière organique (%)	0,65
Sable >0,05 mm (%)	50
Limon 0,05-0,002 mm (%)	40
Argile <0,002 mm (%)	10
Texture	Limoneuse

Les analyses granulométriques réalisées au Laboratoire Sol-Eau-Plante de l'IER ont montré que les sols du bas-fond de Doumba sont de types ferrugineux tropicaux lessivés à texture limoneuse assez pauvres en argile. Ces sols ont présenté une teneur en carbone organique de 0,38 % qui est inférieure à 0,6 % considéré comme un seuil critique.

1.3.2 Les systèmes de culture : calendrier, pratiques par saison, aptitude à l'intensification

Riz

Le diagnostic a révélé que la riziculture occupe environ 60 % des superficies cultivées dans le bas-fond suivi du sésame (32 %). La production du riz est une activité exclusivement féminine pratiquée par les femmes âgées en moyenne de 50 ans, dotées de peu de moyens, sans équipement et avec une main d'œuvre très réduite. Son cycle s'étend de juin à septembre (saison des pluies) dans la frange basse du bas-fond. Le bas-fond étant un lieu d'abreuvement et de passage des animaux, l'installation précoce des parcelles de riz se trouve contrariée par cette divagation des animaux.

- *Taille des parcelles*

Les résultats issus du diagnostic ont montré que la taille moyenne des parcelles individuelles est de 100 m².

- *Variétés*

Le diagnostic a révélé que les variétés de riz sont de deux types : (i) des précoces d'une durée de cycle de 90 jours, il s'agit des *Brimalo*, *Finimalo*, *Decourani* qui sont considérées comme les plus productives par les femmes ; (ii) des variétés tardives de cycle de 130 jours, dénommées *Chinois malo*, *Malomiséni*, *Bintoubala*. Ces variétés reproduites localement auraient dégénéré et perdu leur potentiel productif donnant actuellement des rendements de moins de 1 tonne/ha. Cette insuffisance de variétés adaptées est due aux faibles moyens financiers des productrices pour acquérir des semences de qualité.

- *Semences* Les semences sont, soit achetées sur le marché, soit échangées entre les productrices. La pratique la plus courante est le semis à la volée ; une faible proportion des productrices procède au repiquage lorsque le sol est très humide.

- *Fertilisation*

Selon les personnes interviewées, le riz est généralement fertilisé deux fois avec du DAP, soit (NH₄)₂HPO₄ (18-46-0), du complexe céréales (15N-15P-15K) et de l'urée (46% N) à raison de 150 à 200 kg/ha entre 30 jours avant et 45 jours après le semis. Quant aux fertilisants organiques, les producteurs appliquent un seul apport de 100 charretées/ha entre avril et mai.

- *Contraintes biotiques*

La panachure jaune, les insectes, les rats et écureuils sont les principales maladies et déprédateurs du riz dans le site de Doumba.

- *Consommation/commercialisation*

Toute la production rizicole est autoconsommée et demeure toujours insuffisante par rapport aux besoins de consommation des exploitations ; il n'y a donc pas de surplus à vendre.

Cultures maraîchères

Le maraîchage est pratiqué en bordure du bas-fond, sur le bas de versant en hivernage avec un arrosage possible à partir de puisards (niveau statique de l'eau à -0,2 – 0,5 m en aout). En contresaison ce sont des puits de 10 à 15 m de profondeur qui sont utilisés, mais ces puits tarissent au mois de mars ou avril. Le tarissement des puits est généralisé à partir du mois de mai.

L'enquête auprès des productrices a révélé la nature des rotations d'espèces. Il peut y avoir jusqu'à trois cycles de cultures par an. Pour les deux premiers cycles, la tomate (de fin de saison des pluies) suivie de la pomme de terre (en contresaison fraîche de novembre à février) sont les cultures dominantes. L'échalote est également fréquente comme première culture en fin de saison des pluies. En contresaison chaude, un troisième cycle peut être réalisé quand la disponibilité en eau le permet, avec de l'aubergine ou du piment.

- *Taille des parcelles*

Les résultats issus du diagnostic ont montré que la taille des parcelles individuelles ne dépasse pas 100 m².

- Variétés

Selon les productrices, les principales variétés introduites sont les suivantes : (i) N'Galam plus (variété introduite) pour l'aubergine africaine (*Solanum aethiopicum*), (ii) Cobra, Jaguar plus, Gros grain ou UC82 (variétés introduites) pour la tomate (*Lycopersicon esculentum*), (iii) Sahel, Cluster pour la pomme de terre (*Solanum tuberosum*), (iv) Violet de Galmi (variété introduite) pour l'oignon. En ce qui concerne les variétés *Diakatou* pour l'aubergine africaine et *Nionodiabani* ou *Diabamissèni*, *Niakané*, *Diababa* pour l'échalote, ce sont plutôt des noms locaux et non des variétés.

- Semences

Pour s'approvisionner en semences, les productrices ont recours, soit au marché, soit aux échanges entre elles.

- Fertilisation

Selon les productrices, les parcelles maraîchères sont fertilisées une seule fois, de 20 à 30 jours après le semis avec le DAP à raison de 200 kg/ha. L'apport de fertilisants organiques sur les parcelles destinées à la pomme de terre est une pratique plus courante, avec des doses de 125 kg à 725 kg / parcelle de 100 m², apportées entre avril et mai.

Points communs au riz et aux cultures maraîchères

- Traitements phytosanitaires

Les produits chimiques les plus utilisés sont *Emacot* et *Attakan 344 SE* qui sont des insecticides. Selon les productrices, *Emacot* est utilisé en raison de 1 litre pour 100 m² ; *Attakan 344 SE* est un insecticide autorisé contre les chenilles, phyllophages, carpophages et les insectes piqueurs-suceurs du cotonnier. En plus des produits chimiques, les méthodes biologiques sont utilisées dans la lutte antiparasitaire notamment l'extrait d'*Azadirachta indica* et le piment.

1.3.3 Autres ressources et usages du bas-fond

Le bas-fond de Doumba est un lieu de pâture des animaux en saison sèche, de récolte de fourrages, de confection des briques en banco, de collecte de mangues, d'oranges et d'anacardes, de prélèvement des produits forestiers ligneux et non ligneux et de rites culturels (bois sacrés).

Mare

La seule mare présente dans le bas-fond est celle d'où est tiré le nom Doumba. Aujourd'hui, cette mare n'est plus fonctionnelle par manque d'eau.

Lieu de Pâture

La pâture des animaux démarre après la saison des pluies et prend fin en mai. A cette période de mai, les puits appelés *Michikolon* signifiant les puits des bovins servant à l'abreuvement du cheptel du village et celui de la transhumance sont taris. Selon la Mairie, l'effectif total du cheptel s'élève 1507 têtes composées de 38 % de bovins, 62 % de petits ruminants et 8 % d'asins.

La récolte de fourrages

Tout au long du cours d'eau, il existe une bonne disponibilité d'espèces fourragères en saison pluvieuse et un peu en contre saison. En saison pluvieuse, les espèces herbacées sont les plus exploitées à travers la vente aux citadins (principalement Koulikoro). Cette activité est généralement pratiquée par les jeunes. En saison sèche, les espèces fourragères ligneuses sont les plus exploitées. Cette exploitation des fourrages est tout particulièrement prisée par les jeunes comme source de revenu.

Vergers

Les vergers sont, soit dans la zone d'extension du cours d'eau, soit en bordure du bas-fond. Ils sont constitués de *Mangifera indica*, de *Citrus sinensis* et d'*Anacardium occidentale*.

Lieux de confection de briques

Le bas-fond renferme des lieux de confection des briques en banco pour la construction des maisons. Ces « bancotières » sont situés le long du lit majeur de la rivière (Photo 1).



Photo 2 : Lieu de confection de briques en Banco dans le bas-fond de Doumba

Espèces forestières

Selon les personnes enquêtées, le bas-fond de Doumba renferme 29 espèces forestières (annexe) dont les plus citées sont *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis*.

Bois sacrés

Le bas-fond renferme deux bois sacrés. Le premier bois sacré est presque contigu à la mare Doumba qui est située en plein cœur du Bas-fond. Ce bois sacré est composé de *Diospyros mespiliformis*, *Cassia sieberiana*, *Combretum micranthum*, *Piliostigma reticulatum* (Photo 2). Le second bois sacré composé jadis de *Raphia sudanica* a totalement disparu.



Photo 3 : Bois sacré magnifiant la mare Doumba

1.4 Diagnostic des services écosystémiques

1.4.1 Point de vue des populations

Autrefois

Le bas-fond de Doumba était riche en faune avec un nombre important d'espèces fauniques. Les fréquences de citation de ces espèces varient de 5 % à 80 %. Ces espèces animales fauniques étaient composées de *Panthera pardus* (panthère), *Lepus eurapaeus* (lièvre), *Panthera leo* (lion), *Nanger dama* (gazelle), *Hyaena hyeana* (hyène rayée), *Euxerus erytropus* (écureuil), *Hystrie cristata* (porc-épic), *Erythrocebus patas* (singe), *Rattus norvegicus* (rat), *Varanus niloticus* (varan). On y rencontrait également des grenouilles, des serpents, des insectes, des chenilles, des margouillats, des rats, des termites, des criquets, des lézards, et des oiseaux. Jadis, les populations pêchaient *Tilapia ziilli*, *Synodontis sorex*, *Ctenopoma petherici*, *Silurus glanis*, *Clarias sp*, *Lates niloticus*.

Aujourd'hui

Les paysans portent une attention particulière à la protection des puits « *Michikolon* » ou puits des bovins, en installant des buses et des haies vives protectrices à base de *Jatropha curcas* et *Lawsonia inermis*. Cependant, ces puits tarissent totalement de mai au début de la saison des pluies. Ceci rend difficile l'abreuvement du cheptel du village et des animaux transhumants. Les producteurs et les productrices prennent des dispositions lors de l'utilisation des produits chimiques à travers le port des masques. Cependant, la gestion des déchets chimiques est problématique, car ces déchets sont, soit jetés dans le bas-fond, soit enterrés, soit jetés dans les puits abandonnés. En ce qui concerne les déchets plastiques qui sont moins pesants, ils auraient été transportés par les eaux de pluie du plateau vers le bas-fond et par le vent en saison sèche. Ces déchets plastiques pourraient appauvrir les sols agricoles et provoquer des maladies chez les animaux pâturant le bas-fond. Au niveau des ressources forestières, on note d'énormes pressions d'ordre climatique et anthropique notamment l'exploitation du bois de chauffe au niveau de la partie haute du bas-fond. Beaucoup d'espèces fauniques sauvages ont disparu tels que *Panthera pardus*, *Panthera leo* et *Hyaena hyeana*. Le bois sacré lié à la mare Doumba reste protégé contre toute coupe à blanc des espèces présentes, mais il est admis de collecter les feuilles et les rameaux feuillés pour des fins médicinales. La disparition du second bois sacré à base de *Raphia sudanica* peut être liée au tarissement de la rivière. Le projet de micro-barrage serait une opportunité pour reconstituer ce second bois sacré. Toutefois, par endroit, il y a des actions de régénération naturelle assistée à base de *Gardenia erubescens* et d'*Euphorbia balsamifera* le long des berges de la rivière. On assiste également à une multiplicité de lieux de confection des briques en banco occasionnant des cuvettes pouvant être dangereuses pour les jeunes bergers et les animaux. En outre, ces bancotières contribuent à la réduction des surfaces cultivables.

