



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 Senou - Mali

Novembre 2022

Comité Scientifique et Technique Eau Agricole



Table des matières

Partie 1. Etat des lieux avant aménagement	5
1.1 Organisation spatiale et éléments de contexte	5
1.1.1 Contexte micro-régional (échelle communale)	5
1.1.2 Contexte local (terroir villageois et zone bas-fond à aménager).....	6
1.2 Hydrologie, risques agro-climatiques, aménagements, gestion de l'eau	9
1.2.1 Analyse agro-climatique.....	9
1.2.2 Ecoulements et crues	17
1.2.3 Aménagements préexistants et contraintes hydriques limitant la mise en valeur du bas fond.....	20
1.3 Diagnostic agri-environnemental	20
1.3.1 Les ressources agricoles et leurs usages	20
1.3.1.1 <i>Usages des terres du bas-fond</i>	20
1.3.2 Les systèmes de culture : calendrier, pratiques par saison, aptitude à l'intensification.....	24
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 des experts	28
1.5 Diagnostic Socio économique.....	29
1.5.1 Historique de la mise en valeur et du projet d'aménagement.....	29
1.5.2 Aspects fonciers	30
1.5.3 Organisation des usagers du bas-fond.....	30
1.5.4 Moyens d'existence et place des catégories vulnérables.....	31
1.5.5 Valorisation des productions, chaînes de valeurs locales et potentiels de débouchés après aménagement.....	32
1.6 Conclusion_ Enjeux clés à considérer pour un aménagement agricole du site	33
Partie 2 Choix d'aménagement, impacts potentiels et inflexions proposées	34
2.1 Option d'aménagement retenue.....	34
2.1.1 Choix du site	34
2.1.2 Caractéristiques de la retenue	36
2.1.3 Remplissage de la retenue en année sèche.....	37
2.1.4 Durabilité des caractéristiques de la retenue compte tenu de la dynamique d'envasement.....	37
2.2 Attentes des usagers du bas-fond	38

2.3	Impact de l'aménagement sur la mise en valeur du bas fond prévu par l'APD	38
2.4	Courbe d'exploitation de la retenue	39
2.4.1	Ressources en eau au 1 ^{er} Octobre.....	39
2.4.2	Estimation des pertes diminuant les disponibilités en eau	39
2.4.3	Estimation des besoins en eau	40
2.4.4	Etablissement de la courbe d'exploitation de la retenue	41
2.4.5	Gestion de la montée du plan d'eau /riziculture	43
2.5	Inflexions proposées au projet	45
	Bibliographie.....	47

Liste des tableaux

Tableau 1	Caractéristiques régionales et orientations agro-sylvo pastorales source: APD, EIES	5
Tableau 2	Caractéristiques locales du bas-fond de Sénou (source: APD, EIES)	7
Tableau 3	Détermination des décades favorables au semis du riz	14
Tableau 4	Caractéristiques du bassin versant (ref APD)	18
Tableau 5	Estimation des crues décennales calculées avec $P_{j10} = 96$ mm et P_{moy} annuelle =976 mm.....	18
Tableau 6	Variation des coefficients d'écoulements et apports moyens annuels pour une pluviométrie de 1040 mm et 976 mm	19
Tableau 7	Estimation du volume des apports d'eau annuels à la retenue (expertise COSTEA)	20
Tableau 8	Occupation des terres dans le bas-fond de Sénou campagne 2021 (Source : APD/PARIIS).....	20
Tableau 9	Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sols prélevés dans le bas-fond de Sénou (source : IER)	23
Tableau 10	Organisations villageoises concernées par l'usage du bas-fond (source Enquête IER/ COSTEA sur un échantillon de 16 usagers)	31
Tableau 11	Budgets de cultures de bas-fond à Senou campagne 2021 (source : Enquête IER/ COSTEA).....	32
Tableau 12	Surface et volume de la retenue en fonction de la cote de l'eau (source APD) ..	36
Tableau 13	Comparatif des résultats d'évaluation du volume moyen d'envasement annuel de la retenue d'eau de Sénou par différentes formules d'estimation	38
Tableau 14	Hypothèses d'évolution des surfaces cultivées (ha) du bas fond de Sénou après aménagement d'après l'APD.....	39
Tableau 15	Caractéristiques des différents types de riziculture après aménagement	44
Tableau 16	: Estimation des surfaces cultivables après aménagement	46

Liste des figures

Figure 1 Situation du bas-fond de Sénou (carte IER)	6
Figure 2 Pluviométrie annuelle de Sénou extraite de la base de données WaPOR	9
Figure 3 Carte des isohyètes de la pluie décennale journalière et de la pluie annuelle moyenne (source: Roudier 2008).....	10
Figure 4 Evolution du cumul de pluviométrie annuelle à Sénou : données WaPOR/FAO	10
Figure 5 Evolution de l'indice standardisé de précipitation annuelle - Eénou 2009- 2021 ...	11
Figure 6 Pluviométrie mensuelle Sénou 2009-2021 données WaPOR	11
Figure 7 Evolution du cumul pluviométrique saisonnier (Mai-Juin; Juillet-Août; Septembre-Octobre) à Sénou.....	12
Figure 8 Bilan climatique décadaire à Sénou	13
Figure 9 Comparaison interannuelle des apports pluviométriques aux besoins en eau de la culture aux cours de ses différentes phases phénologiques pour un semis à la 3eme décade de juin.....	14
Figure 10 Comparaison des besoins en eau décadaires (ETM) d'un riz semé la 3eme décade de Juin aux pluviométries décadaires dépassées 2 et 8 années sur 10.....	15
Figure 11 Comparaison interannuelle des apports pluviométriques aux besoins en eau de la culture aux cours de ses différentes phases phénologique pour un semis à la 1ere décade de juillet.....	16
Figure 12 Comparaison des besoins en eau décadaires (ETM) d'un riz semé la 1ere décade de Juillet aux pluviométries décadaires dépassées 2 et 8 années sur 10.....	16
Figure 13 Topographie et occupation des sols du bassin versant d'alimentation du bas fond de Sénou (carte IER)	17
Figure 14 Occupation actuelle du bas-fond de Sénou (carte IER).....	21
Figure 15 Points de prélèvement des échantillons de sols dans le bas-fond de Sénou	22
Figure 16 Types de sols rencontrés dans le bas-fond de Sénou (source: APD/PARIIS)	23
Figure 17: Zone inondée par le micro barrage prévu en aval de la route de Dioila (carte IER d'après la topographie APD)	35
Figure 18: Zone à aménager d'après l'APD	35
Figure 19 : Courbes d'exploitation de la retenue d'eau : courbe hauteur - volume	36
Figure 20 : Courbes d'exploitation de la retenue d'eau : courbe volume - hauteur	37
Figure 21: Courbes d'exploitation de la retenue d'eau : courbe hauteur - surface	37
Figure 22: Calendrier cultural.....	40
Figure 23 : Feuille de calcul utilisée pour établir la courbe d'exploitation de la retenue	41
Figure 24 : Courbe d'exploitation.....	42
Figure 25: Usages de l'eau de la retenue et pertes (en %) du volume d'eau initial stocké.....	42
Figure 26 : Evolution des superficies inondées et exondées, 1 mois après le retrait des eaux	43
Figure 27 : Gestion de la lame d'eau à la parcelle en fonction des types de riziculture et des franges identifiées.....	44
Figure 28 : Gestion de la retenue d'eau du micro-barrage de Sénou pour répondre aux contraintes des trois modes de riziculture.....	45

Partie 1. Etat des lieux avant aménagement

Le site de Sénou a été proposé par l'UGP PARIIS du Mali en tant que site représentatif de petits bas-fonds de la zone cotonnière du Centre-Sud Mali en zone soudano-sahélienne. Il fait partie de la première vague d'aménagements du Projet PARIIS.

1.1 Organisation spatiale et éléments de contexte

1.1.1 Contexte micro-régional (échelle communale)

Le village de Senou est le chef-lieu de la Commune rurale de Kémékafo, située à 45 km au sud de la ville de Dioïla, préfecture du cercle. Il est éloigné des grands centres urbains et relativement isolé sur un axe routier secondaire, non bitumé.

Tableau 1 Caractéristiques régionales et orientations agro-sylvo pastorales source: APD, EIES

Commune			Commune de Kémékafo (cercle de Dioïla)	
Agro-climatologie	station météo de référence		Dioïla 1999-2019 station OHVN 40 km Nord Bougouni 90 km Sud	
	données climatiques moy annuelle	P cumul annuel	1040 mm	
		ETo		
	variabilité inter annuelle P (analyse fréquentielle)	P an quinquennale sèche	698 mm	
		P an décennale sèche		
pluie journalière décennale		120 mm		
Milieu physique	substrat roches			
	matériaux d'alteration		Cuirasses ferrugineuses et alluvions latéritisées et indurées	
	végétation naturelle dominante		savanes	
Orientation agro-sylvo-pastorale	agriculture vivrière		sorgho, maïs, mil	
	agriculture de rente		coton 30% de la SAU	
	élevage		20% du revenu	
	foresterie			
Milieu humain	densité de population rurale			
	taux de croissance démograph.		3%	
	années de migrations		2018,2019,2020	
	ethnies dominantes		Bamanan, Peul	
	infrastructure majeure	centre urbain		Dioïla à 40 kms
		voie de communication		piste secondaire
grands programmes et structures d'appui			CMDT	

La zone est fortement productrice de coton et de céréales (sorgho et maïs), elle fait partie du bassin de collecte de la CMDT et bénéficie à ce titre d'appui à l'approvisionnement en intrants

et à l'équipement des exploitations. La culture attelée est très développée, faisant du cheptel bovin une composante importante des systèmes de production.

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

Le bas-fond de Sénou s'étend au Nord du village de part et d'autre du radier de la piste de Dioïla sur un tronçon de quelques kms (cf Figure 1). Il occupe une place assez modeste au sein du terroir villageois, son extension principale se situe en amont du radier, occupant une quarantaine d'hectares. Le cours d'eau « *Falaba* » qui l'alimente a un lit mineur très peu marqué, il prend sa source dans les zones hautes appelés « *Diè* » et draine un petit bassin versant de 10,5 km². En aval du village, l'axe de drainage est resserré jusqu'au déversement dans la rivière *Wourouwourouba*, elle-même tributaire du *Baoulé*.

Le terroir villageois est principalement dédié aux cultures céréalières et au coton. Les cultures spécifiques au bas-fond et au bas de versant sont peu développées, il s'agit de parcelles de riz sur moins de 1 ha et d'un petit périmètre maraîcher. La population du village est estimée à environ 1000 habitants en 2021.

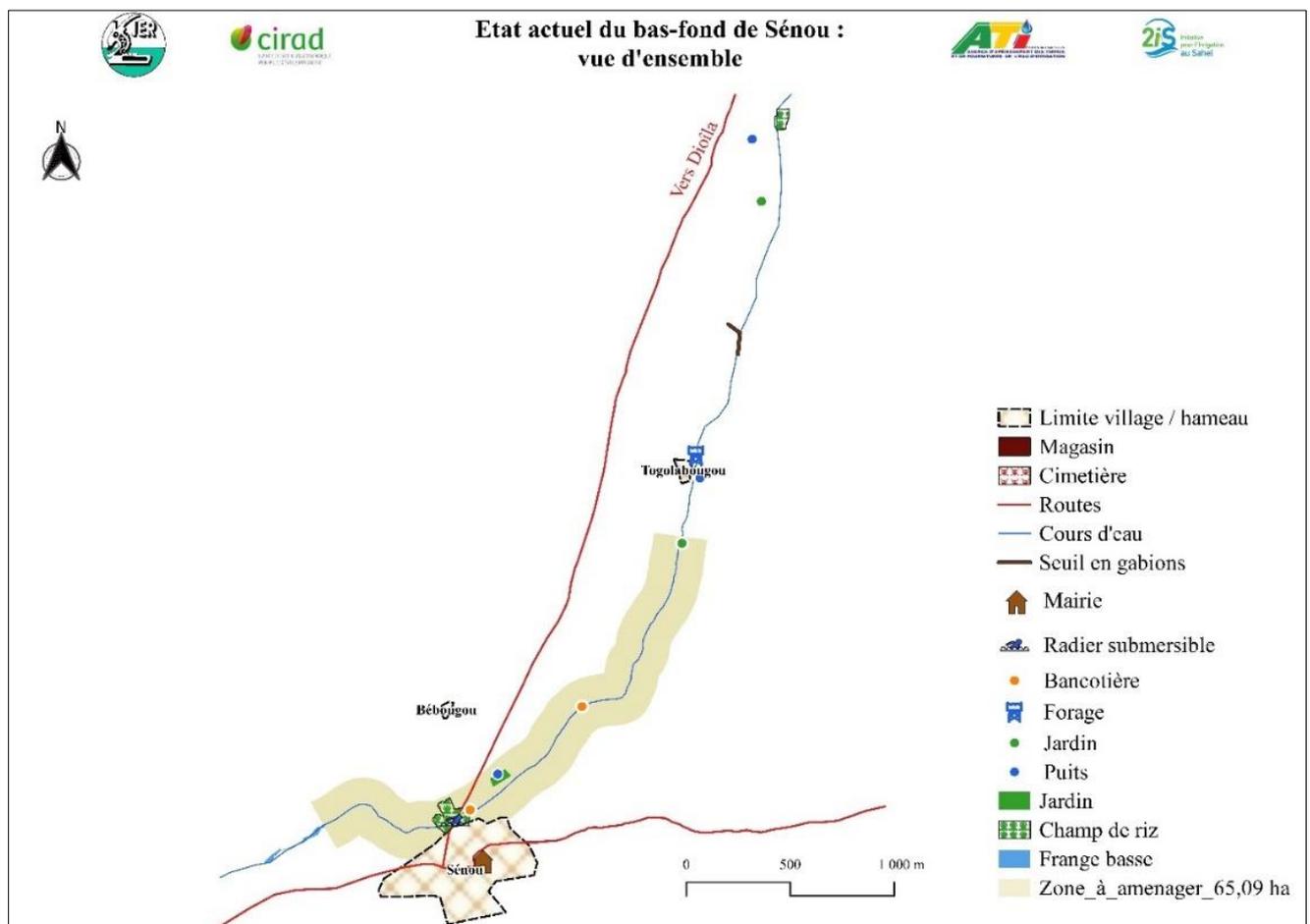


Figure 1 Situation du bas-fond de Sénou (carte IER)

Tableau 2 Caractéristiques locales du bas-fond de Sénou (source: APD, EIES)

identité du bas-fond	nom du site		Senou
	nom du cours d'eau		Falaba
	distance moyenne du village au bas-fond		400 m
	village demandeur de l'aménagement		Senou
	délimitation du tronçon pressenti pour l'aménagement	coordonnées amont X, Y	B1 X : 723815.885 Y : 1343660.295
		coordonnées aval X, Y	B2 X : 723731.408, Y : 1343831.072
Bassin Versant	surface du bassin versant défini à l'exutoire du bas-fond		10,47 km ²
	géo-morphologie du BV	indice de compacité	Kc 1,72 d'où BV en arête de poisson
		pente moy du cours d'eau	0,33%
		indice global de pente cor	5,02 m/km relief faible
		dénivelée spécifique	16,24 m
	couverture du sol du BV	espèces ligneuses	Forêt galerie le long du cours d'eau; arboriculture dans le lit majeur; infiltrabilité de classe RI
		cultures d'hivernage	céréales, coton
		vergers	
		plantations sylvicoles	
	estimation de la crue décennale Q_{r10}		37,4 m ³ /s méthode CIEH coef de sécurité de 1,45 => Q_{pr} 54 m ³ /s
	estimation des apports annuels moyens	année moyenne	1,04 M m ³ (Méthode <i>Turc</i>) et 2,55 M m ³ (Méthode <i>Coutagne</i>)
année quinquennale sèche			
volume annuel d'envasement		1 654 m ³	
ouvrages existants à l'amont du bas-fond			Néant
"Berceau" du bas-fond	dimension du bas-fond sur le terroir du village demandeur	longueur totale	5 kms
		largeur moy du lit majeur	?
		surface du bas-fond	180 ha
		surface du site pressenti pour l'aménagement	65 ha
	topographie	pente moy longitudinale	
		pente moy transversale	
	substrat géologique		Sur les berges, sols latéritique avec une portion fine à tendance argileuse. Dans le lit mineur, le sol est argilo-limoneux jusqu'à 1,80 m de profondeur. Au-delà, sol argilo-sableux.
	type de sol		sols ferrugineux modal (sol beige), sols ferrugineux, sols hydromorphes
	durée des écoulements		Juin à octobre
Aménagement ancien	type d'ouvrage, année de réalisation, aménageur		Néant
	état, niveau de fonctionnalité ou dégradation		
Nouvel aménagement en projet	génèse du projet qui a fait la demande qui est le porteur		population de Senou
	type d'ouvrage		Micro-barrage avec pertuis en béton cyclopéen et raccordement en remblai compacté hauteur crête 2,5 m capacité 37 000 m ³

	vocation pour la saison des pluies, pour la saison sèche		1- riziculture ; 2- maraîchage en hivernage et en contre-saison par retenue et puisards 3-abreuvement
	surface inondée par l'ouvrage à la côte prévue	totale	4,36 ha
		submersion \geq 1 m	1,05 ha (24%)
		1 m > submersion \geq 0,5 m	1,59 ha (36%)
		submersion \leq 0,5 m	1,72 ha (39%)
	surface bénéficiaire post projet	totale	45 ha
		cultures d'hivernage post projet	riz 5 ha; maraichage 5 ha (piment 2; gombo 3); maïs 31 ha
		cultures de contresaison post projet	maraichage 3 ha dont tomate 2 ha, oignon 1 ha
	nombre de bénéficiaires pressentis		?
	cout d'aménagement		45,77 M FCFA
Usages actuels du bas-fond avant aménagement	surface cultivée, nature des cultures,	cultures	40 ha dont mil 37 ha ; maïs 2,8 ha ; riz 0,7 ha; dah 0,2 ha
		maraichage de contresaison	
		en contresaison chaude (mars-juin)	néant
		arboriculture	<i>Vitellaria paradoxa, Tamarindus indica, Adansonia digitata, Khaya senegalensis, Faidherbia albida</i>
	nombre de producteurs dans le bas-fond (hommes / femmes)		19 exploitants/propriétaires tous des hommes
	surface à usage de pâturage	en hivernage	Non
		en contresaison	Oui
	usage pêche		Non
	usage chasse		Non
	usage coupe de bois		Oui
végétation naturelle espèces ligneuses		Oui	
carrières de briques		Oui	
Terroir villageois	surface du terroir du village		
	population résidente du village		638 hab RGPH 2009; estimé 927 hab en 2021 120 exploitations
	densité de population sur le terroir		
	surface cultivée	cultures d'hivernage	352 ha en 2020/21 dont sorgho 26%; maïs 25%; coton 23%; mil 17%; riz 5%
		maraichage en contresaison	
		arboriculture	22 ha dont anacardier 10 ha; manguier 7 ha
	plantations forestières		2,75 ha dont eucalyptus; teck; moringa
	importance de l'élevage		2850 UBT
	accès au marché et aux services	distance au marché d'envergure régional	
accessibilité			Route non bitumée

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

1.2.1 Analyse agro-climatique

1.2.1.1 Données pluviométriques utilisées pour caractériser les conditions hydro-climatiques de Senou

Le site de Senou (Long 12°5 N, Lat 6°94 E) est pratiquement situé sur le transect Dioila - Bougouni à respectivement 43 et 98 Km de ces 2 sites. Le gradient pluviométrique est particulièrement élevé sur ce transect, la pluviométrie interannuelle moyenne croissant en moyenne de 2,0 mm par Km. (Dioila 834,7mm/an, Bougouni 1117,5 mm/an). Cela implique que prendre Dioila comme station climatique de référence conduit à une sous-estimation de la pluviométrie sur le site de Senou.

Pour limiter ce biais, le document d'APD a retenu comme pluviométrie annuelle, la pluviométrie décennale humide de Dioila (1047 mm) et comme pluie décennale journalière, la valeur de 120 mm lue sur la carte des isohyètes des pluies décennales journalières éditée par le CIEH (séries pluviométriques 1968 - 1985).

Il est suggéré comme solution alternative pour améliorer l'analyse climatique :

- d'extraire les données pluviométriques décennales correspondant à Senou de la base de données WaPOR (période 2009 -2021) cf Figure 2.
- d'utiliser les cartes isohyètes établies sur la période 1963-2000 dans le cadre de l'étude de la vulnérabilité des ressources en eau superficielle sur le bassin versant du Bani (Roudier, 2008) pour déterminer la pluie journalière décennale (96 mm) de Senou cf Figure 3.

On remarque que la pluviométrie moyenne annuelle de Senou (915 mm) déterminée à partir de la carte des isohyètes n'est pas statistiquement différente de celle calculée à partir des données WaPOR (976,2 mm) compte tenu de la taille de série (13 ans) : t théorique (0,05 ; 12) = 2,178 > t calculé = 1,786.

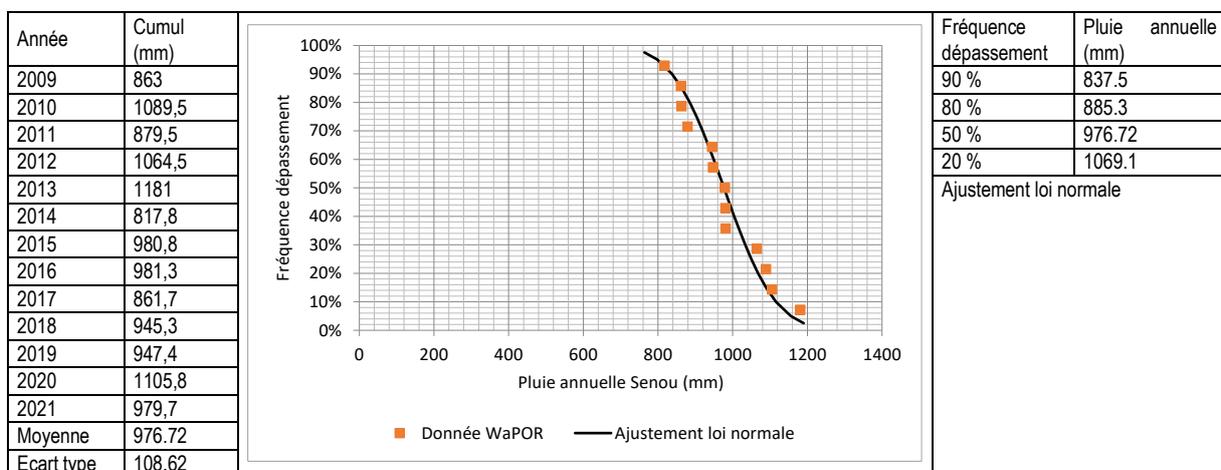


Figure 2 Pluviométrie annuelle de Sénou extraite de la base de données WaPOR

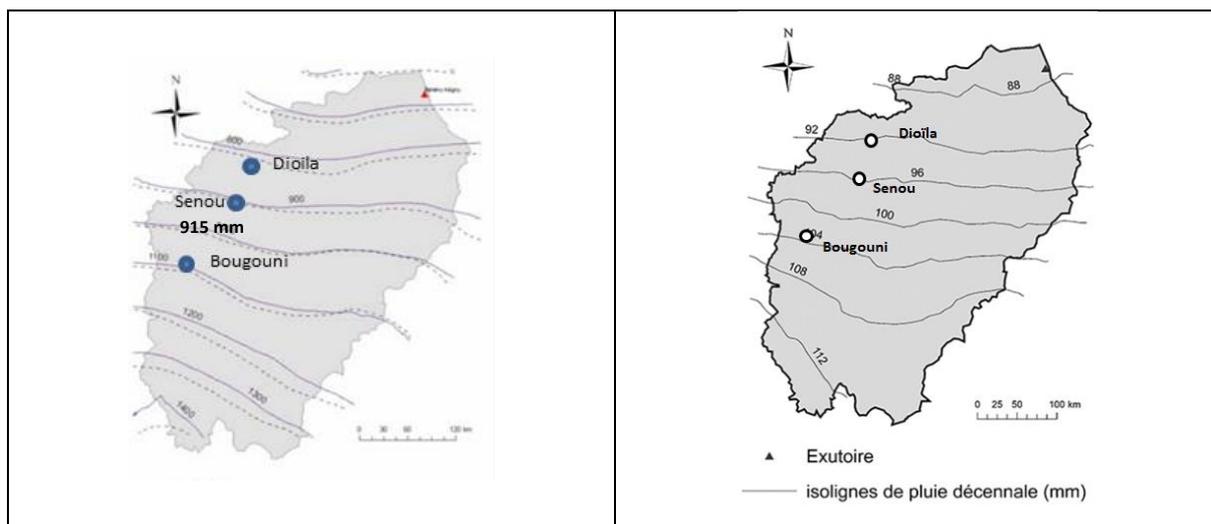


Figure 3 Carte des isohyètes de la pluie décennale journalière et de la pluie annuelle moyenne (source: Roudier 2008)

1.2.1.2 Analyse du régime pluviométrique

- Pluviométrie annuelle

L'analyse agro climatique du bas-fond de Sénou a été faite en utilisant les données de pluviométrie journalière extraites de la base de données WaPOR de la FAO. La figure 2 illustre la pluviométrie annuelle à Sénou pour la période 2009-2021. Les cumuls annuels varient d'un minimum 818 mm en 2014 et d'un maximal de 1181 mm en 2013. La moyenne interannuelle sur la période est 977 mm. Sur la période, les pluies quinquennales forte et faible sont respectivement de 1069 mm et 885 mm (cf Figure 2). Au cours de ces 13 dernières années aucune tendance à la hausse ou à la baisse de la pluviométrie annuelle n'est perceptible (test de tendance de Mann-Kendall non significatif - cf figure 4).

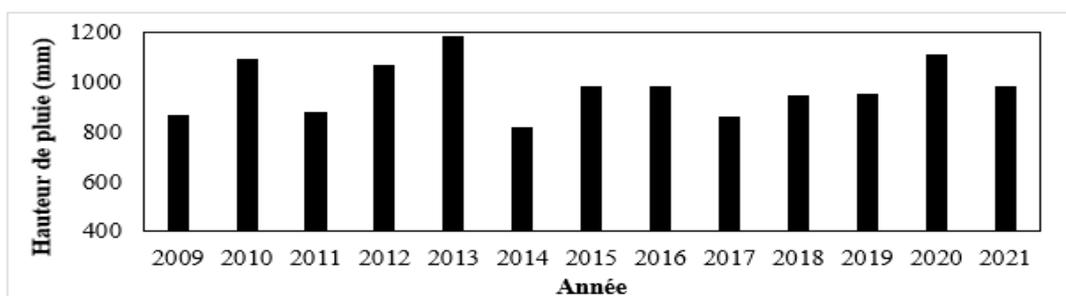


Figure 4 Evolution du cumul de pluviométrie annuelle à Sénou : données WaPOR/FAO

L'analyse de l'indice standardisé de la série des précipitations annuelles (cf figure 5) montre par contre une plus forte variabilité des pluies annuelles entre 2009 -2015 qu'au cours de 7 dernières années : 2 années humides avec $IPS > 1$, 2 années sèches $IPS < 1$ entre 2009 et 2015, 1 année humide avec $IPS > 1$, 1 année sèche $IPS < 1$ entre 2015 et 2021.

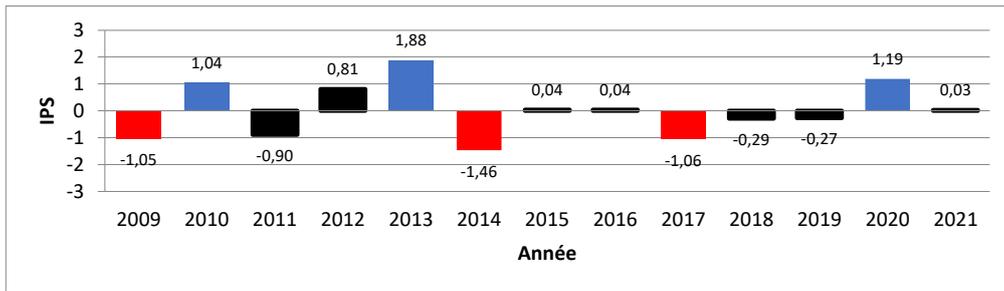


Figure 5 Evolution de l'indice standardisé de précipitation annuelle - Sénou 2009- 2021

- Pluviométrie mensuelle

La figure 6 illustre la distribution mensuelle des pluies :

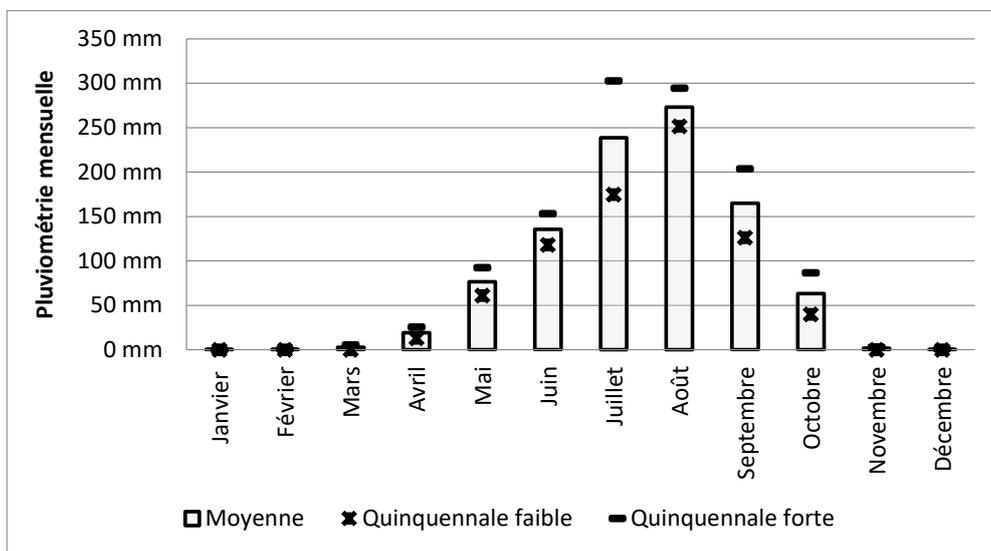


Figure 6 Pluviométrie mensuelle Sénou 2009-2021 données WaPOR

Sous réserve des limites dues au nombre limité de données (13 années), la figure 6 montre une forte variabilité de la pluviométrie en Juillet et dans une moindre mesure Septembre.