Demain

Le micro-barrage devrait permettre de faciliter la retenue d'eau dans le bas-fond et de rehausser la nappe phréatique. Donc, on s'attend à une augmentation des surfaces cultivables, à la réintroduction ou au retour de certaines espèces forestières et animales disparues et à la pullulation d'insectes. Cependant, le barrage pourrait affecter négativement les vergers, les terres cultivables et les constructions à usage d'habitation par suite de noyade. Les attentes de la population sont nombreuses. Elles se focalisent sur la maîtrise des eaux de ruissellement dans le bas-fond pour leur exploitation en hivernage et en contresaison, sur la maîtrise de l'érosion hydrique, sur la maîtrise de la divagation des animaux. Les femmes aspirent au renforcement

de leurs capacités dans les domaines de la transformation des produits agricoles, des bonnes pratiques de gestion des terres, de l'approvisionnement en semences améliorées et intrants. Elles aspirent à avoir des équipements appropriés d'irrigation (motopompes, groupes électrogènes, etc.) et de transformation.

1.4.2 Point de vue de l'expert

Autrefois

Jadis, le bas-fond de Doumba rendait manifestement de nombreux services écosystémiques pour les populations qui étaient peu nombreuses, grâce à sa rivière semi-permanente et sa mare qui jouaient un rôle socio-culturel, environnemental et de régulation microclimatique. Jadis, le regard n'était pas tourné sur le bas-fond, car le plateau seul suffisait pour la satisfaction de l'ensemble des besoins. D'ailleurs, le bas-fond incarnait une crainte eu égard à l'exubérance de sa végétation.

Aujourd'hui

Le bas-fond n'arrive pas à jouer pleinement son rôle socio-culturel, environnemental et de régulation microclimatique. Les actions anthropiques centrées sur l'exploitation abusive du bois, l'exploitation anarchique des racines et des écorces des espèces forestières, le non-respect de la distance de la servitude, la chasse non rationnelle ont eu comme corollaire la dénudation des sols, l'aggravation du phénomène d'érosion, l'ensablement du lit mineur voire le dessèchement des eaux de la rivière et de la mare, la fuite de la faune sauvage, la disparition d'une grande partie de la biodiversité et l'anéantissement de plusieurs services écosystémiques. On assiste à l'abondance de *Guiera senegalensis* sur le site de Doumba, qui est un indicateur écologique de sols grossiers, voire pauvres en éléments nutritifs. Sur le plan de la fertilisation, les sols grossiers sont engorgés d'engrais minéraux dont leur accès par les productrices pose d'énormes problèmes. Face aux effets néfastes des insecticides chimiques à long terme sur la flore, l'eau, les animaux et les humains, l'utilisation des bio-insecticides est timide. Dans le cadre de la conservation durable des ressources génétiques forestières, on assiste au non-respect de la distance de 25 m séparant les cultures et la berge (textes législatifs forestiers du Mali).

Demain

L'installation du barrage va être un « ouf de soulagement » en matière de disponibilité de l'eau, ce qui va permettre le retour de certaines espèces animales sauvages et aquacoles ainsi que la réintroduction de certaines espèces forestières disparues. Des espèces telles que *Vitellaria paradoxa*, *Adansonia digitata* et *Parkia biglobosa* seront les premières à disparaître après le retour d'une certaine humidité résiduelle et presque permanente, car elles n'y sont pas adaptées (Annexe 3). Pour gérer les éventuelles inondations, des actions de végétalisation des berges doivent être planifiées avec des espèces supportant des inondations périodiques et ou prolongées. Il s'agit entre autres de *Pennisetum pedicellatum* (herbacée), *Vetivera nigriflora* (herbacée), *Cyperus rotundus* (herbacée), *Saba senegalensis* (ligneux), *Mitragyna inermis* (ligneux), *Anogeissus leiocarpa* (ligneux), etc. L'après-ouvrage pourrait favoriser l'apparition de nouvelles espèces forestières et herbacées, la pullulation de moustiques anophèles dues à l'excès d'eau dans le bas-fond. Pour accroître la production et la productivité agricoles, des variétés améliorées de riz de bas-fond et de cultures maraîchères seraient à introduire (annexes 1 et 2). En ce qui concerne la gestion des déchets chimiques, le Service de la Protection des Végétaux devrait être mis à profit pour sensibiliser les producteurs et les productrices sur les mesures appropriées afin d'éviter la contamination des eaux du bas-fond. Les efforts déjà entrepris en matière de lutte biologique des ravageurs du riz et des cultures maraîchères doivent

être renforcés par l'introduction d'autres bio-insecticides tels que *Carapa procera*, *Jatropha curcas*, *Commiphora africana*, *Boscia senegalensis* et *Ricinus communis*.

1.5 Diagnostic Socioéconomique

1.5.1 Historique de la mise en valeur du bas-fond et du projet d'aménagement

Selon la communauté villageoise de Doumba, le dit bas-fond était déjà exploité il y a plusieurs décennies, sans aménagement, principalement pour la riziculture. Mais la majeure partie servait de pâturage permanent, de réserve de chasse et d'exploitation des produits forestiers non ligneux. Soucieuse de favoriser la rétention d'eau dans le bas-fond et de rehausser la nappe phréatique, la population jeune de Doumba a entrepris la mise en place d'une digue en gabions en 1992 en travers de l'axe d'écoulement sous les conseils d'un volontaire américain de la paix. Avec les effets néfastes des changements climatiques, l'évolution de la pluviométrie en dent de scie, ce gabion s'est révélé incapable de retenir des eaux des pluies dépassant 60 mm. Le problème de manque d'eau en début et fin de saison s'est posé de façon récurrente.

L'unanimité a été faite sur l'origine de la demande d'implantation du barrage. Celle-ci émane des habitants du village qui se sont inspirés de l'expérience réussie de barrages à Bodo et Niamakorobougou (présence d'eau dans la retenue pendant toute l'année, recharge de la nappe phréatique et des puits, pratique du maraîchage et de la culture du riz, abreuvement, autres usages domestiques, etc.). Le Projet PARIIS a répondu favorablement à la demande des populations il y a deux ans et a entrepris les démarches d'aménagement. La population espère que ses attentes seront comblées et est impatiente de voir la réalisation. Les attentes des usagers sont précisément la disposition d'une retenue de l'eau pendant au moins 3 mois durant la saison sèche, l'augmentation des surfaces cultivables, la recharge de la nappe phréatique, l'augmentation de la production agricole en toutes saisons à travers des plantations d'arbres fruitiers, la riziculture, le maraîchage, le retour de certaines espèces forestières et animales disparues. La population attend toujours la phase d'exécution du projet pour voir réaliser son rêve. Elle se dit prête à participer aux travaux en tant que main d'œuvre pour la contribution villageoise au projet.

1.5.2 Droits fonciers, accès aux terres de bas-fond

Le village de Doumba compte 301 ménages et 157 exploitations agricoles (source : Mairie), avec une population de 2 293 habitants en 2022. Les ressortissants de Doumba et Sokorola, sont les détenteurs de droits d'exploitation sur le bas-fond à aménager. Chaque famille autochtone du village a une portion de terre dans le bas-fond.

Les droits sur les terres du bas-fond sont transmis par héritage au sein des familles propriétaires. Les femmes sont détentrices d'un droit d'usage, droit généralement conféré par le mariage ; les femmes ont ainsi accès à la terre à travers leurs maris. Les hommes restent propriétaires des parcelles. Les femmes travaillent dans le champ familial, mais peuvent également exploiter une partie de ces terres familiales, et bénéficier des ressources générées pour répondre à leurs besoins propres. Dans aucun cas, la femme ne peut octroyer de terre à une tierce personne pour exploitation et ne peut planter d'arbre, ces droits revenant aux hommes. Les spéculations généralement produites par les femmes sur ces portions de terre sont le riz et le sésame. Pour les allochtones n'étant pas propriétaires, les terres sont obtenues auprès des propriétaires terriens sous forme de prêts oraux dont le retrait peut se faire à tout moment. Quant au maraîchage, il est pratiqué sur le bas de versant dans des jardins clôturés traditionnellement. Ces terres sont privées comme dans la frange basse.

Dans le village Doumba, les terres du bas-fond ne sont ni vendues ni louées. La seule façon d'accéder à la terre pour un non héritier est par emprunt. Mais cette portion de terre prêtée demeure la propriété de l'exploitation familiale autochtone. Pour les plantations (verger et autres), seuls les propriétaires sont habilités à faire ces actions de reboisement dans les parcelles de bas-fond.

1.5.3 Cessions de terres au projet d'aménagement et modalités de ré-attribution des parcelles post-aménagement

Pour la cession des terres pour l'aménagement, le chef de village de concert avec les conseillers villageois et les chefs d'exploitations/propriétaires terriens dans le bas-fond, ont consenti à faire des déclarations d'intention de cession de terre. La surface concernée serait d'une cinquantaine d'hectares pour répondre à l'objectif ambitieux de mise en valeur affiché par la population. Mais l'identification précise des parcelles actuellement cultivées dans la frange basse (lit mineur) est déléguée à une commission locale en concertation avec la mairie et ses représentants, qui interviendra dans une phase finale du projet, après exécution des travaux d'aménagement. La portée réelle de l'aménagement dépendra de l'option qui sera finalement retenue avec plus ou moins de surface impactée.

Après l'aménagement, il est prévu que les parcelles impactées soient réparties entre les familles de façon consensuelle afin d'éviter les plaintes et les conflits futurs. La commission de suivi de l'aménagement mise en place par le PARIIS et la Mairie, est à pied d'œuvre pour répertorier les parcelles du bas-fond et les délimiter avec des GPS afin de déterminer les superficies réelles de chaque exploitation en place. Après l'aménagement, la répartition se fera en fonction de critères à définir par la commission.

Toutes ces activités seront supervisées par la Mairie à travers son 2^{ème} adjoint. Selon la Mairie, pour assurer une durabilité de l'aménagement, il faut faire une répartition consensuelle suivant les critères établis par la commission. Cette situation permettra de garder les mêmes engouements à produire. La situation foncière actuelle du bas-fond serait considérée dans la répartition des parcelles aménagées. Mais un système de rotation des exploitants par saison pourrait également être considéré pour permettre à de nouveaux acteurs de bénéficier l'investissement.

Pour le moment, l'exploitation du bas-fond est spécifiquement agricole. La vente des parcelles dans le bas-fond n'est pas permise par les propriétaires terriens. Toutes les opérations sur les parcelles du bas-fond se font sous la responsabilité du propriétaire terrien et sous l'autorité du chef de village. Les parcelles aménagées seraient attribuées à l'ensemble des exploitations de Doumba et Sokorola. **C'est seulement à la fin de l'exécution des travaux du barrage que les informations sur le nombre et la superficie des parcelles seront connues.**

1.5.4 Organisation des usagers bas-fond

Les acteurs de Doumba n'ont pas d'organisation spécifique pour les activités du bas-fond. A l'initiative de la Mairie, des travaux collectifs sont prévus pour l'aménagement mais cette activité collective est loin d'être une organisation d'acteurs du bas-fond. Les groupements féminins ont d'autres objectifs que la production rizicole, leur vocation est d'abord la production maraichère. Cinq organisations maraichères existent dans les villages de Doumba et Sokorola. Les acteurs n'ont pas d'expérience d'organisation collective pour la production du riz.

Pour le moment les Sociétés Coopératives Simplifiées (SCOOPS) *Benkadi 1&2, Djékabara et Finesse* sont les groupements formels du village et ont été mises en place respectivement en 2002, 2004 et 2014. Ces SCOOPS comptent 194 membres actuellement dont 98 % de femmes. 53 % des exploitants enquêtés sont intégrés dans ces coopératives formelles. D'autre part il

existe également des associations non formelles, 20 % des enquêtés étaient affiliés à ces associations. L'avantage d'être membre de ces organisations est l'accès au crédit pour les intrants (55 %) et l'accès aux formations (18 %).

Tableau 8: Appartenance des usagers du bas-fond à des Organisations villageoises Source : Enquête IER/ COSTEA 2022

Caractéristiques des exploitants	Doumba	
	(n)	(%)
Appartenance à une association, organisation ou groupement agricole		
Aucun	4	27
Coopérative	8	53
Association/ton	3	20
Noms groupements		
Coopérative des femmes maraichères (Benkadi)	7	64
Coopérative des Producteurs de céréales	1	9
Association villageoise (Djekabara)	2	18
Association des femmes Doumba (Finesse)	1	9
Les avantages d'être membre de l'organisation		
Accès aux intrants	1	9
Accès aux marchés	1	9
Accès aux formations	2	18
Accès aux crédits	6	55
Cohésion sociale	1	9

Echantillon n de 15 exploitants

1.5.5 Moyens d'existence et place des catégories vulnérables

La production agricole en bas-fond est une source de revenu majeure pour les jeunes et les femmes. Or ces activités dans le bas-fond restent toujours tributaires du manque d'eau en fin d'hivernage et en contre saison, carences auxquelles devraient remédier le Projet d'aménagement.

Les jeunes

La première source de revenu des jeunes est la production maraichère dans les périmètres maraichers et dans les parcelles tout au long du bas-fond. Les productions de piment et de tomate sont les plus rentables de la zone. Autrefois, les jeunes se rendaient à Bamako pour des activités de gardiennage, d'apprentis chauffeurs ou livreurs en pousses-pousse. Mais depuis que le piment, l'aubergine, la tomate ont pris de l'ampleur dans le village, ils se sont mis à la tâche. A la suite, des « *tons d'entraide* » ont été mises en place pour faciliter cette activité. Le chiffre d'affaires pour un jeune peut atteindre 3 000 000 F CFA par campagne. Grace à cette activité, l'exode des jeunes vers Bamako aurait diminué.

Les femmes

Les sources de revenu des femmes sont diversifiées avec d'une part des productions de plateau et d'autre part de bas-fond. La production maraichère est la principale activité et source de revenu des femmes à Doumba depuis plusieurs années. Malgré cette diversité de production, les femmes restent toujours vulnérables et dépendent en majeure partie de leurs maris ou de leurs enfants.

Comme dans les bas-fonds, des petites portions de terres sont octroyées aux femmes au niveau du plateau pour la production de sésame, d'arachide, niébé pour la consommation familiale et subvenir à leurs besoins Dans le bas-fond de Doumba, compte tenu de la pluviométrie

insuffisante, beaucoup de femmes cultivent mais ne récoltent quasiment pas de riz parce que les panicules n'arrivent pas à maturité. Cette situation serait due à l'arrêt précoce des pluies en phase d'épiaison. En moyenne, la production de riz par parcelle de 1000 m² ne dépasse pas un sac de 100 kg de riz paddy.

En plus de la production agricole, les femmes font des exploitations de produits forestiers non ligneux, des petits commerces, des embouches et la transformation des produits agricoles.

1.5.6 Valorisation des productions, chaînes de valeurs locales et potentiel de débouchés après aménagement

Les filières de production concernées par le bas-fond sont : le riz, le maïs, le sésame et les cultures maraîchères.

- La production du sésame est devenue une alternative à la production rizicole pour certaines productrices du bas-fond. Cette culture est moins exigeante en eau et suit les mêmes techniques culturales que les céréales. A la récolte, le sésame est fauché et séché pendant quelques jours avant le battage. Après le battage, les grains de sésame sont destinés à la commercialisation. Le prix moyen de vente varie de 500 F à 700 FCFA/kg. Toute la production est vendue aux commerçants du village qui font office de collecteurs pour les grands commerçants de Bamako. Les contraintes majeures à la production de sésame sont d'ordre climatique : insuffisance de pluie pendant l'installation de la culture et poches de sécheresses à la maturation.

- Le sorgho est une culture pluviale qui est produite dans la frange haute du bas-fond. Cette production est survenue parce que les spéculations traditionnelles du bas-fond sont affectées par les aléas de la pluviométrie. Le sorgho est la principale spéculation consommée dans le site. Toute la production est destinée à l'autoconsommation. Le marché d'écoulement n'est pas un problème pour les acteurs. Pour la transformation, ils n'ont pas encore entrepris d'actions dans ce sens. La contrainte majeure de la production du sorgho est le faible accès aux variétés adaptées.

- Les principales spéculations maraîchères pratiquées sont : l'oignon, l'échalotte, le gombo, l'aubergine africaine, la tomate, le concombre, la pomme de terre. Les producteurs s'attendent à une augmentation des superficies maraîchères après la mise en place des aménagements prévus. Les marchés d'écoulement des produits maraîchers sont ceux de Doumba, Sirakorola à 20 km sur l'axe Doumba-Banamba et le marché de Koulikoro à 30 km (chef-lieu de région). Les producteurs sont confiants dans la capacité d'écouler des suppléments de production. Parmi les cultures maraîchères, selon nos résultats d'enquête, la pomme de terre a enregistré la meilleure rentabilité grâce à une forte valorisation du produit (prix de 300 FCFA/kg avec un pic au mois de janvier de 600 FCFA/kg pour les premières récoltes précoces).

Analyse des comptes d'exploitation des principales productions (15 producteurs enquêtés)

Compte tenu du faible niveau de leurs ressources, certains producteurs exploitent le bas-fond en culture céréalière. Les superficies moyennes par producteur de l'échantillon enquêté varient d'une spéculation à une autre. Il ressort que le sorgho a la plus grande superficie (0,5 ha) suivi du riz (0,41 ha). Les rendements de ces cultures majeures demeurent faibles ce qui serait dû principalement à l'insuffisance de pluie pour boucler les cycles. Les charges variables déclarées dans l'échantillon demeurent toujours faibles par rapport aux référentiels de cultures nationaux mais ces derniers sont établis en conditions sécurisées et sans contrainte de ressources. Cette situation montre que la production dans le bas-fond est une agriculture de subsistance peu concurrentielle.

D'après l'enquête, la parcelle de sésame serait celle qui a dégagé la plus forte marge brute en 2021 avec 82 700 FCFA sur une superficie de 2100 m² (riz et sorgho ayant presque totalement raté cette année là d'après les rendements déclarés).

La pomme de terre et le sésame sont les principales spéculations de rente avec respectivement 95 % et 75 % de vente. Toutes les autres spéculations sont principalement autoconsommées. 20% de la production du sésame serait perdue lors des manipulations post-récolte. 18% de la production du riz est réservée aux dons lors des cérémonies sociales et religieuses.

Tableau 9: Valorisation des productions du bas-fond pour un échantillon de parcelles campagne 2021-2022 (source : Enquête IER/ COSTEA)

indicateurs	Pomme de terre (n=1)	Riz (n=11)	Sésame (n=7)	Sorgho (n= 2)	Tomate (n=1)
Superficie moyenne de la parcelle(m ²)	18	4 100	2 100	5 000	18
Rendement (kg/ha)	16 667	197	735	367	2 777
Production obtenue (kg/parcelle)	30	81	154	184	5
Prix du produit (FCFA/kg)	350	407	557	362	350
Produit brut (FCFA/parcelle)	10 500	32 943	85 726	66 667	1 750
Coûts des semences (FCFA/parcelle)	600	3 722	1 390	834	-
Coûts des engrais (FCFA/parcelle)	-	7 054	-	-	211
Coûts des phytosanitaires (F/parcelle)	-	1 982	1 636	3 000	-
Coûts autres charges (FCFA/parcelle)	-	-	-	2 500	-
Total Charges opérationnelles (FCFA/parcelle)	54	12 758	3 026	6 334	211
Marge brute (FCFA/parcelle)	9 846	20 184	82 700	60 334	1 539

n= nombre d'observations

Systèmes de financement

Dans le village de Doumba, il n'y a pas de caisse d'épargne pour le financement des activités agricoles. Le financement de la production agricole, se fait par fond propre ou par emprunt au niveau des groupements faitiers. L'accès aux crédits par les groupements faitiers est facilité par la présence des structures de micro-finance « *Kafojigenw* » et *CAECE-Jigisèmè* à Koulikoro.

1.6 Conclusion Enjeux clés à considérer pour un aménagement agricole durable du site

Les potentialités, contraintes du site et les enjeux associés ont pu être renseignés à partir des entretiens auprès des acteurs en focus groupes et individuels, complétés par des observations participantes (cheminement sur des transects avec des personnes ressources). Il en ressort les éléments suivants :

- ✓ **Accroître la ressource en eau mobilisable et gérer son partage pour répondre aux besoins des divers usages : riziculture, maraîchage et abreuvement du cheptel**

La disponibilité en eau dans le bas-fond et pour la nappe d'alimentation des puits, constitue indéniablement un facteur critique majeur pour le développement du site. Il s'agit, à la fois, de

sécuriser les cultures en fin de saison des pluies et d'apporter des capacités d'irrigation et d'abreuvement en contresaison, sans trop altérer les écoulements vers l'aval. C'est notamment en période pré-humide que la rétention d'eau aux dépens de l'aval peut être la plus problématique aussi cette contrainte doit être intégrée dans les réflexions sur la gestion des futurs ouvrages (maintien d'une ouverture du barrage pendant la période pré-humide). Le stockage d'eau par une retenue présente un intérêt mais va également engendrer un coût associé à la perte par noyade de certaines productions : des vergers, des fourrages et des bancotières.