Les pluviométries moyennes au cours des mois Mai-Juin, Juillet-Aout, Septembre-Octobre représentent respectivement 21,7%, 52,4% et 23,4% de la pluviométrie annuelle.

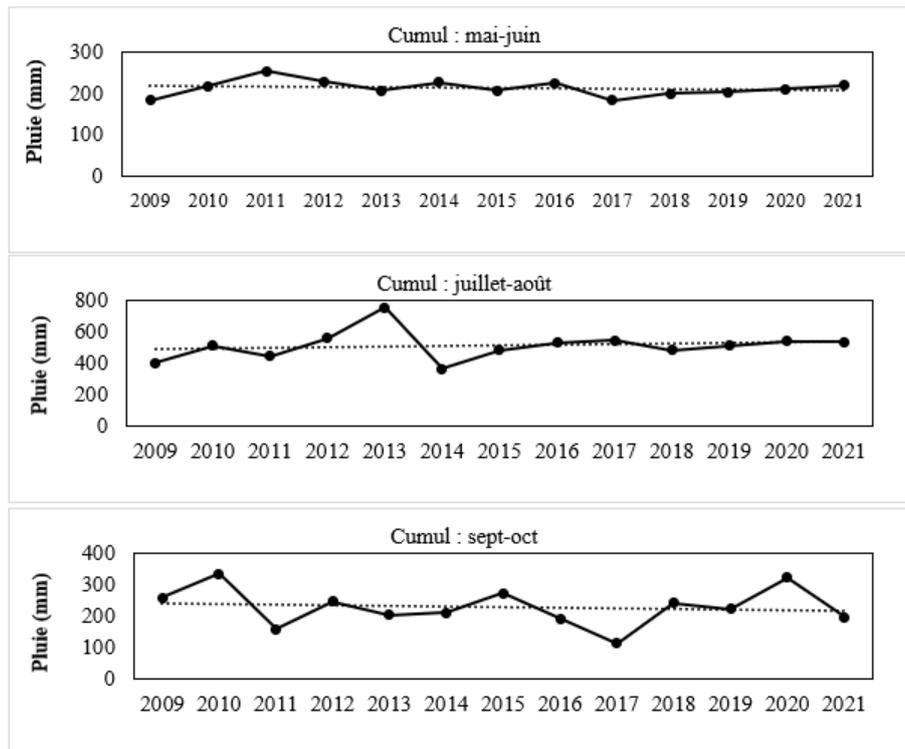


Figure 7 Evolution du cumul pluviométrique saisonnier (Mai-Juin; Juillet-Août; Septembre-
Octobre) à Sénou

Comme illustré par la figure 7, la variabilité interannuelle de ces cumuls saisonniers n'indique pas de tendance significative entre 2009 et 2021. Les conditions pluviométriques pour les campagnes de culture ne semblent donc pas s'être significativement dégradées au cours des dernières années.

1.2.1.3 Bilan climatique

Le bilan climatique est établi par la méthode de Franquin (1973) qui permet de délimiter les périodes pré-humide, humide et post humide par l'intersection des courbes de pluviométrie et d'évaporation potentielle (ETo et ETo/2)

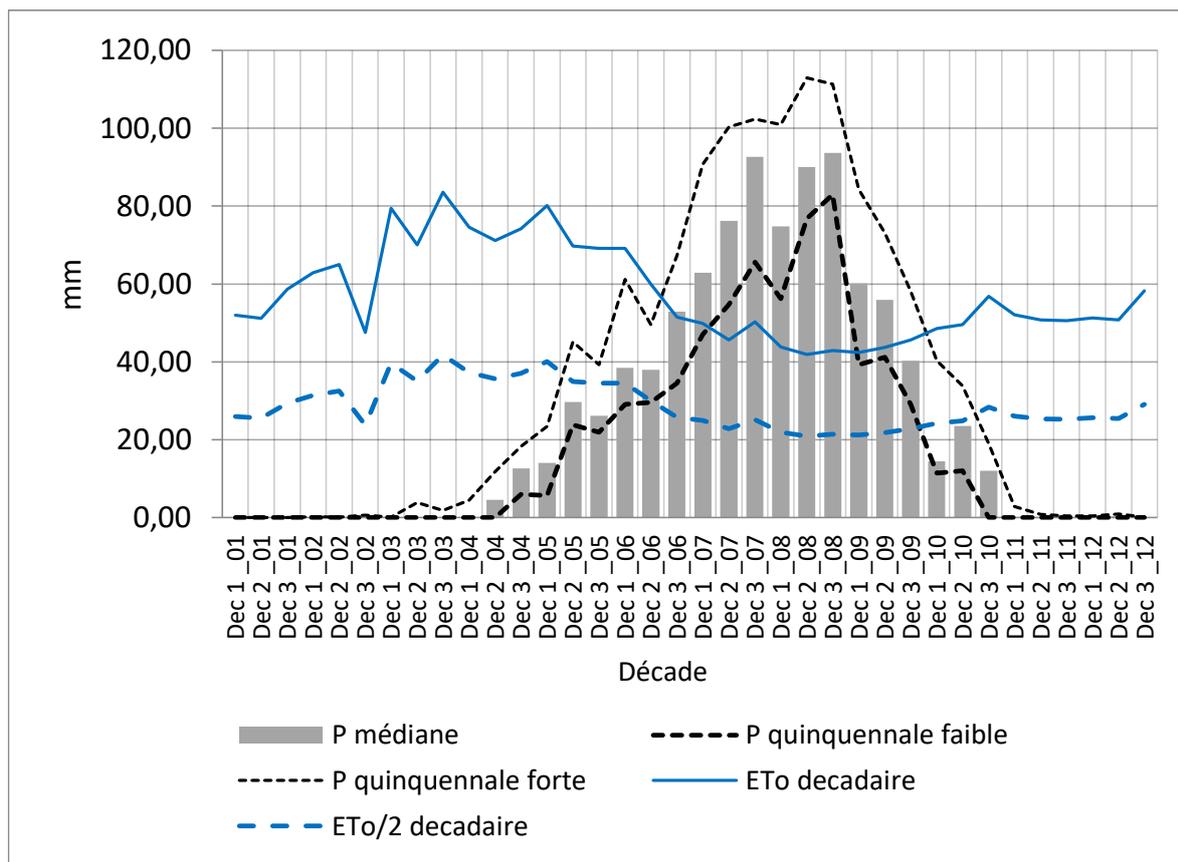


Figure 8 Bilan climatique décadaire à Sénou

L'analyse du bilan climatique sur la période 2009-2021 (figure 8) indique :

- une saison pré-humide ($ETo > Pluie > ETo/2$) s'étalant de la 1^{ère} à la 3^{ème} décade de Juin (soit 30 jours). On note une très forte variabilité des pluies au cours des deux premières décades de Juin rendant aléatoire les semis.
- une saison humide ($P > ETo$) longue de 80 jours allant de la 1^{ère} décade de juillet à la 2^{ème} décade de septembre. Une pluviométrie quinquennale sèche inférieure à ETP en fin de saison humide (1^{ère} et 2^{ème} décade Septembre) illustre le risque de poches de sécheresse et/ou d'un risque de fin précoce de la saison humide.
- une saison post-humide ($ETo > P > ETo/2$) très courte correspondant à la 3^{ème} décade de Septembre (10 jours).

Des écoulements significatifs du marigot sont probables entre la 1^{ère} décade de Juillet et la 2^{nde} décade de Septembre, période au cours de laquelle la pluviométrie décadaire est supérieure à ETo 8 années sur 10. A contrario, la pluviométrie devenant inférieure à $ETo/2$ mi Octobre laisse prévoir le début de la récession de la nappe du bas fond dès cette période.

1.2.1.4 Contexte agro-hydrologique de la riziculture de bas-fond

Le contexte agro-hydrologique de la riziculture de bas-fond est caractérisé en comparant les apports pluviométriques (données climatiques de Sénou) aux besoins en eau au cours des différentes phases phénologiques de la culture. Cette caractérisation a été réalisée pour trois durées de cycle de 100, 110 et 120 jours et deux décades de semis.

Ces décades de semis ont été déterminées en identifiant la fréquence avec laquelle la pluviométrie décadaire est supérieure aux besoins en eau de la culture au cours de la phase semis-levée (Tableau 1).

Tableau 3 Détermination des décades favorables au semis du riz

Décade de semis	Juin_1	Juin_2	Juin_3	Juil_1
Pluie décadaire de fréquence quinquennale faible mm	29,08	29,62	34,52	47,06
ETP décadaire (mm)	69,10	59,93	51,45	49,87
Kc	0,7			
ETM (mm)	48,37	41,95	36,01	34,91
Fréquence Pluie décadaire > ETM	36%	35%	71%	> 95%
0,9 ETM (mm)	43,53	37,76	32,41	31,42
Fréquence Pluie décadaire > 0.9 ETM	41%	58%	> 95%	> 95%

Le fait que ce n'est qu'à partir de la 3ème décade de juin que la pluviométrie est 9 années sur 10 supérieure à 90% des besoins de la culture a conduit à retenir les décades juin_3 et juillet_1.

Pour une date de semis donnée, le contexte agro-hydrologique de la riziculture de bas-fond est caractérisé en croisant l'analyse d'une part de l'évolution des besoins en eau du riz (ETM-riz) au cours de son cycle par rapport au diagramme de la variabilité interannuelle des pluies décadaires et d'autre part, de la fréquence interannuelle avec laquelle les apports pluviométriques sont supérieurs aux besoins en eau de la culture aux cours de ses différentes phases phénologiques.

Pour un semis au cours de la troisième décade de juin, l'apport pluviométrique au cours des phases de développement et reproduction est 9 années sur 10 supérieur aux besoins quelque soient les longueurs de cycle (100, 110, 120 jours) (cf. figure 9). Au cours de la phase de maturation, alors que cette fréquence de couverture reste de l'ordre 5 années sur 10 pour un cycle de 100 jours, elle n'est plus que de 1 année sur 2 et 1 année sur 5 pour les cycles de 110 et 120 jours.

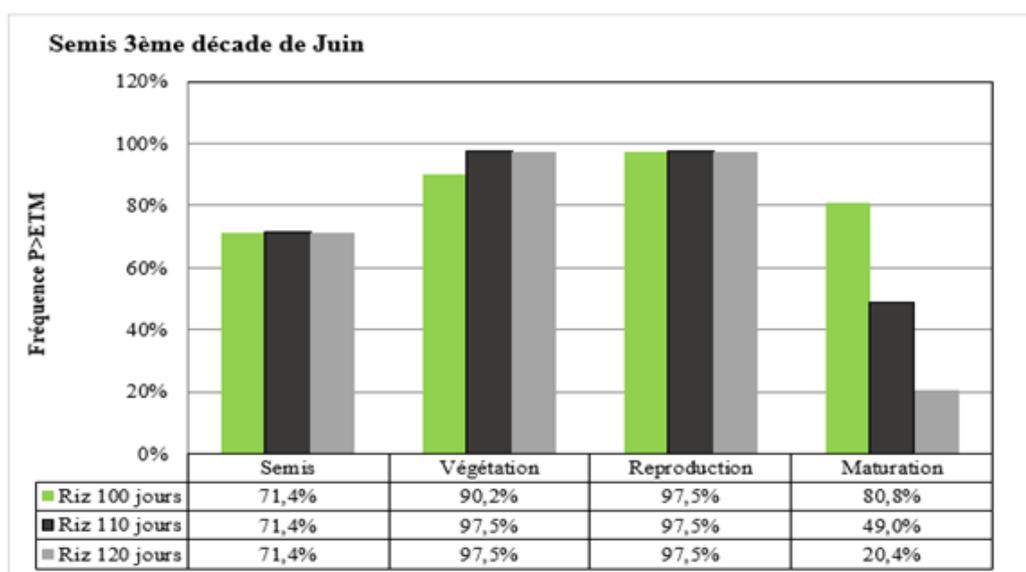


Figure 9 Comparaison interannuelle des apports pluviométriques aux besoins en eau de la culture aux cours de ses différentes phases phénologiques pour un semis à la 3ème décade de juin

La figure 10 précise ces conditions : au cours de la phase maturation, les besoins décadaires sont proches des pluviométries décadaires dépassées 8 années sur 10 pour un riz de 100 jours, alors que pour un riz de 120 jours ils sont très proches des pluviométries décadaires dépassées seulement 2 années sur 10.