✓ **Adapter les pratiques culturelles pour aller vers une intensification durable et compatible avec les moyens de petites productrices**

Les sols du bas-fond sont déficitaires en matière organique. Des alternatives telles que le compostage à grande échelle doivent être enseignées aux populations pour réduire le recours aux engrais minéraux. Eu égard aux moyens limités et à l'étroitesse des parcelles des petites productrices, l'intensification des cultures s'impose sur de petites entités foncières. Pour cela, des variétés améliorées de riz de bas-fond et de cultures maraîchères sont à tester en tenant compte des franges d'eau. La valorisation des productions par la transformation est un autre thème de développement demandé par les femmes.

✓ **Gérer les polluants**

La pratique locale actuelle de gestion des emballages de pesticides qui consiste, soit à les jeter dans les puits abandonnés, soit les brûler, soit les enfouir constitue une source de pollution majeure. Un comité de veille doit être créé pour la gestion des polluants, car les eaux de ruissellement peuvent être polluées et occasionner des maladies surtout chez les enfants lors des baignades.

✓ **Préserver la place des femmes dans le bas-fond et améliorer leurs conditions de production**

Les femmes occupent actuellement une place majeure dans les deux cultures du bas-fond, riz et maraichage, mais leurs performances sont faibles car elles manquent de moyens et de formations. Ces activités leur fournissent l'essentiel de leurs revenus personnels. Des appuis par des formations, des conseils techniques, des dotations d'équipements et des petits crédits de campagne sont particulièrement attendus par les femmes.

✓ **Préserver la bonne cohésion sociale du village** en trouvant un compromis entre reconnaissance des droits fonciers existants et inclusion par une ouverture de l'accès au foncier du bas-fond après aménagement. La plupart des familles de Doumba disposent de parcelles dans le bas-fond et l'accès au foncier n'est pas actuellement l'objet de tension dans ce village. Cependant la submersion totale d'une partie du bas-fond avec l'aménagement, va rendre inculte certaines parcelles et pénaliser leurs propriétaires. Les conditions de réattribution de parcelles doivent donc être anticipées pour prévenir de potentiels litiges fonciers.

✓ **Maîtriser l'érosion**

Pour remédier au ravinement et à l'érosion des terres du bas-fond, l'accent devrait être mis sur la protection des berges avec des espèces supportant l'inondation prolongée telles que *Mimosa pigra* L. (bon indicateur de contrôle de la pollution et de l'érosion), *Mitragyna inermis* (Willd.) Kuntze, *Pterocarpus santalinoides* DC., *Sarcocephalus latifolius* (Smith), *Vitex doniana* Sweet.

Partie 2 : Choix d'aménagement, impacts potentiels et inflexions proposées

2.1 Options d'aménagement et choix retenus par le PARIIS

Les habitants de Doumba attendent de l'aménagement une réserve en eau pendant la saison des pluies et une bonne partie de la saison sèche, l'augmentation des surfaces cultivables, la recharge de la nappe phréatique, l'augmentation de la production agricole à travers une riziculture et du maraichage sécurisés, des plantations d'arbres fruitiers, et enfin une capacité d'abreuvement du cheptel.

La zone de bas-fond ciblée pour l'aménagement correspond au tronçon de près de 3 km situé au Sud et à l'Est du village, entre à l'amont, le pont de la RN27 (à la cote 357 m), et à l'aval, le point à la cote 351 m correspondant à l'emplacement du barrage de l'option 1. Avec une largeur moyenne impactée de 200 m, la zone potentiellement sous influence de l'aménagement serait d'environ 50 ha. Deux options d'aménagement sont à l'étude : (i) option 1 avec un seul micro barrage en béton cyclopéen d'une hauteur de 3,5 m créant une retenue à la cote du Plan d'Eau Normal (PEN), de 14,58 ha pour un volume de 137 700 m³. L'emplacement de ce barrage est proche (à 265 m en aval) du premier ouvrage en gabion réalisé par les villageois (cf Figure 12). (ii) option 2 avec deux micro-barrages, le précédent et un barrage supplémentaire placé 1,4 km en amont du premier, à la cote 354,5 m, d'une hauteur de 2,5 m, permettant un plan d'eau de 14,6 ha et d'une capacité de stockage de 120 600 m³ (cf Figure 13).

L'objectif d'étendre la zone d'influence des retenues d'eau jusqu'aux parcelles maraichères de Sokorala et Doumba pour toucher une surface totale dans les 50 ha ne serait atteint qu'avec cette option 2. Cependant la cote d'inondation au PEN prévue à 357 m causerait la perte de plusieurs habitations, et de vergers. Le choix de l'option finale n'était pas encore décidé en juillet 2022, bien que l'APS ait été approuvée.

En termes d'organisation, la population est associée au Projet à travers à la mise en place d'un comité local de suivi de l'aménagement composé de représentants des divers exploitants et exploitantes du bas-fond et d'un second comité chargé de recueillir les plaintes. Pour la réalisation des ouvrages, le PARIIS confiera l'exécution des travaux à une entreprise et la contribution de la population pourra être la main d'œuvre. La participation aux travaux pourra être une condition pour l'accès aux parcelles aménagées. Il reviendra au comité de suivi d'arrêter la liste des exploitants tributaires de parcelles aménagées à partir de critères à définir ; ces choix d'attribution interviendront après la réalisation de l'aménagement. Pour la phase d'exploitation de l'aménagement, il est également prévu de constituer des comités de gestion des eaux du bas-fond. Deux comités sont annoncés, un comité pour les hommes et un comité pour les femmes mais leur mandat ne sont pas explicités et on ne comprend comment l'eau qui est une ressource commune pourra être gérée par deux comités.

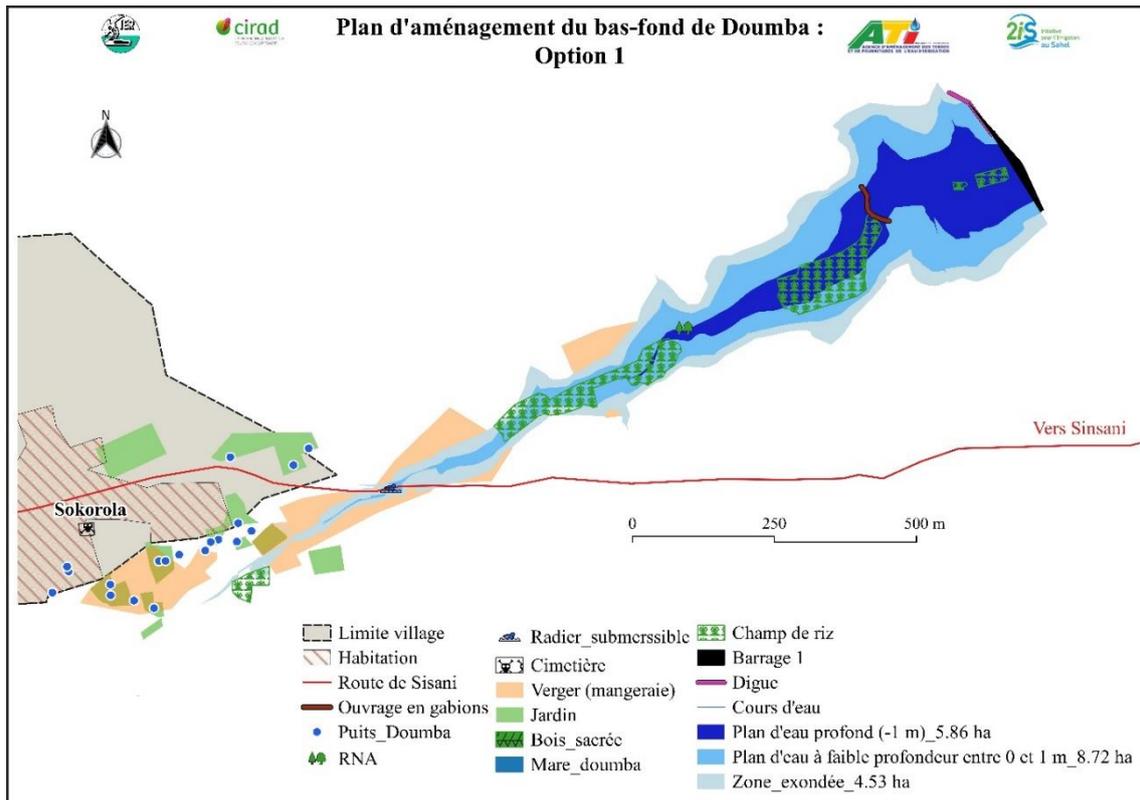


Figure 12: Zone impactée par le micro-barrage 1 de Doumba (carte IER d'après topo APS)

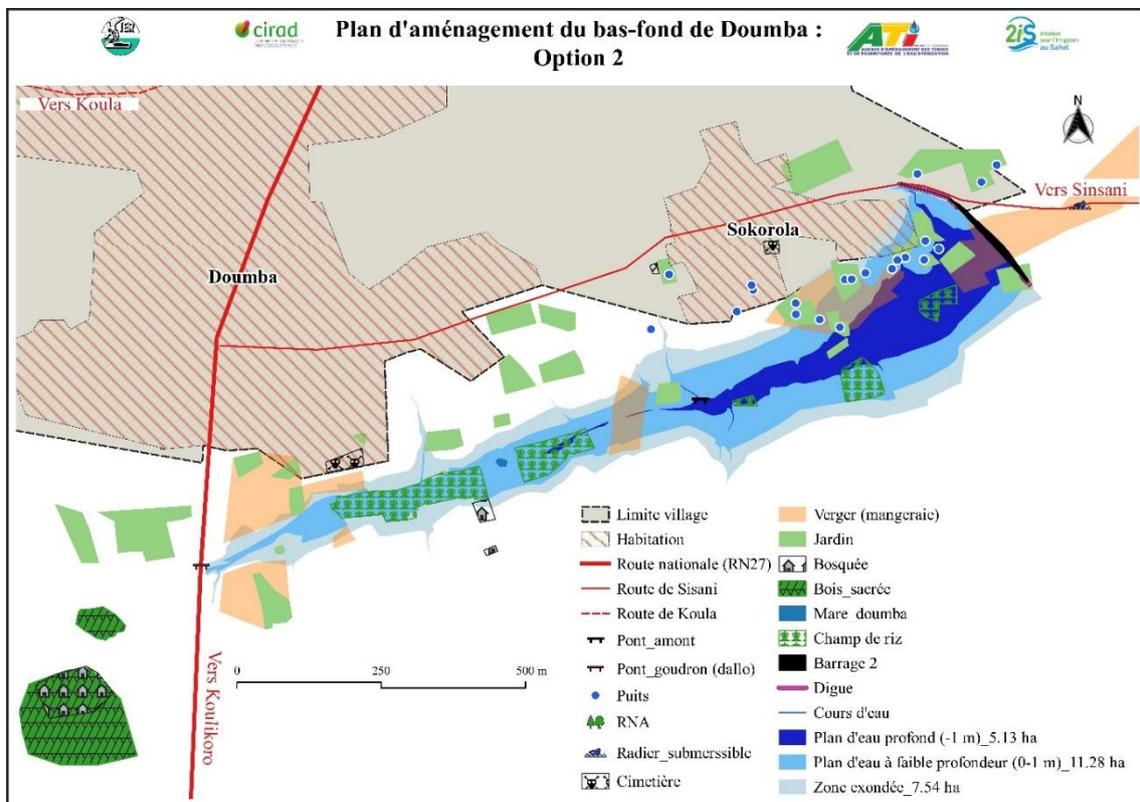


Figure 13: Zone impactée par le micro barrage supplémentaire de l'option d'aménagement 2

2.2 Evaluation des impacts potentiels de l'aménagement

2.2.1 Impacts sur la ressource en eau et les superficies cultivables

La proposition faite par le PARIIS prévoit des superficies agricoles beaucoup plus élevées que celle exploitées actuellement pour la riziculture et le maraîchage (cf tableau 10). La surface en riz serait augmentée d'un facteur x1,6 avec l'option 1 et x3,6 avec l'option 2, et celle de maraichage de contresaison de x1,4 et x2,7 d'après l'APS ; mais ces estimations apparaissent hypothétiques car basées seulement sur la carte d'aptitude des sols sans lien avec la ressource en eau nécessaire pour assurer les besoins. Et les pertes de terres cultivables liées à l'inondation sous grande hauteur d'eau (lame d'eau supérieure à 1 m pour 5,8 ha en option 1 et 11 ha en option 2 – cf figures 12 et 13) ne sont pas prises en compte dans l'APS.