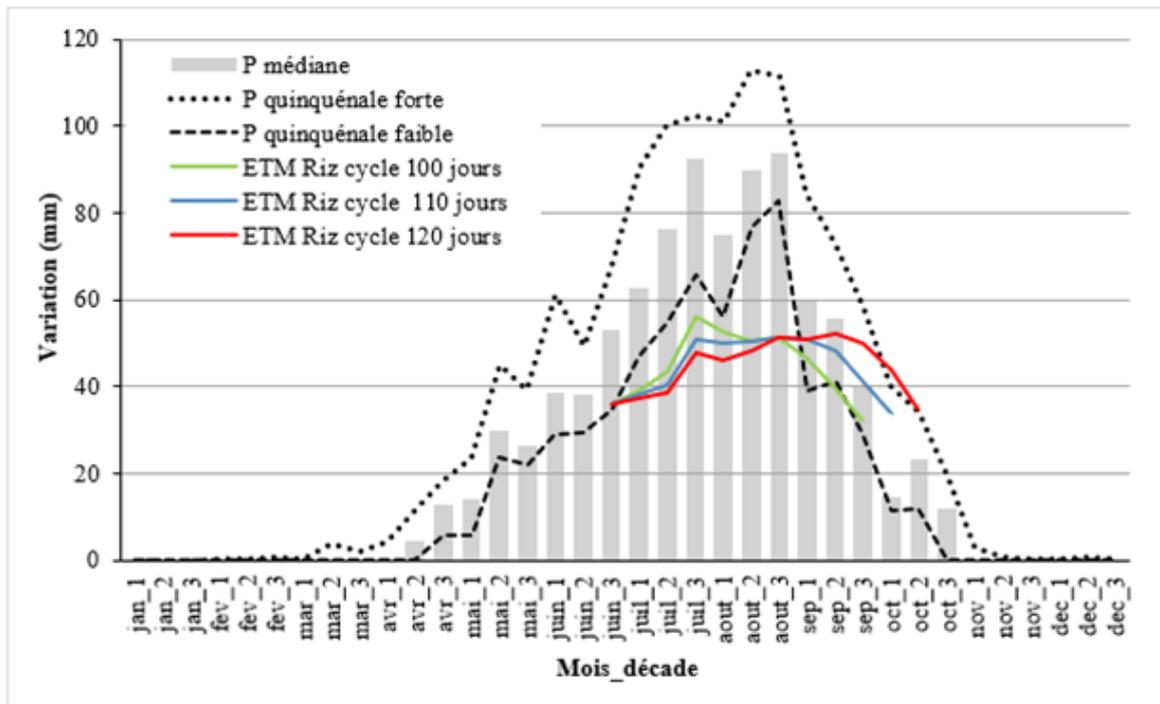


Figure 10 Comparaison des besoins en eau décadaires (ETM) d'un riz semé la 3ème décade de Juin aux pluviométries décadaires dépassées 2 et 8 années sur 10

Il ressort de cette analyse que pour une date de semis au cours de la 3^{ème} décade de Juin :

- Pour un riz de 100 jours un endiguement des parcelles (diguettes sur la frange de bas de versant ou digues en courbe de niveau dans le lit majeur) devrait permettre de gommer l'hétérogénéité temporelle des pluies au cours d'une décade et faciliter l'alimentation en eau de la culture en fin de cycle par remontée capillaire, la nappe étant encore sub-affleurante fin Septembre.
- Pour des riz de 110 et 120 jours, un aménagement en courbe de niveau sur les sols hydromorphes du lit majeur ayant une faible perméabilité devrait suffire à sécuriser l'alimentation en fin de cycle (stock d'eau à la parcelle, alimentation par les écoulements différés). Lorsque le dimensionnement n'est pas compatible avec la largeur du lit majeur, sa pente ou le débit de la crue décennale, des aménagements de type digue déversante et /ou micro barrage sont des solutions alternatives.

Pour un semis au cours de la première décade de juillet, l'apport pluviométrique au cours des phases de développement et reproduction est 9 années sur 10 supérieur aux besoins quelque soient les longueurs de cycle (100, 110 jours) (cf.figure 11) mais seulement de 3 années sur 4 au cours de la phase critique de reproduction pour un cycle de 120 jours. Au cours de la phase de maturation, cette fréquence de couverture chute à 1 année sur 2 (cycle 100 jours), 1 année sur 5 (cycle 110 jours) et moins d'une année sur 10 (cycle 120 jours).

La figure 12 précise ces conditions : pour un riz de 120 jours, les besoins en eau au cours de la fin de la phase reproduction sont supérieurs à la pluie dépassée 8 année sur 10. Ceux de la phase maturation sont supérieurs aux pluviométries décennales dépassées 8 années sur 10 pour un riz de 100 jours, proche de celles dépassées 2 années pour un riz de 110 jours et nettement supérieurs pour un riz de 120 jours.

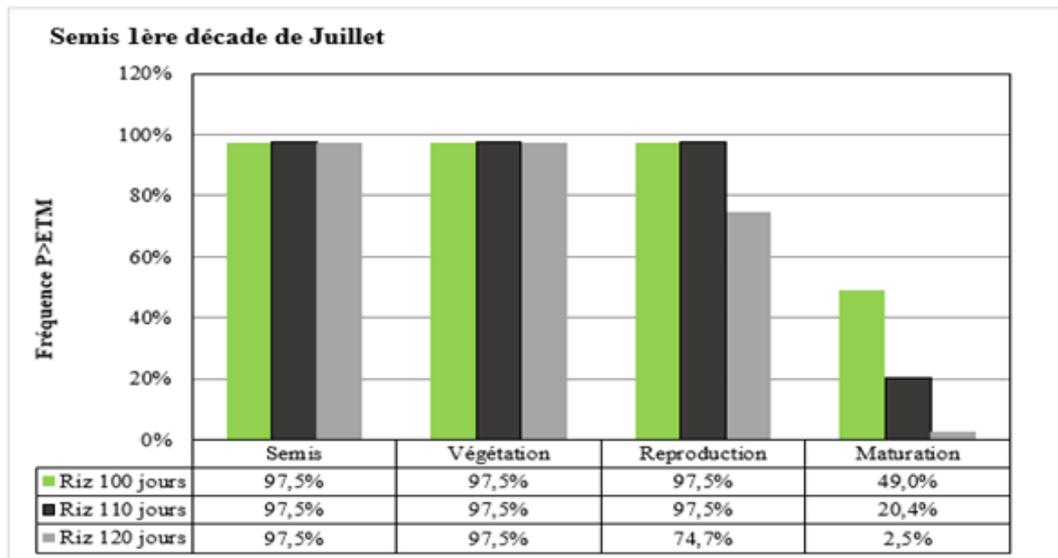


Figure 11 Comparaison interannuelle des apports pluviométriques aux besoins en eau de la culture aux cours de ses différentes phases phénologique pour un semis à la 1ère décade de juillet

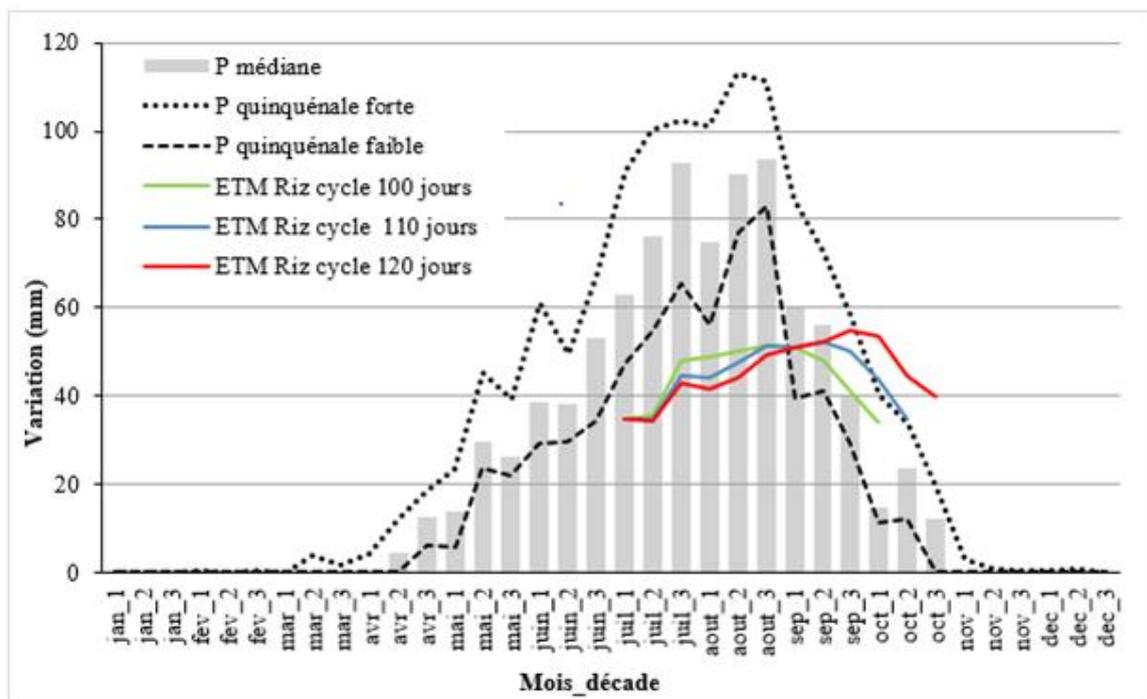


Figure 12 Comparaison des besoins en eau décadaires (ETM) d'un riz semé la 1ère décade de Juillet aux pluviométries décadaires dépassées 2 et 8 années sur 10

Il ressort de cette analyse que pour une date de semis au cours de la 1^{ère} décade de Juillet :

- Pour des riz de 100 et 110 jours, un aménagement en courbe de niveau sur les sols hydromorphes du lit majeur ayant une faible perméabilité devrait suffire à sécuriser l'alimentation en fin de cycle (stock d'eau à la parcelle, alimentation par les écoulements différés) lorsque les conditions hydrologiques et topographiques le permettent.
- Le recours à des aménagements de type digue déversante et /ou micro barrage en assurant un stock d'eau à la parcelle suffisant fin Septembre devrait permettre de sécuriser l'alimentation en eau pour des cycles de 120 jours ou plus.

1.2.2 Ecoulements et crues

1.2.2.1 Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant qui alimente le bas-fond de Sénou a été délimité par l'outil QGIS et les données SRTM (figure 13). Il a une superficie de 9,09 km² à l'exutoire pris au barrage, ce qui correspond approximativement à celle indiquée dans l'APS (10,47 km²).

Dans ce bassin versant l'agriculture constitue la première occupation du sol avec environ 60% de la superficie totale.

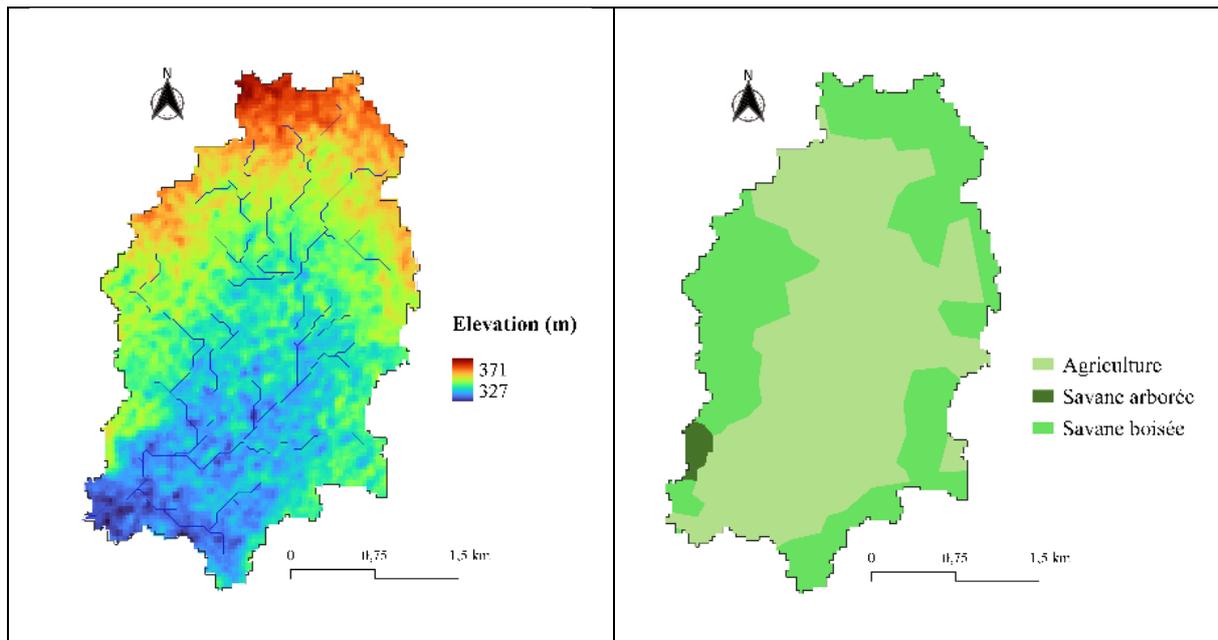


Figure 13 Topographie et occupation des sols du bassin versant d'alimentation du bas fond de Sénou (carte IER)

Le bassin versant est proche du type arête de Poisson ; il est très allongé avec un coefficient de compacité de Gravelius (I_c) de 2,27 et une longueur du rectangle équivalent valant plus de quatorze fois la largeur

Tableau 4 Caractéristiques du bassin versant (ref APD)

Paramètres	Symbole	Valeur	Unité
Périmètre	P =	20,34	Km
Superficie	S =	9,09	km ²
Longueur du cours d'eau principal ou du thalweg	Le =	5,55	Km
Longueur totale des cours d'eau	LTe =	23,94	Km
Pente transversale	lt =	10,02	m/km
Indice de compacité	lc =	1,88	
Longueur du rectangle équivalent	Leq =	9,17	Km
Largeur du rectangle équivalent	leq =	0,99	Km
Altitude maximale	H _{max} =	360	M
Altitude minimale	H _{min} =	327	M
Altitude à 5% de surface	H _{5%} =	348	M
Altitude à 95% de surface	H _{95%} =	321	M
Altitude moyenne	H _{moy} =	341,35	M
Altitude médiane	H _{med} =	337,5	M
Indice global de pente	Ig =	1,25	m/km
Indice global de pente corrigé	Ig _{corr} =	5,02	m/km
Indice global de pente retenu	Ig _{ret} =	5,02	m/km
Dénivelé spécifique	Ds =	3,76	M
Densité de drainage	Dd =	2,02	km/km ²
Type de relief selon ORSTOM	R1	Relief très faible	
Classe de relief selon ORSTOM	R =	R1	
Classe Perméabilité ORSTOM	I =	RI/P3	

1.2.2.2 Estimation de la crue décennale

Les tableaux ci-dessous montrent la comparaison entre l'estimation de la crue décennale faite dans le document APD (P moyenne annuelle 1040 mm, P journalière décennale 120 mm) et celle résultant de la prise en compte de la pluviométrie annuelle de 976 mm (source WaPOR) et d'une pluie journalière décennale de 96 mm.

Ces modifications entraînent une diminution du coefficient de ruissellement à 24,6% au lieu de 26,6% et des estimations minorées de la crue décennale comme illustré ci-dessous

Tableau 5 Estimation des crues décennales calculées avec $P_{j10} = 96$ mm et P_{moy} annuelle = 976 mm

	Num régression	Application	Crue décennale m3/s	
			COSTEA	APD
Méthode CIEH	11	Tous bassins P<1000 mm	32,65	37,40
	12		23,04	26,60
	17	Longitude < 10°	26,88	24,60
	18		21,47	25,02
	42	Mali Burkina Niger	20,58	23,70
	44		25,23	18,79
Méthode ORSTOM révisée			12,34	17,77

L'étude APD a retenu la valeur maximale des crues décennales obtenues par l'utilisation des deux méthodes, soit 37,4 m³/s, ce qui conduit à une sur-évaluation de 50% de la crue décennale par rapport à 25 m³/s, valeur moyenne des différentes estimations.