Actuellement la première contrainte limitante de la riziculture et du maraîchage est la disponibilité en eau, aussi l'estimation des surfaces cultivables doit être raisonnée sur la base d'un bilan d'évolution de la ressource en eau mobilisable grâce au stockage des retenues.

Tableau 10: Hypothèses d'évolution des surfaces cultivées (ha) du bas fond de Doumba après aménagement d'après l'APS 2021

		Etat actuel Avant aménagt	Après aménagement Option 1 un barrage aval		Après aménagement Option 2 deux barrages aval+ amont	
			Total	Dont inondé>1 m	Total	Dont inondé>1 m
HIVERNAGE	Riz	12,2	20	5,8	45	11
	Sorgho	13,6	-		-	
	Mais	10	15	-	25	-
	Sésame	6,7	3			
	Maraichage		11		25	
	TOTAL	42,5	49	5,8	95	11
CONTRE SAISON	Maraîchage	11	15	-	30	-
	Manguiers	10	?	?	?	?

L'approche de bilan d'eau des retenues doit permettre de simuler les dynamiques de remplissage et descente des plans d'eau à partir des données pluviométriques et de topographie (courbe Hauteur-Surface-Volume de la retenue fournie par l'APS) et des jeux d'hypothèses de gestion explicites et discutables avec les parties prenantes notamment sur les règles de fermeture des vannes du barrage, les objectifs de surface irriguées, les calages des cycles du riz et du maraichage. Ainsi les conditions d'un équilibre entre la ressource et les usages (surfaces irriguées, abreuvement, pêche) peuvent être identifiées.

Pour le maraichage et l'arboriculture, on s'intéresse à la durée d'extension possible de la saison d'irrigation compte tenu de la descente du plan d'eau, des hypothèses de recharge de la nappe, des arbitrages entre pompage sur la retenue ou sur les puits.

Pour le riz, il s'agit d'estimer les lames d'eau disponibles et le potentiel de surface cultivable dans les différentes franges du bas-fond, et de voir les implications sur les choix variétaux (longueur de cycle, hauteur des tiges) et les dates de semis selon la position dans la topographie. La retenue peut ainsi permettre un semis précoce du riz si les pertuis sont fermés en début de saison et rouverts dès le déversement achevé afin de réduire rapidement la submersion des jeunes plants de riz. Pour cela une organisation rigoureuse s'impose au risque que les pertuis se dégradent rapidement ou que le riz soit submergé avant la montaison. A des périodes hydrologiques critiques (en cas de sécheresse), surtout au début et à la fin des saisons, on peut fermer les pertuis pour maintenir une éventuelle crue dans le bas-fond.

2.2.2 Analyse de la dynamique Ressource – Usages d'une retenue d'eau, application au barrage de l'option 1 d'aménagement

a) Capacité de stockage de la retenue

- Conditions initiales

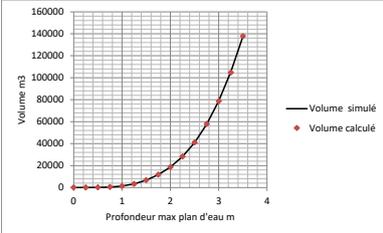
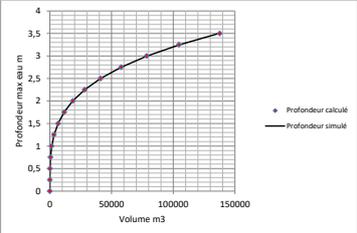
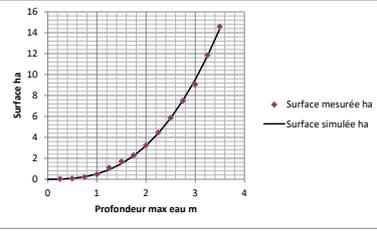
Les caractéristiques de la retenue utiles pour déterminer ses conditions d'exploitation sont les données de la courbe hauteur -surface-volume fournie par l'APS, dans le tableau 11 ci-dessous.

Tableau 11: Caractéristiques de la retenue d'eau du micro-barrage de Doumba (source :APS)

COURBE HAUTEUR-VOLUME-SURFACE SUR L'AXE N°01						
Côtes (m)	Volume (m3)	Surface en ha	Cotes (m)	Volume (m3)	Surface en ha	
350,75	-	-	353,5	57 823	7,51	
351	31	0,03	353,75	78 532	9,06	
351,25	136	0,06	354	104 668	11,85	
351,5	478	0,21	354,25	137 702	14,58	Cote déversoir
351,75	1 328	0,47	354,5	177 727	17,44	
352	3 283	1,10	354,75	223 421	19,11	
352,25	6 768	1,69	355	277 713	24,32	
352,5	11 724	2,28	355,25	344 085	28,77	
352,75	18 617	3,24				
353	28 226	4,45				
353,25	41 111	5,86				

Afin de faciliter l'établissement de la courbe d'exploitation de la retenue, il est proposé d'ajuster des fonctions permettant d'estimer le volume d'eau et la surface de la retenue en fonction de la cote du plan d'eau (ou profondeur maximum).

Tableau 12: Courbes d'exploitation de la retenue d'eau de l'option 1 du micro-barrage de Doumba

Courbe hauteur Volume			Courbe Volume Hauteur		Courbe Hauteur Surface	
						
Ajustement fonctions polynomiales			Ajustement fonction puissance		Ajustement fonction puissance	
$V = a_3 H^3 + a_2 H^2 + a_1 H$			$H = a V^\alpha$		$V = b V^\beta$	
H ≤ 2m	a_3	3632,07014	A	0,12844718	B	0,50059606
	a_2	-2971,29673	A	0,27944026	B	2,68046519
	a_1	743,986101				
H > 2m	a_3	6101,39176				
	a_2	13693,0667				
	a_1	12426,6235				

- Durabilité des caractéristiques de la retenue compte tenu de la dynamique d'envasement

Le volume des apports annuels moyens de sédiments (E) a été évalué dans l'APS en utilisant la formule de *Collet*. La comparaison des résultats avec ceux obtenus en appliquant les formules empiriques couramment utilisées dans la région (formules de *Gottschalk* et *Gresillon* CIEH-EIER) est donnée dans le tableau 13 ci-dessous. Ces formules conduisent à une estimation de la durée théorique de remplissage par les sédiments de 2,7 à 3,5 fois inférieure à celle obtenue par la formule de *Collet* (140 ans) ; 40 ans pour *Gottschalk* et 50 ans pour *Grésillon* CIEH-EIER.

Le volume stocké correspondant à la cote du plan d'eau normal ne représentant que 6% de l'apport moyen annuel, une forte proportion des apports des crues va déverser en aval. Une grande partie des sédiments en suspension va être évacuée d'autant plus que l'effet d'écêtement sera faible du fait de la surface réduite de la retenue. Il y a donc tout lieu de penser que même si 140 ans paraissent une durée théorique de remplissage surestimée, la durée de 45 ans (moyenne des durées estimées par les formules de *Gottschalk* et *Grésillon* CIEH-EIER) est sous-estimée mais compatible avec une durée de vie des ouvrages de 30 ans.

Tableau 13: Comparatif des estimations du volume moyen d'envasement annuel de la retenue d'eau de Doumba

Paramètres	Formule Collet	Formule Gottschalk	Formule CIEH-EIER
	$E = 623 Q I$	$D = 260 S^{-0.1}$ $E = D S$	$D = 700 (P/500)^{-2.2} S^{-0.1}$ $E = D S$
Q : débit moyen naturel	1,12 m ³ /s		
I : pente moyenne du cours d'eau	1,68%		
S : surface du bassin versant	17,86 Km ²		
P : pluie moy annuelle	882 mm		
D : dégradation spécifique		194,8 m ³ /an	150,5 m ³ /an
E : volume moyen envasement annuel	982 m ³ /an.	3481 m ³ /an.	2648m ³ /an.

b) Estimation des apports

- Estimation du coefficient de ruissellement de la pluviométrie annuelle moyenne

Dans l'étude d'APS les apports annuels sont estimés en soustrayant de la pluviométrie annuelle P, le déficit d'écoulement D dû à l'évapotranspiration des couverts sur le bassin versant. Ces résultats ont été obtenus par les méthodes de *Coutagne* et *Turc* (détail de la méthode en Annexe), ils sont comparés de sorte à retenir le coefficient d'écoulement $K_e = (P-D) / P$ le plus faible par mesure de sécurité, soit ici 0,18 (cf Tableau 14).

La différence entre pluviométrie annuelle moyenne et déficit d'écoulement est en fait la somme de la lame ruisselée et infiltrée. D'autres méthodes plus pertinentes prennent en compte cette lame d'eau ruisselée annuelle et considèrent un coefficient de ruissellement K_r . C'est le cas d'une autre formule de *Coutagne* qui introduit la surface du bassin versant S. La lame ruisselée ramenée à la pluviométrie moyenne correspond à un coefficient de ruissellement de 16% soit environ 2% de moins que celui estimé par l'étude APS.

Tableau 14: Coefficients de ruissellement/écoulement par les méthodes de *Coutagne* et *Turc* pour le bassin versant de Doumba

Méthode	<i>Coutagne</i> APS	<i>Turc</i> APS	<i>Coutagne bis</i> Expertise COSTEA	<i>Dubreuil</i> <i>Vuillaume</i>
Pluie annuelle moy P	882 mm			
Lame écoulée E	159 mm	194 mm		
Lame ruisselée R			139 mm	248 mm
Coef d'écoulement K_e	0,18	0,22		
Coef de ruissellemt K_r			0,16	0,28
	Résultats APS surestimés		Référence retenue	Très surestimé

La méthode Rodier qui pourrait permettre de conforter ce résultat est d'une utilisation difficile dans la zone d'étude faute de bassins versants de référence.

La méthode Dubreuil Vuillaume généralement considérée comme utilisable dans la zone sahélienne conduit à une nette surestimation ($K_{r\ moy}= 28\%$) dans cette zone plus humide.

- Estimation du volume des apports

Les estimations des coefficients moyens d'écoulement et de ruissellement étant cohérents, on prendra le coefficient moyen de ruissellement 16% pour estimer le volume des apports annuels.

Tableau 15: Estimation du volume des apports d'eau annuels à la retenue (expertise COSTEA)

Surface bassin versant Km ²	Pluie annuelle considérée mm		Coefficient ruissellement	Volume apports annuels m ³
17,86	Pluie moyenne	884	16 %	2 526 690
	Pluie quinquennale faible	765	11 %	1 529 845
	Pluie décennale faible	702	8 %	1 003 446

c) Estimation des pertes

- Les pertes par infiltration

Les pertes par infiltration dépendent de la nature du sol de la cuvette. L'infiltration d'une retenue est variable dans le temps. En effet l'infiltration dans une retenue diminue avec le temps avec l'apport et le colmatage des éléments fins. Les mesures faites sur les bassins versants en Afrique sub-saharienne par l'ORSTOM donnent des valeurs comprises entre 1 et 2 mm/j ; soit une moyenne mensuelle d'infiltration de 0,046 m/mois » (sic APS).

- Les pertes par évaporation du plan d'eau

Les pertes dues à l'évaporation du plan d'eau sont estimées comme dans l'APS en utilisant la formule proposée par Pouyaud ORSTOM. L'évaporation journalière Ej_{ret} (mm/j) est estimée à partir de l'évaporation Bac Classe A Ej_A mm/j (idem APS) par la relation $Ej_{ret} = 1,664 Ej_A^{0,602}$

Cette relation permet de calculer un coefficient de pondération de l'évaporation Bac classe A décadaire $Edec_A$ (m/j) permettant d'estimer les pertes par évaporation décadaire $Edec_{ret}$ (m/j).

$$\frac{Edec_{ret}}{Edec_A} = 1,664 (100 Edec_A)^{-0.398}$$

d) Estimation des besoins en eau

Les besoins en eau (idem APS) comprennent ceux du riz, maraîchage et arboriculture en saison sèche ainsi que l'abreuvement des animaux.

- Estimation des besoins en eau d'irrigation des cultures

Tableau 16: Calendrier cultural

Mois	JANV	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
Riz pluvial												
Riz inondé												
Maraichage												

Riz inondé

En début de cycle lors de l'implantation du riz, les besoins sont satisfaits par la pluie. Lorsque son développement permet son inondation, l'évapotranspiration de la culture est proche de l'évaporation d'une nappe d'eau libre. Leurs besoins sont donc satisfaits lorsqu'on considère les pertes par évaporation correspondant aux surfaces rizicoles. C'est de ce fait une gestion adéquate du plan d'eau et du calendrier cultural qui permettra de satisfaire leurs besoins.

Maraichage

Les besoins en eau ont été estimés en moyenne à 70 m³/j/ha (idem APS) en saison sèche froide et 80 m³/j/ha en saison sèche chaude. Il est pris pour hypothèse que les eaux de la retenue seront utilisées pour l'irrigation des cultures maraichères de saison sèche chaude (4 ha) lorsque le pompage dans les puits devient difficile (1^{ère} décade Février – 3^{ème} décade Avril).

- Estimation des besoins en eau du Cheptel (Idem APS)

Le Cheptel du village est estimé 1 530 UBT. Pour une consommation spécifique de 40 l/j/UBT, la consommation journalière de l'ensemble du cheptel est de 61,2 m³/jour.

La répartition saisonnière de cette consommation est la suivante :

- Octobre – Novembre : 25% de prélèvement au barrage soit 15,3 m³/j ;
- Décembre – Mai : 100% de prélèvement au barrage avec l'absence d'autres sources d'abreuvement, soit 61 m³/j.

e) Courbe d'exploitation de la retenue

- Méthode d'établissement de la courbe

La courbe d'exploitation est établie à partir du 1^{er} Octobre, date à laquelle on considère : (i) que le réservoir est plein, la cote de l'eau correspond à celle du déversoir et (ii) qu'il n'y a pratiquement plus d'apports après fin Septembre compte tenu de la pluviométrie. Le rapport de la capacité du barrage au volume des apports pour une pluviométrie moyenne, et quinquennale faible de 5,44% et 8,98 % conforte cette hypothèse.

La courbe d'exploitation est établie au pas de temps décadaire par itération sur la base d'un bilan d'eau prenant en compte les prélèvements (abreuvement, irrigation) et les pertes (infiltration, évaporation).

Le bilan d'eau décadaire comprend 4 étapes :

- i) soustraction des besoins exprimés en m^3 (Abreuvement $ABV(i)$, irrigation $IRR(i)$ au volume stocké en début de la décade $V(i)$ égal au volume stocké en fin de décade $V(i-1)$;
- ii) On détermine la hauteur maximum de l'eau stocké dans la retenue $H_{int}(i)$ correspondant au volume initial $V(i)$ soustrait des besoins ($ABV(i)+IRR(i)$) en utilisant l'équation de la relation volume – hauteur ;
- iii) On détermine $H(i)$, hauteur maximum de l'eau stockée dans la retenue en fin de décade i , par soustraction de $H_{int}(i)$ des lames évaporées et infiltrées ;
- iv) On détermine le volume stocké en fin de décade $V(i)$ correspondant à $H(i)$, hauteur maximum de l'eau stocké dans la retenue en utilisant l'équation de la relation hauteur – Volume.

Pour la retenue d'eau du micro-barrage 1 de Doumba dans la configuration donnée par l'APS, la courbe d'exploitation est la suivante (Figure 14).

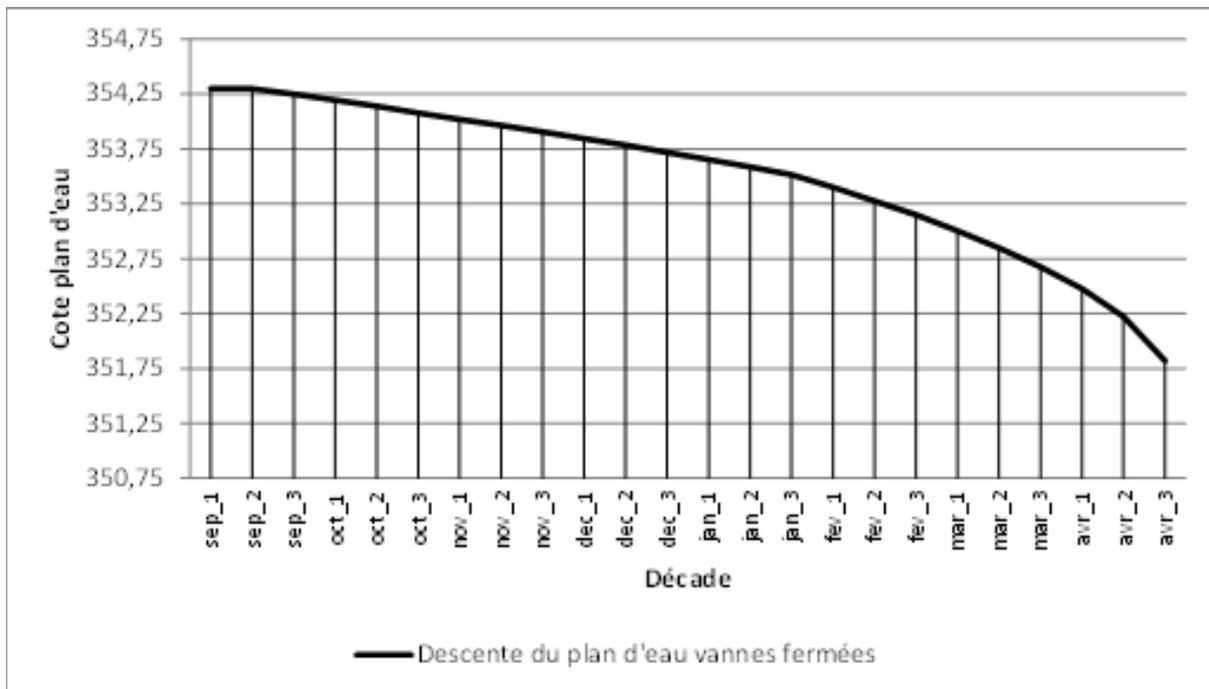


Figure 14: Courbe d'exploitation de la retenue d'eau du micro-barrage 1 de Doumba, établie sur la base des bilans d'eau décadaires

Elle prend en compte un volume d'eau résiduel fin Avril de $1860 m^3$ permettant des activités piscicoles.

- Estimation de la part des divers usages de l'eau et pertes en % du volume initial stocké

L'estimation de la part des différents usages de l'eau et pertes en fonction du volume initial stocké a été établie sur la base des bilans d'eau décadaires.

Elle met en évidence que le total des pertes représente de l'ordre de 71% du volume initial stocké comme illustré par la figure 15 ci-dessous.

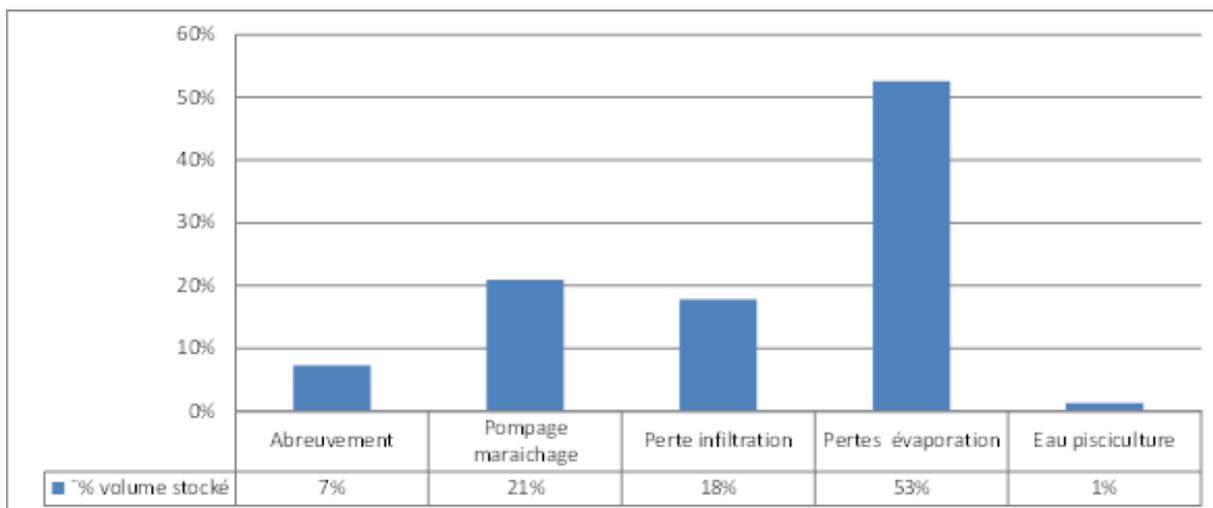


Figure 15: Usages de l'eau de la retenue et pertes en % du volume d'eau initial stocké

- Surfaces de la retenue pouvant être utilisées pour le maraichage

Les surfaces de la retenue utilisables pour le maraichage sont déduites de la courbe d'exploitation en transformant les volumes stockés en surfaces inondées (courbe hauteur-surface). Ces surfaces sont estimées à partir de celles dont l'eau s'est retirée en fonction du temps qui pourront être utilisées pour les cultures maraichères 1 mois après le retrait des eaux (récolte du riz, ressuyage, préparation du sol) figure 16.