Cette sur estimation a en fait peu d'impact sur le dimensionnement du seuil. Le coefficient C utilisé pour la sécurité des ouvrages et minimiser les risques d'inondation n'ayant été pris que de 1,45 au lieu de 2 coefficient couramment utilisés dans le cas de micro barrages, les crues de projets sont du même ordre de grandeur, 50 et 54 m³/s.

On peut néanmoins s'interroger sur la robustesse de la démarche de dimensionnement utilisée.

1.2.2.3 Estimation des apports

- Estimation du coefficient de ruissellement de la pluviométrie annuelle moyenne

Les apports annuels ont été estimés par l'APD en utilisant les formules de *Turc* et de *Coutagne* qui permettent d'estimer le déficit d'écoulement (D) en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle (1040 mm) et de la température annuelle moyenne (26°).

Ce déficit étant dû à l'évapotranspiration des couverts et aux infiltrations sur le bassin versant, le différentiel avec la pluviométrie annuelle permet d'estimer le coefficient moyen d'écoulement $K_e = (P-D) / P$.

Le tableau 6 illustre la comparaison entre les évaluations des coefficients et volumes des écoulement moyens annuels pour une pluviométrie annuelle de 1040 mm et ceux correspondant à la pluviométrie annuelle de 976 mm (ref WaPOR) et ceux obtenus en utilisant la variante de la formule de de *Coutagne* qui introduit la surface du bassin versant S et estime directement la lame ruisselée.

Tableau 6 Variation des coefficients d'écoulements et apports moyens annuels pour une pluviométrie de 1040 mm et 976 mm

Origine évaluation		APD	COSTEA
Pluie annuelle		1040 mm	976 mm
Méthode de COUTAGNE (Déficit écoulement)	Ke	23%	22%
	Volume apports m3	2 550 530	2 249 571
Méthode de TURC (Déficit écoulement)	Ke	10%	8%
	Volume apports m3	1 044 234	928 534
Méthode de COUTAGNE (ruissellement)	Kr		18%
	Volume apports m3		1 826 000

Les coefficients d'écoulements estimés par la méthode de *Coutagne* sont certainement sur évalués ; leur valeur est en effet très proche de celles des coefficients de ruissellement de la crue décennale 24,6% (suggestion) 26,6% (APD).

Il semble plus judicieux de retenir le coefficient d'écoulement de l'application de la méthode de *Turc* (8%).

- Estimation du volume des apports en fonction de la pluviométrie annuelle

Le tableau 7 illustre l'estimation des volumes annuels ruisselés pour les pluies annuelles de fréquence de dépassement 8 et 9 années sur 10.

Tableau 7 Estimation du volume des apports d'eau annuels à la retenue (expertise COSTEA)

Surface bassin versant Km ²	Pluie considérée mm		Coefficient de ruissellement	Volume apports m ³
10,47	Pluie moyenne	976	8,1%	833 036
	Pluie quinquennale faible	885	5,7%	528 547
	Pluie décennale faible	837	4,1%	357 156

1.2.3 Aménagements préexistants et contraintes hydriques limitant la mise en valeur du bas fond

Il y a peu d'aménagements préexistants dans le bas-fond de Sénou. Les ouvrages se limitent à quelques puits qui sont utilisés pour l'abreuvement, le maraîchage et la fabrication de briques en banco. On note également la présence d'un seuil en gabion à 2,5 km en amont du village. Actuellement, le bas-fond de Sénou apparaît faiblement exploité essentiellement à cause d'une insuffisance d'alimentation en eau.

En effet le régime hydrique du bas-fond présente de sérieuses contraintes

- Une vidange précoce du lit mineur en fin de saison à partir d'octobre rendant la satisfaction des besoins en eau du riz aléatoire.
- Une expansion très éphémère des crues dans le lit majeur ; après une forte pluie, la durée de vidange ne dépasse pas 4 heures.
- Les crues peuvent cependant provoquer des dommages avec une inondation incontrôlée du bas fond.
- Le niveau de la nappe phréatique descend rapidement à partir de novembre, ce qui nécessite des puits profonds pour le maraîchage difficilement praticable en contre saison.

1.3 Diagnostic agri-environnemental

1.3.1 Les ressources agricoles et leurs usages

1.3.1.1 Usages des terres du bas-fond

Comme usages agricoles, le bas-fond de Sénou abrite de la riziculture, du maraîchage et de la céréaliculture (Tableau 8).

Tableau 8 Occupation des terres dans le bas-fond de Sénou campagne 2021 (Source : APD/PARIIS)

Cultures	Superficie (ha)	Périodes
Riz	0,7	Saison des pluies
Mil	8,7	
Maïs	13	
Sorgho	22,3	
Haricot	3,8	
Arachide	0,3	
Dah	1,2	

Oignon	0,4	Maraichage de Saison des pluies
Echalotte		
Laitue		
Chou		
Piment		

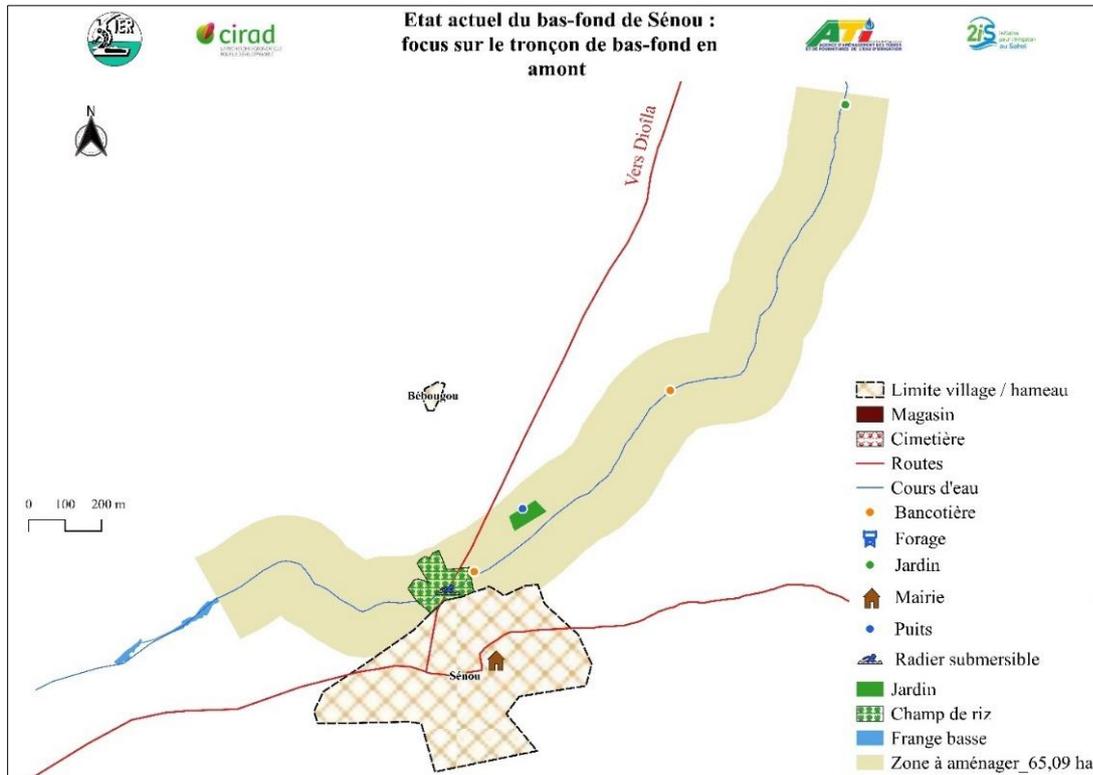


Figure 14 Occupation actuelle du bas-fond de Sénou (carte IER)

1.3.1.2 Les sols, leur fertilité et zonage d'aptitude

Les sols ont été prélevés à trois niveaux suivant la toposéquence à raison de trois échantillons par frange (frange haute, frange moyenne, frange basse – cf figure 15) en utilisant la carte établie lors des études APD/PARIIS.

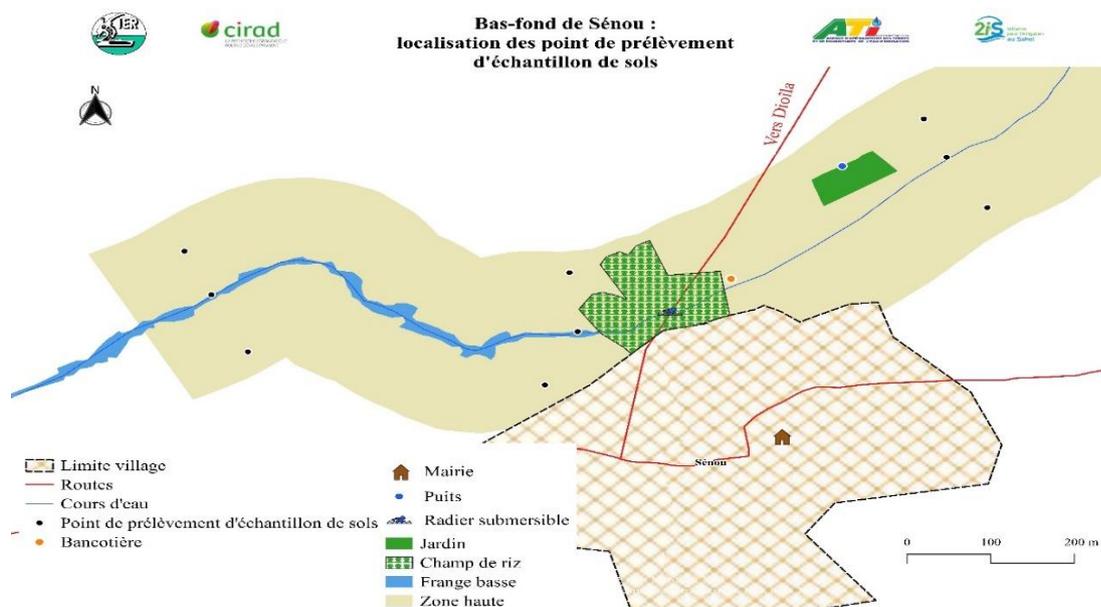


Figure 15 Points de prélèvement des échantillons de sols dans le bas-fond de Sénou

L'analyse des profils pédologiques au cours du diagnostic a confirmé les études réalisées pour l'APD- PARIIS qui avaient décelé les trois unités suivantes :

unité 1 : Cette unité est située sur la rive gauche du bas-fond. Les sols de cette unité résultent d'une stagnation temporaire d'eau et ont une texture limono-argileuse en surface. Ce sont des sols ferrugineux modaux. Ce type de sols est apte pour la riziculture et la céréaliculture.

unité 2 : Cette unité est située sur la rive droite du bas-fond. Elle abrite des sols profonds avec une texture fine et une texture de surface généralement limono-argileuse et une texture plus lourde en profondeur. Ce sont des sols ferrugineux. Ce type de sols est apte pour la riziculture ;

unité 3 : Cette unité est une infime partie du bas-fond qui est occupée par des sols hydromorphes. Ce type de sols est apte pour la riziculture en saison des pluies et le maraîchage en saison sèche.

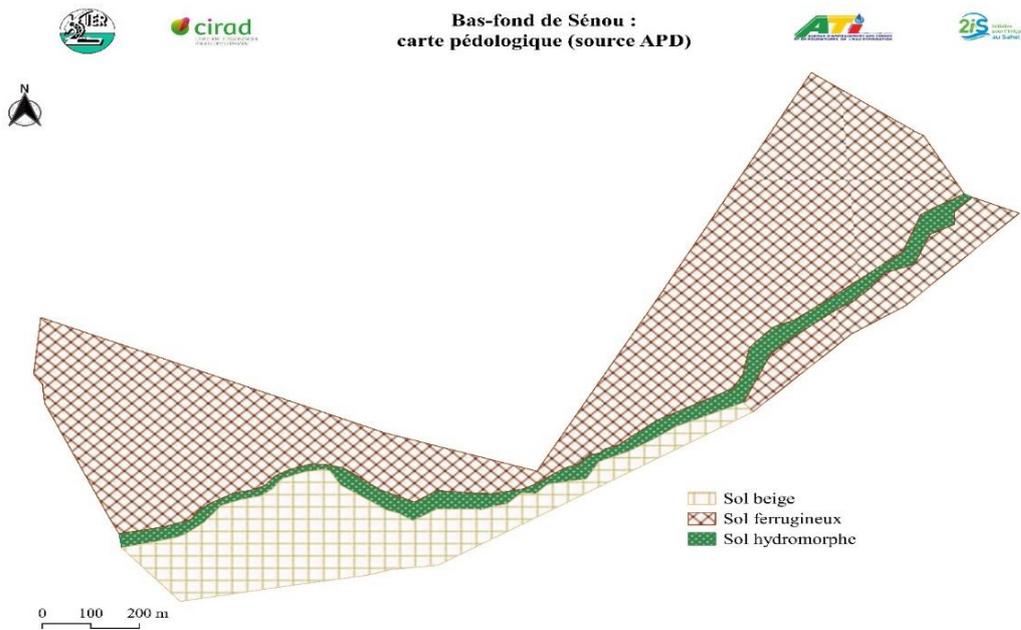


Figure 16 Types de sols rencontrés dans le bas-fond de Sénou (source: APD/PARIIS)

Le tableau 9 donne les caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sols prélevés dans le bas-fond de Sénou lors du diagnostic.

Tableau 9 Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sols prélevés dans le bas-fond de Sénou (source : IER)

Paramètres	Teneur
pH (eau)	6,90
Carbone organique (%)	0,75
Matière organique (%)	1,29
Sable >0,05 mm (%)	40
Limon fin 0,05-0,002 mm (%)	30
Argile <0,002 mm (%)	30
Texture	Limono-argileuse

Les analyses granulométriques réalisées au Laboratoire Sol-Eau-Plante de l'IER ont montré que les sols du bas-fond de Sénou sont de types ferrugineux tropicaux à hydromorphie temporaire avec une texture limono-argileuse assez riche en argile (Photos 1,2). Ces sols ont présenté une teneur en carbone organique de 1,29 qui est supérieure à 0,6 % (seuil critique).



Photo 1 : Sols limono-sableux dans le bas-fond de Sénou avec des pratiques de fumure organique



Photo 2 : Sols argileux dans le bas-fond de Sénou

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

1.3.2.1 Riz (« à dire des paysans »)

Selon les enquêtes réalisées, la riziculture est une activité féminine avec une moyenne d'âge des productrices de 44 ans. Le riz est semé de mi à fin juin et la récolte a lieu mi-octobre, soit un cycle de 120 jours. Il n'existe pas de rotation de cultures sur les parcelles rizicoles. Contrairement à Doumba, les productrices de Sénou pratiquent l'étuvage du riz. Cependant, ces productrices sont confrontées au dessèchement des plants de riz à cause de la mauvaise répartition des pluies rendant difficile le bouclage du cycle végétatif.

- Taille des parcelles

Les résultats issus du diagnostic ont montré que la taille moyenne des parcelles individuelles ne dépasse pas 2500 m². Les productrices ne détiennent pas d'équipement et n'ont pas recours à une main d'œuvre extérieure.

- Variétés

Les principales variétés de riz produites dans le bas-fond sont *Djoubani*, *Nabarani*, *Malo bâ*, *Kalosabani* et *Macaronimalo* dont les cycles varient de 4 à 6 mois.

- Semences

Les semences sont échangées entre les productrices. La pratique la plus courante est le semis à la volée.

- Consommation/commercialisation

Toute la production rizicole est autoconsommée.

- Fertilisation

Selon les personnes interviewées, de la fumure organique est apportée sur le riz pendant la saison des pluies.

- Traitement phytosanitaire

Les variétés de riz sont désherbées à l'aide de « *Mugumani* et *Goussouba* » dont les noms commerciaux n'ont pas pu être vérifiés afin de se prononcer sur leur caractère sélectif ou non.

1.3.2.2 Cultures maraîchères (« à dire des paysans »)

Le maraîchage est pratiqué dans la frange haute du bas-fond notamment dans des jardins collectifs, en saison des pluies et en contre saison fraîche d'octobre à mars. Les rotations déclarées dans l'enquête sont : oignon/échalote-tomate-laitue (55 %) ; Aubergine africaine-Tomate-concombre (25 %) ; tomate-concombre (10 %) ; piment-choux pommé (5 %) et tomate-piment (5 %).

- Irrigation

Les moyens d'exhaure de l'eau pour les cultures maraîchères sont la pompe solaire immergée dans les forages, et les motopompes pour les puits. L'arrosage est effectué à l'aide de seaux et d'arrosoirs d'une capacité de 10 litres en prenant l'eau dans des petits bassins tampons de stockage. Il est à noter que les puits destinés à l'irrigation des cultures maraîchères tarissent totalement au mois de mars. Au niveau des puits dans le périmètre maraîcher, le niveau statique de l'eau peut atteindre -20 m /TN en saison sèche et - 2 m en août.

- Consommation/commercialisation

Toutes les spéculations sont principalement autoconsommées, exceptés l'échalote et l'oignon dont 50 % de la production prennent les chemins des marchés de Dioïla et de Golobougou.

- Fertilisation

A l'instar du riz, les parcelles maraîchères sont fertilisées à l'aide de la fumure organique.

- Risques liés aux déchets des produits chimiques

Les productrices et producteurs intervenant dans le bas-fond de Sénou jettent les bidons ou autres types d'emballage des produits chimiques dans les puits abandonnés sans une autre forme de destruction.

1.3.3 Autres ressources et usages du bas-fond

Le bas-fond de Sénou est aussi un lieu de pâture des animaux en saison sèche et de confection des briques en banco. Il renferme des vergers et des espèces forestières locales et introduites.

- Mare

Le bas-fond de Sénou renferme une mare (Photo 3) qui sert de lieu d'abreuvement des animaux domestiques et transhumants. Cette mare, profonde, présente un risque de noyade pour les jeunes enfants.



Photo 3 : Vue de la mare du bas-fond de Sénou au mois d'avril 2022

- Lieu de pâturage

Le bas-fond, à cause du retrait rapide des eaux de pluie, est devenu un lieu de pâturage privilégié du cheptel domestique et transhumant, estimé à plus de 1000 bovins, plus de 1000 caprins/ovins et 65 asins. Le bas-fond de Sénou est traversé par une piste de passage des animaux qui devrait canaliser la pâture des animaux et éviter des dommages aux cultures. Malheureusement, la population assiste aux effets contraires.

Compte tenu de l'enclavement de la zone, les fourrages ne sont pas vendus. Pendant la contre saison et avec le tarissement précoce du cours d'eau, les espèces fourragères ne poussent pas. Cependant, les résidus de riz sont récoltés et conservés sur les hangars pour l'alimentation des animaux pendant la contre saison. Les restes des résidus dans le bas-fond sont utilisés comme pâturage par les transhumants. Pendant la saison sèche, les transhumants font des dégâts sur les arbres fourragers à travers la coupe des branches. Les animaux du village font des dégâts aussi.

- Vergers

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

- Lieu de confection des briques

Le bas-fond de Sénou abrite trois lieux de confection des briques en banco pour la construction de bâtiments (Photo 4).



Photo 4 : Lieu de confection de briques en banco dans le bas-fond de Sénou

- Espèces forestières

Selon les personnes enquêtées, le bas-fond de Sénou renferme 30 espèces forestières (cf liste en annexe 1). Les espèces les plus citées sont *Khaya senegalensis* et *Combretum micranthum*. Ces espèces sont abondantes dans la frange basse du bas-fond (Photo 5).



Photo 5 : Boisement des berges au niveau de la frange basse dans le bas-fond de Sénou

Cependant, ces espèces sont menacées dans la frange haute du bas-fond par les défrichements suivis de brûlis (Photos 5 et 6).



Photo 6 : Défrichements au niveau de la frange haute



Photo 7 : Traces de brûlis au niveau de la frange haute du bas-fond de Sénou

- **Bois sacrés**

Contrairement à Doumba, le bas-fond de Sénou ne renferme pas de bois sacrés.

- **Biodiversité animale**

La biodiversité animale reste dominée surtout par la grenouille, le serpent, le margouillat, la chenille et les termites, selon les personnes interviewées.

1.4 Diagnostic des services écosystémiques

1.4.1 Point de vue des populations

Autrefois

Le bas-fond de Sénou renfermait beaucoup d'espèces animales sauvages et aquacoles, une gamme variée d'espèces forestières et des insectes comestibles. Les hommes ne s'intéressaient pas autant au bas-fond.

Aujourd'hui

Les principaux intervenants dans le bas-fond sont les femmes pour la riziculture et le maraîchage. Ces femmes sont confrontées à un problème de faible rendement du riz dû au dessèchement des tiges de riz avant terme et cela à cause de l'insuffisance de l'eau. D'ailleurs, elles expliquent leur faible présence en contre-saison par le tarissement précoce des puits (à partir de janvier). Selon la population, leur bas-fond renferme une gamme d'espèces forestières locales (*Pterocarpus erinaceus*, *Combretum micranthum*, *Bombax costatum*, *Lannea microcarpa*, *Vitellaria paradoxa*, *Detarium microcarpum*, *Terminalia macroptera*, *Cassia sieberiana*, *Daniellia oliveri*, *Anogeissus leiocarpa*, *Nauclea latifolia*, *Khaya senegalensis*, *Ceiba pentandra*, *Adansonia digitata*) et presque aucune faune sauvage. Cette même population admet d'ouvrir de nouvelles parcelles de culture dans la partie haute en éliminant des arbres et en appliquant le brûlis. Toutefois, des initiatives locales sont prises pour protéger les terres de culture et maîtriser les eaux de ruissellement au niveau de la frange haute du bas-fond par la mise en place de cordons pierreux. En dépit de la réalisation de la piste de passage des animaux, les espèces fourragères arborescentes souffrent de mauvaises pratiques d'élagage effectuées par les transhumants pendant la durée de leur séjour dans le bas-fond.

Demain

Les populations ont besoin de la fumure organique de qualité et en quantité, de semences de bonne qualité et adaptées aux nouvelles conditions écologiques qui seront créées, des équipements agricoles appropriés, aux bio-insecticides, et de renforcement de capacités. L'après micro-barrage suscite des espoirs d'apparition de nouvelles cultures (bananeraies, etc.), la réintroduction des espèces disparues (*Elaeis guinensis*, *Raphia sudanica*, antilope, singe, etc.). Mais il fait craindre la noyade de certains vergers et une exposition du village aux inondations.

1.4.2 Point de vue des experts

Autrefois

Le bas-fond était occupé par une galerie forestière qui regorgeait d'une grande diversité floristique et faunique. Il rendait des services écosystémiques variés. En fait, c'était aussi un milieu plutôt craint parce que son accès était ouvert essentiellement aux détenteurs des pouvoirs occultes. Le bas-fond et sa bordure en bas de versant était l'apanage des femmes pour la production du riz et des cultures maraîchères.

Aujourd'hui

Face à la démographie galopante et à l'accroissement des besoins des populations, le bas-fond est exploité par les femmes et les hommes. Son aménagement à travers l'installation d'un micro-barrage fait l'objet d'une demande sociale. La mare, un atout pour le village de Sénou, est très faiblement mise en valeur. Les puits commencent à tarir dès le mois de janvier et sont à sec au mois de mars, privant les femmes de sources de nourriture complémentaire. Le désengagement de la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT) sur certaines activités connexes telle que la riziculture de bas-fond, l'élevage et la gestion des terroirs a handicapé le développement du site. Le niveau de dégradation des ressources naturelles n'est pas aussi alarmant dans ce bas-fond, mais mérite d'être surveillé et maîtrisé. Malgré la proximité du village, la bordure du bas-fond n'est pas convoitée par l'urbanisation.

Demain

Il faudrait revoir la vocation de la mare qui pourrait inclure la pêche comme opportunité. Il faudrait réfléchir sur un modèle de gestion de l'eau pouvant permettre d'atteindre la frange haute du bas-fond où il y a des possibilités d'extension des surfaces cultivables. Dans le même ordre d'idées, les lieux de croisement « *Wouwourini* » et « *Kôchiè* » des axes d'écoulement d'eaux situés à mi-chemin entre les franges moyenne et haute du bas-fond pourraient être aménagés sous forme de retenue d'eau pour faciliter l'irrigation de la frange haute. Il faudrait améliorer la biodiversité forestière déjà présente en réintroduisant les espèces en voie de disparition préférées des populations. Il serait utile d'identifier des parties du bas-fond où l'humidité résiduelle des sols est forte pour faire des cultures de décrue à base de maïs, de sorgho, d'échalote, etc. A l'instar de Doumba, des plantations d'espèces fixatrices des berges telles que *Pennisetum pedicellatum*, *Vetivera nigriflora*, *Cyperus rotundus*, *Saba senegalensis*, *Mitragyna inermis*, *Anogeissus leiocarpa* mériteraient d'être réalisées. Ces mêmes espèces pourraient être plantées sous forme de haies vives tout autour de la mare. Des campagnes de sensibilisation doivent être faites à l'endroit des enfants et des jeunes bergers sur les risques de la baignade au niveau de la mare. Pour mieux préserver les terres, il serait utile d'adopter le système de jachère au niveau de la frange haute du bas-fond et d'éviter le brûlis qui peut détruire la microfaune utile pour le maintien de la bonne structure du sol.

En matière de gestion des déchets des produits chimiques, les bidons ou autres types d'emballage doivent être incinérés dans un endroit spécial choisi par le Service de Protection des Végétaux. Il serait utile d'installer une pépinière forestière dans le village pour assurer l'approvisionnement en plants de bonne qualité en vue de réhabiliter les zones dégradées. Il serait utile d'organiser des visites inter-paysannes entre sites aménagés.

1.5 Diagnostic Socio économique

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

Le nom local du bas-fond de Sénou est Sénou *Falaba*. Ledit bas-fond est exploité par les habitants de Sénou depuis plus de 200 ans. Le tronçon situé sur le terroir villageois serait long de 20 kms (d'après une source locale) et large de 100 m, soit une superficie de 200 ha mais la zone ciblée pour l'aménagement ne porte que sur 65 ha.

Les habitants de Sénou ont fait état d'une volonté de réalisation d'un micro-barrage depuis plus de 10 ans. Ils ont consigné dans le Plan de Développement Social et Economique de la commune de Kémékafo dont Sénou est le chef-lieu, cette volonté d'aménagement. Le souhait de la population serait de disposer d'une ressource en eau permanente en saison sèche en vue d'étendre les surfaces cultivables sur la partie inondable d'une soixantaine d'hectares (notamment pour cultiver de la pomme de terre), de faire de la pisciculture et d'assurer l'abreuvement du bétail. Plusieurs projets (PNIP, IPRO-IRRIGAR) ont visité le bas-fond pour des prospections d'aménagement, qui sont finalement restées sans suite. Le maire de Sénou, informé des activités du PARIIS, a adressé une demande au projet, reçue favorablement et des études pré-aménagement ont été entreprises depuis deux ans. Le choix de l'emplacement du micro-barrage a été décidé par le bureau d'étude mandaté par le PARIIS en collaboration avec la commission locale de suivi du Projet. Le choix de réaliser une seule retenue en aval ne permettra toutefois d'aménager que 19 ha.

1.5.2 Aspects fonciers

Les terres de bonne qualité agricole dans les différentes franges du bas-fond sont des propriétés familiales et l'usage de ces terres dévolu aux femmes, est transmis de la mère à sa belle-fille suivant le critère d'âge tant que la femme reste dans le ménage marital. Pour un allochtone, l'accès au bas-fond passe par une demande de terres avec offre symbolique de colas à la communauté villageoise qui la transmet au Chef de Village pour avis, mais il peut aussi y avoir accès à travers un hôte.

Les parcelles privées à exploitation familiale en maïs, sorgho et cultures maraichères en saison des pluies, sont à signaler dans la frange haute du bas-fond. Le site d'implantation du micro-barrage dans un resserrement du lit mineur, n'est pas sur un site privé mais pourra inonder des parcelles privées.

Les terres de bas-fond appropriées ne font pas l'objet de vente ni de mise en bail, il n'y a donc pas d'accès au bas-fond par achat ou location de terre.

Les cessions de terres au projet d'aménagement et leur réattribution post aménagement

En vue de l'aménagement, le chef de village de concert avec les conseillers villageois et les chefs d'exploitation ou propriétaires terriens du bas-fond, ont accepté de faire des déclarations d'intention de cession de terre. La zone concernée n'est pas clairement établie car l'objectif initial du village était d'aménager 65 ha, mais l'ouvrage prévu par le PARIIS sur le site aval n'impactera au mieux qu'une vingtaine d'hectares. L'aménagement PARIIS ne serait ainsi aux yeux des villageois qu'une étape vers la valorisation de leur bas-fond. Pour atteindre leurs objectifs, il serait nécessaire d'intervenir aussi sur la zone en amont du village, la plus exploitée du bas-fond, en réalisant une série de seuils en travers du lit mineur.