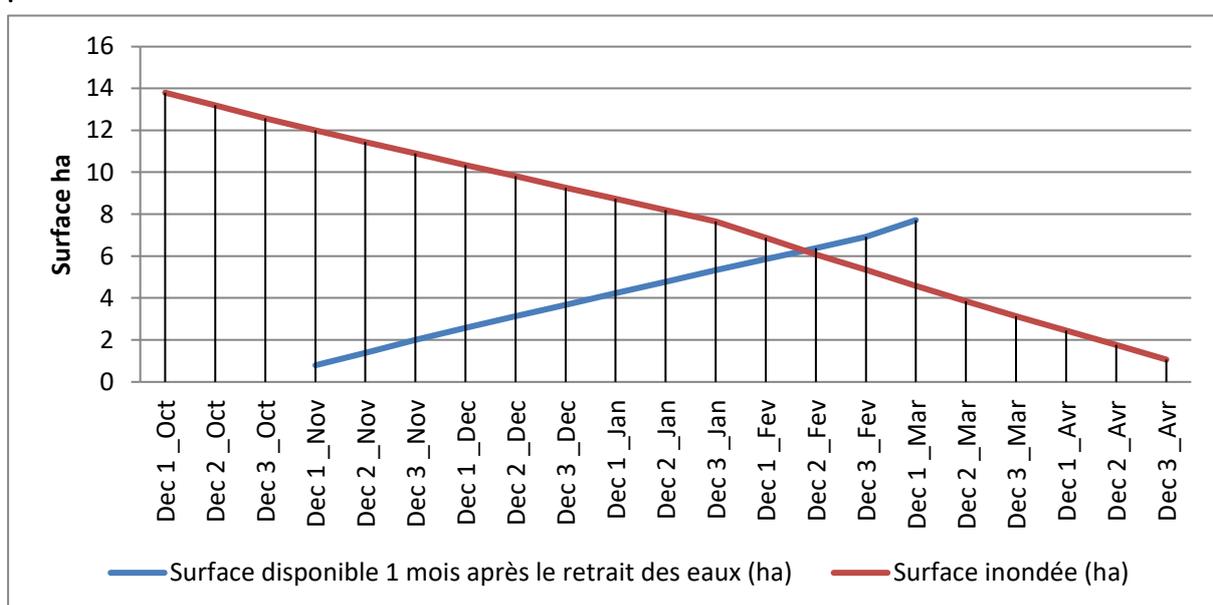


Figure 16: Evolution des superficies inondées et exondées, 1 mois après le retrait des eaux

Pour une date limite de mise en culture la première décade de Mars, des **cultures maraichères** peuvent couvrir **7,75 ha** de la surface inondée à la cote normale (324,25 m). Il y a tout lieu de penser qu'en début de saison sèche la dynamique de descente de la nappe sera significativement impactée par la retenue dans la frange située à moins de 0,5 m au-dessus de la cote normale du réservoir. Ces conditions permettront de sécuriser l'irrigation de **cultures de contre saison sèche froide sur 4,53 ha**.

f) Gestion de la montée du plan d'eau /riziculture

- Estimation des surfaces de riz dont l'alimentation en eau profite de la retenue

La démarche d'estimation comporte 4 étapes :

i) Choix des types de riziculture :

- Riz inondé avec une lame d'eau d'inondation supérieure à 0,4 m et inférieure à 0,7 m considérée comme une hauteur d'eau maximale pour un riz à bonne productivité et récolté hors d'eau;
- Riz inondé avec une bonne maîtrise de l'eau, lame d'eau inférieure à 0,4 m et supérieure à 0,1 m ;
- Riz pluvial assisté dans la zone où la nappe sub-affleure et avec une lame d'eau d'inondation en période de crues.
- Riz pluvial de nappe dans la zone de bas de versant où la profondeur maximum de la cote du plan d'eau par rapport au TN inférieure à 0,5 m, conduit à une remontée de la nappe de versant au-dessus de cette cote.

ii) Définir à partir de la courbe d'exploitation, les franges correspondant aux différents types de conduite de la culture (riz) et les surfaces correspondantes.

iii) Pour chaque frange définie, identifier la durée de cycle de culture permettant un semis sous pluie et une récolte sans avoir recours à une vidange partielle de la retenue.

iv) Définir la gestion de la montée du plan d'eau de sorte à accompagner le développement du riz.

Les résultats de l'application de la démarche à la retenue de Doumba sont illustrés par le tableau 17 d'analyse ci-dessous.

Tableau 17: Gestion de la lame d'eau à la parcelle en fonction des types de riziculture et des franges identifiées

Décade	Cote max eau retenue	Observation	Frange basse				Frange moyenne				Frange haute 1				Frange haute 2							
			Riz cycle long immersion forte								Riz repiqué				Riz pluvial assisté				Riz pluvial de nappe			
			Lame d'eau		max	0,6	Lame d'eau		max	0,3	Lame d'eau		max	0,1	Lame d'eau		max	0				
			min	0,3	min	0,1	min	0	min	0	min	0	min	0	min	0						
Cote min	353,65	cote max	353,95 m	Cote min	353,95	cote max	354,15 m	Riz pluvial assisté	cote moy TN	354,25 m	Riz pluvial de nappe	cote moy TN	354,55 m									
Surface	2,62 ha	Durée cycle	170 j	Surface	2,00 ha	Durée cycle	130 j	Surface	2,20 ha	Durée cycle	110 j	Surface	3,60 ha	Durée cycle	110 j							
DAS	h eau	cote eau	Phase	DAS	h eau	cote eau	Phase	DAS	P plan eau	cote plan eau	Phase	DAS	P nappe	cote plan eau	Phase							
juin_2	353,80																					
juin_3	353,80																					
juil_1	353,80																					
juil_2	353,80																					
juil_3	353,95																					
août_1	354,10																					
août_2	354,15																					
août_3	354,25																					
sep_1	354,25																					
sep_2	354,25																					
sep_3	354,25																					
oct_1	354,20																					
oct_2	354,14																					
oct_3	354,08																					
nov_1	354,02																					
nov_2	353,96																					
nov_3	353,91																					
dec_1	353,85																					
dec_2	353,78																					
dec_3	353,72																					

La synthèse des résultats montrent qu'il est possible de sécuriser l'alimentation en eau de **10,42 ha de riz** dans et autour de la retenue (Tableau 18).

Tableau 18: Caractéristiques des franges, du calendrier cultural des types de riziculture et des apports d'eau à Doumba

Franges		Frange basse	Frange moyenne	Frange haute 1	Frange haute 2
Type riziculture		Riz cycle long immersion forte	Riz repiqué	Riz pluvial assisté	Riz pluvial de nappe
Limites de la frange	cote max	353,95 m	354,15 m	354,35 m	354,75 m
	cote min	353,65 m	353,85 m	354,15 m	354,35 m
	cote moy	353,80 m	354,00 m	354,25 m	354,55 m
Surface		2,62 ha	2,00 ha	2,20 ha	3,60 ha
Cote lame d'eau	Min	0,30 m	0,10 m	0,10 m	0,00 m
	max	0,60 m	0,30 m	0,00 m	0,00 m
	moy	0,45 m	0,20 m	0,05 m	0,00 m
Durée de cycle		180 j	130 j	110 j	110 j
Décade semis		juin_3	juil_2	juil_1	juin_3
Décade repiquage			aout_1		
Décade maturité		déc_1	nov_1	oct_2	oct_1
Décade récolte		déc_2	nov_2	oct_3	oct_2

- Règles de remplissage de la retenue induite par la riziculture

Les règles de remplissage sont définies de sorte à :

- éviter l'inondation de la frange basse avant la fin de tallage du riz (cote < 353,8 m) avant la 3^e décade de juillet ;
- avoir le maximum d'eau stockée à partir du mois d'août ;
- permettre le repiquage (niveau de l'eau < 0,10 m) et une montée progressive compatible avec la vitesse d'élongation du riz (cf tableaux d'analyse) de sorte à atteindre la cote normale fin aout.

Ces règles sont synthétisées dans la figure 17 ci-dessous.

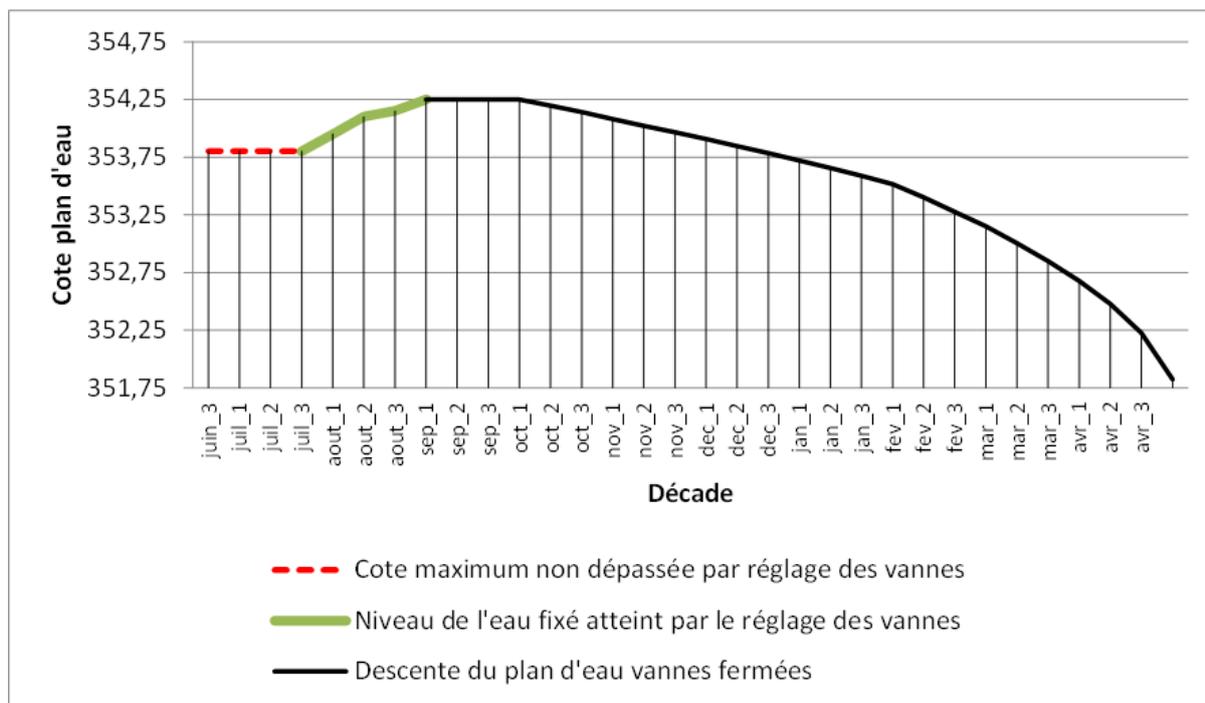


Figure 17: Gestion de la retenue d'eau du micro-barrage de Doumba pour répondre aux contraintes des trois modes de riziculture

Les cotes cibles devraient être facilement atteintes compte tenu de la surface du bassin versant.