Les concertations autour du foncier, notamment pour les réattributions de parcelles, seront supervisées par la mairie de la Commune de Kemekafo, en lien avec la chefferie villageoise et le comité des plaintes. La situation des détenteurs actuels de droits sur le foncier serait considérée dans la répartition des parcelles aménagées. Mais d'après la commission chargée de la réception des plaintes et du suivi de l'aménagement du bas-fond, toutes les parcelles de la frange basse (lit mineur) et celles de la frange haute qui seront inondées par le barrage, seront mises à la disposition du village pour exploitation afin de rentabiliser l'investissement. C'est seulement à la fin de l'aménagement que les informations sur le nombre et la superficie des parcelles seront connues.

Tous les acteurs impliqués dans l'exploitation du bas-fond ont un regard porté sur une évolution future positive de la zone. La sauvegarde des ouvrages communautaires et leur durabilité seront également liées aux textes juridiques, texte de gestion des ouvrages et statut juridique pour l'organe de gestion de l'ouvrage.

1.5.3 Organisation des usagers du bas-fond

Il n'existe pas d'organisation spécifique pour les activités du bas-fond. Le bas-fond est exploité de façon individuelle par des familles qui détiennent des portions de terre dans le bas-fond. Les groupements féminins ont d'autres objectifs que la production rizicole, le principal étant la production maraichère dans le périmètre collectif de la zone amont.

On dénombre actuellement 5 organisations collectives dans ce village : la Société Coopérative Simplifiée (SCOOPS) *Benkadi* dont la vocation est le maraichage, la Coopérative des producteurs de coton, l'Association des jeunes, la Coopérative des producteurs de céréales et

l'Association des transformatrices de Produits Forestiers Non Ligneux (néré, karité, baobab). Ces groupements ont été mis en place respectivement en 2012, 2008, 2014 et 2020 et comptent 230 membres dont 60% de femmes.

Deux types d'organisation concernent les usagers du bas-fond à savoir les coopératives et les associations. Plus de 75% des exploitants sont dans les coopératives généralement formelles. 13% des exploitations sont affiliées à des associations généralement non formelles. 64% étaient dans la coopérative des femmes maraichères « *Benkadi* » de Senou. 7% étaient respectivement de l'association des jeunes, Coopérative des Producteurs de céréales, Coopérative des Producteurs de coton, Production d'huile de karité et Surveillant de la forêt. L'avantage d'être membre de ces organisations est l'accès aux formations (46 %) et au crédit (38 %).

Tableau 10 Appartenance des usagers du bas-fond à une Organisation villageoise (source Enquête IER/ COSTEA)

Caractéristiques	Senou	
	(n)	(%)
Appartenance à une association, organisation ou groupement agricole		
Aucun	2	13
Coopérative	12	75
Association/ton	2	13
Noms groupements		
Association des Jeunes	1	7
Coopératives des femmes maraichères (Benkadi)	9	64
Coopérative des Producteurs de céréales	1	7
Coopératives des Producteurs de coton	1	7
Production huile de de karité	1	7
Surveillant de la forêt	1	7
Les avantages d'être membre de l'organisation		
Accès aux intrants	2	15
Accès aux formations	6	46
Accès aux crédits	5	38

Echantillon n de 16 usagers du bas-fond

1.5.4 Moyens d'existence et place des catégories vulnérables

Le riz et le maraichage sont les cultures les plus affectées par les déficits hydriques et sont également les activités principales des deux catégories dites vulnérables que sont les femmes et les jeunes. C'est pourquoi la réalisation d'un nouvel aménagement revêt également un intérêt social.

Les jeunes

Les jeunes constituent la principale main d'œuvre des exploitations et sont dépendants des chefs de famille qui contrôlent les productions de céréales et de coton. Cette situation a entraîné un exode des jeunes vers les grandes villes. L'extension des cultures maraichères suite à l'aménagement est une attente spécifique des jeunes pour une recherche d'autonomie.

Les femmes

Les sources de revenu des femmes sont diversifiées avec la combinaison de productions de plateau et de bas-fond et des activités de transformation. Malgré cette diversité de productions,

les femmes restent toujours vulnérables et dépendent en majeure partie de leurs maris ou de leurs enfants.

Elles disposent de petites parcelles dans le bas-fond, qu'elles gèrent de façon autonome pour la consommation familiale et subvenir à leurs besoins. Dotées de moyens très limités, notamment pour acheter des intrants, et d'un manque d'autonomie pour gérer leur calendrier, elles obtiennent de faibles résultats sur leurs parcelles de culture personnelles.

1.5.5 Valorisation des productions, chaînes de valeurs locales et potentiels de débouchés après aménagement

Aperçu de budgets de culture déclarés pour les principales productions du bas-fond (16 personnes enquêtées)

Les spéculations renseignées pour l'échantillon de producteurs enquêtés sont le riz avec 16 parcelles, le mil et le maïs avec respectivement 2 parcelles, et une culture maraichère, l'échalotte. La parcelle de mil porte sur une très grande superficie (6 ha), celle de maïs est également assez grande avec 1 ha, et le riz est cultivé sur des parcelles de 0,5 ha en moyenne. Les rendements des principales spéculations demeurent faibles, les producteurs mettent en cause l'insuffisance des pluies pour boucler le cycle cultural.

L'enquête budget de culture montre que la production du maïs procure un produit brut de 551 250 F CFA sur une parcelle moyenne de 1,05 ha, suivie du riz avec 169 201 F CFA sur une superficie de 0,55 ha. Les superficies moyennes des principales spéculations de l'échantillon apparaissent très élevées ce qui est révélateur d'une grande disponibilité de terre pour quelques familles et les faibles rendements pourraient aussi tenir d'une conduite assez extensive des cultures.

Tableau 11 Budgets de cultures de bas-fond à Senou campagne 2021 (source : Enquête IER/ COSTEA)

Variables/indicateurs	Echalotte (n=1)	Maïs (n=2)	Mil (n=2)	Riz (n=16)
Superficie moyenne de la parcelle (m ²)	25	10500	60500	5500
Rendement (Kg/ha)	32 000	1 838	1 300	985
Prix du produit FCFA/kg	50	300	250	312
Produit brut en valeur (F CFA/parcelle)	4 000	551 250	325 000	169 201
Coûts des semences (F CFA/parcelle)	1 200	6 095	13 202	7 215
Coûts des engrais NPK, Urée (F CFA/parcelle)	240	69 713	74 750	5 638
Coûts des herbicides (F CFA/parcelle)	50	31 125	52 000	7 490
Coûts autres charges (F CFA/parcelle)	-	18 750		1 026
Charges opérationnelles (FCFA/parcelle)	1 490	125 682	139 952	21 369
Marge brute (F CFA/parcelle)	2 510	425 570	185 049	147 832

n= nombre d'observations 16 producteurs cultivant 21 parcelles de bas-fond

La majeure partie des productions du bas-fond sont autoconsommées au village ; les surplus (essentiellement des produits maraichers) n'ont aucun problème d'écoulement d'après les producteurs, le principal marché d'écoulement est Dioïla à 40 km.

Systèmes de financement

Pour la riziculture, les femmes n'ont pas accès à du crédit de campagne. Cependant, il existe des possibilités de financement de campagne pour les cultures principales (maïs, coton) auprès

de la Banque Nationale de Développement Agricole (BNDA) à Dioïla (40 km) et de la caisse de microfinance « KafoJiginew » à Dioïla et Golobougou (25 km).

1.6 Conclusion_ Enjeux clés à considérer pour un aménagement agricole du site

✓ Mise en valeur des potentialités agricole de la zone de bas-fond « amont »

L'engouement suscité par la réalisation d'un aménagement devrait être mis à profit pour booster la production et la productivité agricoles dans le bas-fond de Sénou. Les potentialités agricoles du bas-fond se trouvent essentiellement dans la zone en amont du radier qui va rester en dehors de la zone d'influence du micro-barrage tel que positionné dans l'APD. Pour étendre la submersion à cette zone amont, l'installation d'ouvrages complémentaires tels que des seuils sera nécessaire.

✓ Consensus sur la gestion de l'eau et des terres

La redistribution des terres et la gestion de l'eau seront des enjeux majeurs de l'après micro-barrage. Pour cela, des réunions doivent être organisées pour que les principes d'entente soient actés avant l'achèvement du barrage. La population est par ailleurs d'accord de (i) créer des organes de gestion pour l'eau, le pastoralisme, etc., (ii) mettre en place une clé de répartition des terres en attribuant le même nombre d'hectares par habitant en fonction de l'âge, (iii) acter l'engagement pris de ne point remettre en cause ce qui sera décidé collectivement.

✓ L'adaptation des pratiques culturales

La riziculture est actuellement centrée sur des variétés locales. De bonnes pratiques agricoles respectueuses de l'environnement telles que l'utilisation de la fumure organique sont à promouvoir. Les technologies mises au point par l'IER seraient à tester pour les adapter aux réalités des acteurs concernés (annexes 2 et 3). Notamment des conseils sur les dates de semis du riz sont à vulgariser, on a vu que la 3^{ème} décade de juin est en moyenne, la période optimale pour des variétés de cycle 120 jours.

✓ Gestion des polluants

Les emballages usagés des pesticides constituent une source de pollution sous-estimée par les producteurs. La gestion de ces déchets mérite davantage d'attention, en conformité avec les conseils fournis par le Comité Sahélien des Pesticides.

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

2.1 Option d'aménagement retenue

2.1.1 Choix du site

L'aménagement consiste en un micro-barrage de 2,5 m de hauteur placé sur un site de resserrement du bas-fond à 500 m en aval du radier de la route Sénou –Dioïla. Il inondera une surface de 4,35 ha pour une capacité de stockage de 36 933 m³. (Figure 17). La contrainte à respecter pour le dimensionnement du barrage est un calage du déversoir à la cote 356,75 m afin de ne pas noyer le radier de la route de Dioïla.

La contribution prévue des populations à la réalisation de l'ouvrage est la participation physique pour la collecte des moellons.

L'ouvrage doit permettre de couvrir une superficie de 5,74 ha pour la riziculture et de 5 ha de maraichage pendant la saison des pluies. En contre saison, il permettra de continuer le maraichage sur une superficie de 3 ha.

L'APD prend en compte une zone d'aménagement beaucoup plus vaste que la périphérie de la retenue, la surface exploitable après aménagement est estimée à 42 ha, incluant la partie du bas-fond en amont du village (Figure 18).

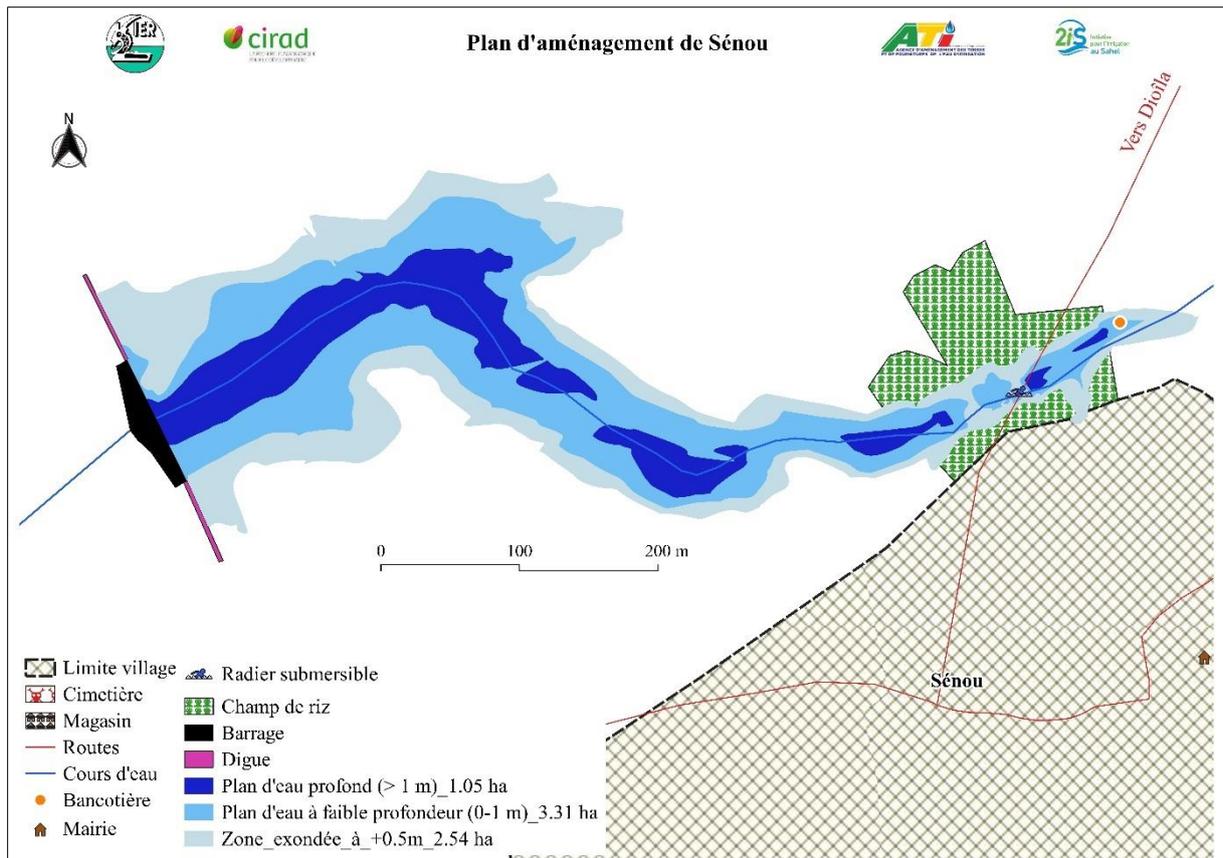


Figure 17: Zone inondée par le micro barrage prévu en aval de la route de Dioïla (carte IER d'après la topographie APD)

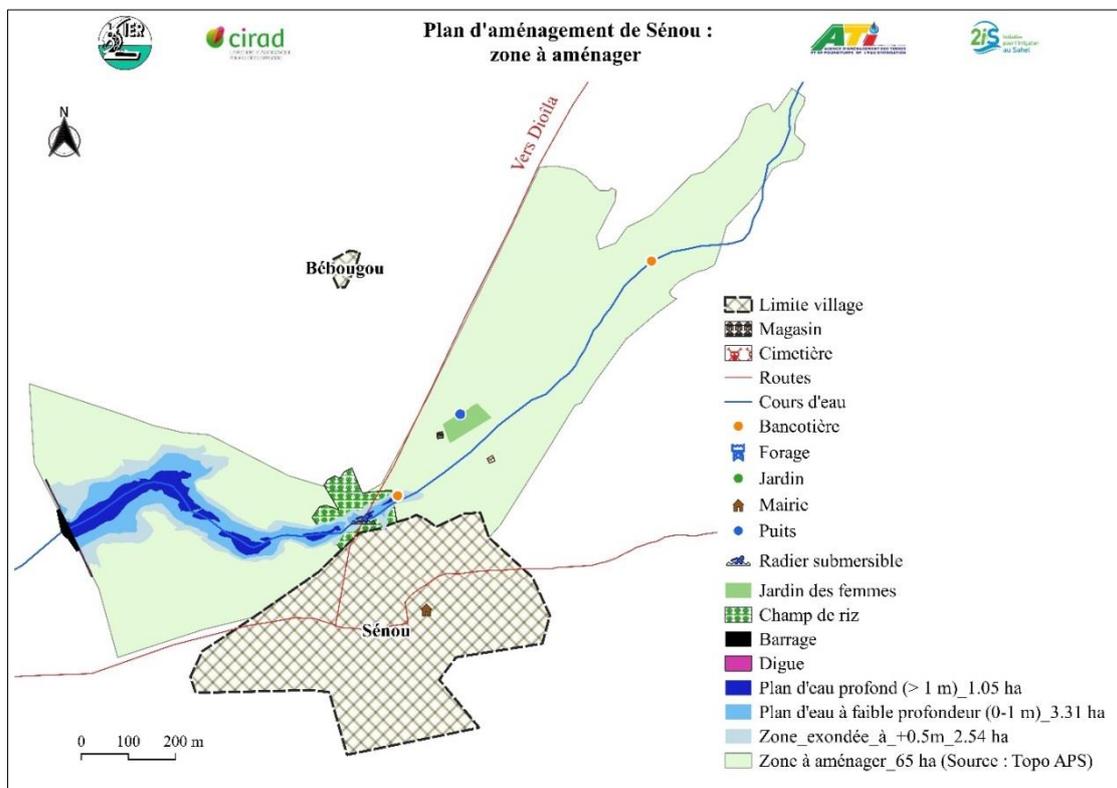


Figure 18: Zone à aménager d'après l'APD

2.1.2 Caractéristiques de la retenue

Les caractéristiques de la retenue qui seront utilisées pour déterminer les conditions d'exploitation de la retenue sont illustrées par le tableau 12 ci-dessous (source étude APD).