- A la fin de la 3ème décade de Juillet, un volume stocké de 83 635 m³ correspond à la cote 353,80 m. Ce volume ramené à la surface du bassin versant (17,56 Km²) correspond à une lame ruisselée de 4,7 mm. Le rapport de cette lame à la pluviométrie du 20 Juin à fin Juillet dépassée 9 années sur 10 (190 mm) est de 2,4%, valeur très inférieure au coefficient de ruissellement annuel de fréquence décennale faible évalué à 8%.
- L'augmentation du volume prévu au cours du mois d'Août est de 54 090 m³ ce qui équivaut à une lame ruisselée de 3 mm. Le rapport de cette lame à la pluviométrie d'Août dépassée 9 années sur 10 (156 mm) est de 1,9 %, valeur très inférieure au coefficient de ruissellement annuel de fréquence décennale faible (8%).

2.3 Inflexions proposées au projet

- **Spécification des surfaces exploitables selon le type de culture et les contraintes hydriques, à partir du bilan d'eau de la retenue (option 1 d'aménagement)**

Le bilan d'eau de la retenue fournit une estimation plus précise des surfaces cultivables en riz et en maraichage et des contraintes hydriques à prendre en compte pour le mode de culture du riz. Le modèle et les données de simulation de la retenue, élaborés par l'expertise COSTEA peuvent être mobilisés à plusieurs fins.

D'une part pour l'appui conseil aux producteurs sur les options de gestion combinée des cultures et du barrage. Notamment pour le riz, proposer des choix de variétés et des modes de conduite adaptés aux hauteurs d'inondation (semis, repiquage avec dates seuils).

D'autre part pour le dimensionnement des surfaces exploitables selon leur aptitude hydrique, et pas seulement pédologique. Une délimitation précise de la zone impactée par l'aménagement est nécessaire pour établir un parcellaire post aménagement adapté et assurer un accès aussi équitable que possible au bas-fond.

Tableau 19 : Estimation des surfaces cultivables après option 1 d'aménagement Doumba

	Etude APS	Expertise COSTEA
Riz sous très forte submersion h lame d'eau > 0,6 m	8 ha	0 Inapte récolte hors d'eau pas faisable avant février
Riz inondé 0,6m < h < 0 m	6,8 ha	6,8 ha
Riz pluvial assisté par remontée de nappe	3,6 ha	3,6 ha
Riz pluvial strict non sécurisé	1,6 ha	0 Risque de sécheresse élevé
TOTAL RIZ	20 ha	10,4 ha
Maraichage en zone haute sur puits sécurisable par remontée nappe	11 ha	4,5 ha
Maraichage en zone basse post inondation	4 ha	7,7 ha
TOTAL MARAICHAGE	15 ha	12,2 ha

La zone exploitable sous l'influence du barrage a été surestimée dans l'étude APS, surtout pour la riziculture où une grande partie de la zone inondée ne sera pas apte aux cultures car en l'absence de vidange de la retenue (vraisemblable pour conserver l'eau pour le maraichage prioritaire et pour l'abreuvement voire la pisciculture), les terres ne seront exondées qu'en février, date trop tardive pour une récolte. Cette nouvelle estimation des surfaces doit être prise en compte pour la réflexion à venir sur la réorganisation du parcellaire post aménagement. Une surestimation des surfaces fait courir le risque social d'une répartition inéquitable des parcelles et d'une déception des attributaires face aux promesses du projet.

- **Aménagement d'une aire d'abreuvement dans la retenue**

L'abreuvement du cheptel est un objectif d'usage important pour la population. Or la divagation des animaux sur les berges avec un accès libre à l'eau va accélérer l'érosion et la sédimentation de la retenue. L'aménagement de passages et d'une aire d'abreuvement n'est pas mentionné dans l'APS, c'est une lacune qui doit être prise en compte pour une durabilité de l'aménagement.

- **Végétalisation des bordures des retenues**

La dégradation des terres du bas-fond avec l'érosion est soulignée par les usagers comme un problème majeur à traiter, mais négligé dans l'APS. La maîtrise de l'érosion aurait motivé l'initiative locale d'installer un premier seuil en gabion. La végétalisation et les plantations d'arbres pourraient également être une compensation de la perte de boisement dans la zone du Plan d'eau créé par le barrage.

On dispose de plusieurs espèces à introduire qui supportent bien l'inondation des bas-fonds en raison de leur enracinement profond. Nous proposons pour la végétalisation des berges une association herbacée + ligneux. Au moment de la végétalisation, l'herbacée est à semer en premier lieu pour couvrir le sol puis suivra la plantation des ligneux. Les espèces particulièrement recommandées sont *Vetivera nigriflora* (terres inondées), *Anogeissus leiocarpa* (sols avec une forte proportion d'argile et un taux élevé d'hydromorphie) et *Mitragyna inermis* (Bas-fonds inondés, long des rives des rivières et des mares, sols lourds, argileux et mal drainés). Le Service forestier de la localité ou les pépinières privées peuvent être mises à contribution pour la production des plants. A défaut, des sessions de renforcement des capacités des passionnés de la nature en techniques de production des plants pourraient être organisées par le PARIIS en partenariat avec l'IER qui dispose d'une grande expertise forestière.

Bibliographie

PARIIS, nd, Etudes techniques d'aménagement du bas-fond de Doumba – Rapport APS Provisoire. BIRAD 90 p.

Non signé, nd, Rapport agro-socio-économique et rentabilité, site de Doumba, 50 p.

PARIIS, 2021, Analyse environnementale de l'aménagement et établissement du PGES du bas-fond de Doumba. Rapport de consultation Traoré A. juin 2021 35 p.

Annexe Méthodes complémentaires *Coutagne* et *Dubreuil-Vuillaume* pour l'estimation du ruissellement et des apports annuels

L'étude APS de Doumba a utilisé les méthodes de *Coutagne* et *Turc* pour estimer un coefficient d'écoulement K_e basé sur la différence entre pluviométrie annuelle P et déficit d'écoulement D dû à l'évapotranspiration des couverts sur le bassin versant. $K_e = (P - D)/P$

Méthode de COUTAGNE	Méthode de TURC
$D = P - \lambda P^2$ avec $\lambda = 1 / (0,8 + 0,14T)$ On vérifie que $1 / (8\lambda) < P < 1 / (2\lambda)$	$D = P / (0,9 + P^2/L^2)^{1/2}$ avec $L = 300 + 25T + 0,05T^3$
Avec $P =$ Pluviométrie moyenne annuelle m 0,882 m $D =$ déficit d'écoulement moyen m $T =$ Température moyenne annuelle °C 28,50°C	$P =$ Pluviométrie moyenne annuelle 882 mm $D =$ déficit d'écoulement moyen mm $T =$ Température moyenne annuelle °C 28,50°C
Résultats APS Doumba	
$K_e = 0,18$	$K_e = 0,22$

La différence entre pluviométrie annuelle moyenne et déficit d'écoulement est en fait la somme de la lame ruisselée et infiltrée.

$$P_{moy} - D_{moy} = R_{moy} + I_{moy}$$

Cette lame d'eau ruisselée peut être évaluée par une autre formule de *Coutagne* qui introduit la surface du bassin versant S (Km²)

$$R_{moy} = (0,164 - 0,00145 \sqrt{S}) \cdot P_{moy}$$

$$R_{moy} = (0,164 - 0,00145 \sqrt{17,86}) \cdot 882 = 139,3 \text{ mm}$$

Cette lame ruisselée ramenée à la pluviométrie moyenne correspond à un coefficient de **ruissellement de 16%** soit environ 2% de moins que celui estimé par l'étude APS.

Une autre méthode utilisée dans la zone sahélienne est celle de *Dubreuil Vuillaume*

La lame ruisselée pour une pluviométrie annuelle moyenne y est estimée par la relation :

$$R_{moy} = 0,47 P_r + 0,33 \log(S) + 0,55 D_s + A$$

avec :

A Terme d'aptitude au ruissellement (-85 mm bassin versant lit mineur net et sols ferrugineux tropicaux)

S Surface du bassin versant (17.86 Km²)

D_s Dénivelé spécifique (33 m)

n numéro du mois

P_{mens}^n moyenne interannuelle de la pluviométrie du mois i

ETB_{mens}^n lame évaporée par bac au cours du mois i

ETB cumul annuel évaporation bac

P_r part de la pluie disponible pour alimenter le ruissellement calculée par l'équation :

$$P_r = \sum_{n=1}^{12} \alpha^n (P_{mens}^n - \frac{ETB}{36})$$

$$\alpha^n = 1 \text{ si } P_{mens}^n > ETB_{mens}^n$$

$$\alpha^n = 0 \text{ si } P_{mens}^n \leq ETB_{mens}^n$$

$$R_{moy} = 0,47 \cdot (546,2) + 0,33 \log(17,86) + 0,55 \cdot (33) - 85 = 248,5 \text{ mm}$$

$$K_r \text{ moy} = R_{moy} / P_{moy} = 0,28$$

N° mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
P_{mens}^n mm	0,8	0,6	2,5	8,7	57,6	136,4	211,8	261,6	150,5	32,2	1,1	0,0	863,9
ETB_{mens}^n mm	150,2	157,8	199,4	210,0	214,0	169,2	147,8	137,1	138,0	154,3	143,6	135,4	1957
$ETB/36$	54,3	54,3	54,3	54,3	54,3	54,3	54,3	54,3	54,3	54,3	54,3	54,3	
α^n					1	1	1	1	1				
P_r^n mm					3,3	82,1	157,5	207,2	96,2				546,2

L'application de cette méthode permet d'estimer à **28%** le coefficient de ruissellement annuel (K_r an). Ce coefficient apparait nettement surestimé, on peut penser que la zone de Doumba présente des conditions trop humides sur cette période pour appliquer la méthode *Dubreuil Vuillaume*.