Tableau 12 Surface et volume de la retenue en fonction de la cote de l'eau (source APD)

COURBE HAUTEUR-VOLUME-SURFACE				
Côte (m)	Hauteur du Barrage aux différentes côtes	Surface de la retenue en ha	Volume de la retenue (m3)	
354,25	0	0,0043	0	
354,5	0,25	0,0340555	85	
354,75	0,5	0,0973645	329	
355	0,75	0,21364	863	
355,25	1	0,431335	1 941	
355,5	1,25	0,712783	3 723	
355,75	1,5	1,052203	6 353	
356	1,75	1,7409205	10 706	
356,25	2	2,642667	17 312	
356,5	2,25	3,486842	26 030	
356,75	2,5	4,361404	36 933	Côte du déversoir
357	2,75	5,463808	50 593	
357,25	3	6,9061	67 858	
357,5	3,25	8,5923855	89 339	
357,75	3,5	10,663293	115 997	
358	3,75	14,622878	152 554	

Les figures 19, 20 et Figure 21 ci-dessous illustrent respectivement les courbes hauteur-volume, volume-hauteur et hauteur-profondeur qui permettent d'établir la courbe d'exploitation de la retenue.

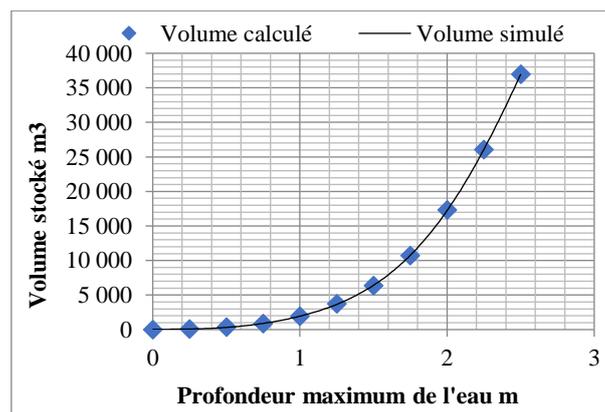


Figure 19 : Courbes d'exploitation de la retenue d'eau : courbe hauteur - volume

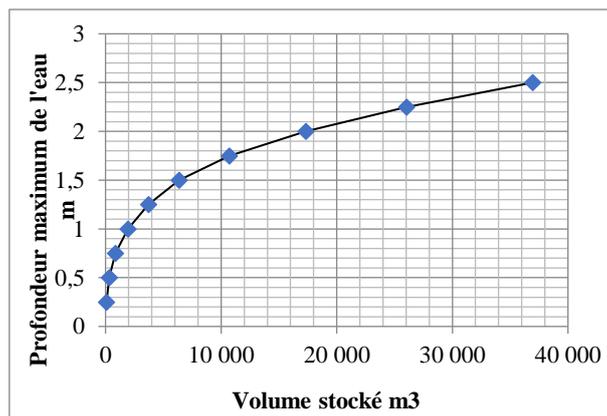


Figure 20 : Courbes d'exploitation de la retenue d'eau : courbe volume - hauteur

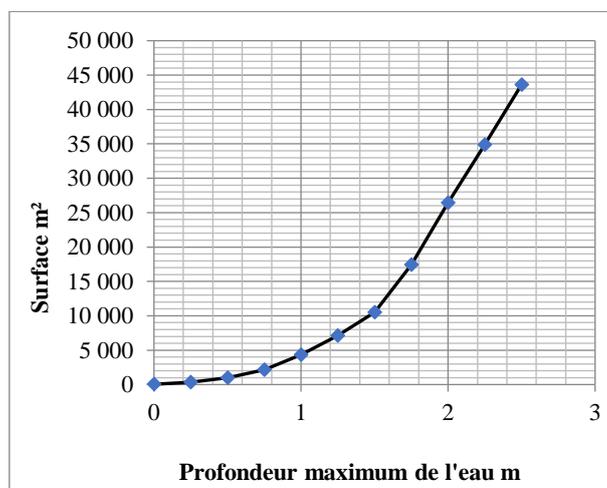


Figure 21: Courbes d'exploitation de la retenue d'eau : courbe hauteur - surface

2.1.3 Remplissage de la retenue en année sèche

Vue sa relativement faible capacité de stockage (36 933 m³) il y a tout lieu de penser que même en année décennale sèche (volume écoulements estimés à 357 156 m³) la retenue sera remplie et déversera (apports 10 fois supérieurs à la capacité de stockage).

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

Le volume des apports annuels moyens de sédiments (E) m³/an a été évalué dans l'APD en utilisant les formules de *CIEH-EIER (Gresillon)* et celle de *Gottschalk*. La formule de *Collet* aussi couramment utilisée dans la région conduit à une estimation beaucoup plus faible du volume moyen des apports comme illustré par le tableau 13 ci-dessous. Ce tableau montre que les formules utilisées par l'APD conduisent à une estimation de la durée théorique de remplissage par les sédiments de 2,5 à 4 fois supérieure à celle obtenue par la formule de *Collet*.

Tableau 13 Comparatif des résultats d'évaluation du volume moyen d'envasement annuel de la retenue d'eau de Sénou par différentes formules d'estimation

Paramètres	Formule COLLET	Formule GOTTSCHALK	Formule CIEH-EIER
	$E = 623 Q I$	$D = 260 S^{-0.1}$	$D = 700 (P/500)^{-2.2} S^{-0.1}$
		$E = D S$	$E = D S$
Q débit moyen naturel	2,6 m ³ /s		
I pente moyenne du cours d'eau	0,33%		
S surface du bassin versant		10,47 Km ²	10,47 Km ²
P pluie moyenne annuelle			976,71 mm
D dégradation spécifique		205,57m ³ /Km ²	126,86
E volume moyen envasement annuel	534 m ³ /an	2152 m ³ /an.	1328 m ³ /an.
Nombre d'années pour combler 25% du volume de la retenue	17 ans	4 ans	7 ans
	10 ans		
Nombre d'années pour combler 50% du volume de la retenue	35 ans	9 ans	14 ans
	19 ans		

Ces estimations prévoient en moyenne un comblement de 25% de la retenue en 10 ans. Cela est mécaniquement dû à la faible capacité de la retenue. A contrario cette faible capacité conduit à une surestimation de l'envasement dans la mesure où elle induit des déversements importants en période de crue qui évacuent en partie des sédiments en suspension. Ces résultats attirent l'attention sur la nécessité d'aménagement anti érosif et d'une ouverture des vannes lors des premières pluies ruisselantes pour évacuer le maximum de sédiments.

2.2 Attentes des usagers du bas-fond

Les habitants prévoient que ce micro-barrage permette :

- le développement d'activités de contre saison comme le maraichage, et l'abreuvement grâce à une remontée de la nappe phréatique permise par la retenue.
- l'introduction de nouvelles cultures à savoir les bananeraies, les vergers de papayer, les échalotes, la tomate, le niébé, l'aubergine, etc. ;
- le développement de la pisciculture ;
- la réintroduction des espèces disparues (*Elaeis guinensis*, *Raphia sudanica*...);

Ils attendent que, de par sa conception et son calage, cet ouvrage évite tout risque :

- de submersion du radier actuel, voire d'enclavement du village (selon le PARIIS cette dimension a été prise en compte par la réalisation d'un nouveau radier ou d'un pont pour le passage) ;
- d'exposition du village aux inondations ;

Ils désirent la mise en place d'une clé de répartition des terres de sorte à attribuer une superficie par habitant.

2.3 Impact de l'aménagement sur la mise en valeur du bas fond prévu par l'APD

La proposition d'aménagement de l'APD prévoit une forte extension des superficies cultivées en riz, maïs et maraichage en hivernage et contresaison cf tableau 14-dessous

Tableau 14 Hypothèses d'évolution des surfaces cultivées (ha) du bas fond de Sénou après aménagement d'après l'APD

Saison	Cultures	Etat actuel avant aménagement	Après aménagement
HIVERNAGE	Riz	0,7 ha	5,7 ha dont 1,6 ha riz flottant lame d'eau comprise entre 0,6 m et 1.3 m 4,1 ha riz dressé (lame d'eau inférieure à 0,6m)
	Sorgho	36 ha	-
	Mais	2,8 ha	31 ha
	Maraîchage	N r	6 ha
CONTRE SAISON	Maraîchage	-	3 ha

La proposition décrite par l'APD suscite quelques inquiétudes à la population liées au fait que :

- le plan d'eau se limitera à peine aux alentours du village de Sénou alors que la population avait imaginé un plan d'eau atteignant le hameau de Togolabougou en amont.
- la retenue va provoquer une augmentation du niveau de l'eau transitant par le radier qui sert d'accès au village.
- la réalisation de l'aménagement inondera certaines cultures riveraines en amont du radier.

A contrario l'intérêt perçu du barrage est sa contribution à la recharge des nappes et son apport pour contrer des poches de sécheresse.

2.4 Courbe d'exploitation de la retenue

2.4.1 Ressources en eau au 1^{er} Octobre

Cette courbe 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 4% et 7 % conforte cette hypothèse.

2.4.2 Estimation des pertes diminuant les disponibilités en eau

2.4.2.1 Estimation des pertes par évaporation.

Les pertes dues à l'évaporation du plan d'eau sont estimées comme dans l'APD en utilisant la formule proposée par Pouyaud ORSTOM. L'évaporation journalière $E_{j_{ret}}$ (mm/j) est estimée à partir de l'évaporation Bac Classe A E_{j_A} mm/j par l'équation $E_{j_{ret}} = 1,664E_{j_A}^{-0.398} \cdot E_{j_A}$

2.4.2.2 Les pertes par infiltration

Les pertes par infiltration dépendent de la nature du sol de la cuvette qui a été appréciée par des points de mesures. Les sols identifiés sont essentiellement argilo-limono à limono-sableux en surface par endroit, de l'argile et de concrétions ferrugineuses en profondeur des puits.

L'infiltration d'une retenue est variable dans le temps. Les mesures faites sur les bassins versant 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 ». Ces valeurs ont été également recommandées dans « le manuel technique standards minima pour concevoir, réaliser et gérer les petits barrages au Mali publié par la GIZ. L'APD a retenu une moyenne de ces valeurs soit 1,5mm/j.

2.4.3 Estimation des besoins en eau

Les besoins en eau (idem APD) comprennent ceux du riz, maraîchage et l'abreuvement des animaux.

2.4.3.1 Estimation des besoins en eau d'irrigation des cultures

Le calendrier cultural des cultures de bas fond est illustré par la Figure 22 ci-dessous.

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Riz pluvial												
Riz inondé												
Maraichage												

Figure 22: Calendrier cultural

- 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 les besoins.

2.4.3.2 Maraichage

Les besoins en eau ont été estimés par notre expertise en moyenne à 50 m³/j/ha en saison sèche froide et 70 m³/j/ha en saison sèche chaude. L'APD indique une valeur intermédiaire de 55,57 m³/j/ha.

2.4.3.3 Estimation des besoins en eau du Cheptel (Idem APD)

Le Cheptel du village est estimé 2850 UBT. Pour une consommation spécifique de 0,04m³/j/UBT soit 40l/j/UBT, la consommation journalière de l'ensemble du cheptel est de 114 m³/j.

La répartition saisonnière de cette consommation est illustrée ci-dessous

- Octobre – Novembre : 25% de prélèvement au barrage soit 29 m³/j
- Décembre – Mai : 100% de prélèvement au barrage avec l'absence d'autres sources d'abreuvement, soit 114 m³/j.

2.4.4 Etablissement de la courbe d'exploitation de la retenue

2.4.4.1 Méthode d'établissement de la courbe

Cette courbe 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

La courbe d'exploitation est calculée 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).

Ce bilan d'eau décadaire comprend :

1. la soustraction des besoins exprimés en m³ (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) ;
2. l'estimation de 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. ;
3. On détermine H (i), hauteur maximum de l'eau stocké dans la retenue en fin de décade i, par soustraction de H_{int} (i) des lames évaporées et infiltrées
4. 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.

2.4.4.2 Etablissement de la courbe

Vue la faible capacité de la retenue, la courbe a été établie en privilégiant l'abreuvement et la riziculture de sorte à libérer des surfaces inondées sur lesquelles il sera possible de mettre en place des cultures de contre saison irriguées à partir de la nappe qui a été rechargée par la retenue. Le processus de calcul sous Excel est illustré par la Figure 23 ci-dessous.

Decade	Volume m ³ début décade	Abreuvement		Pompage maraichage		V	H	Perte infiltration m		Perte évaporation			H Final	V final	
		m ³ /jour	decade	surface	Vol/ha/jour			decade	intermédiaire	intermédiaire	jour	decade			EV bac A dec
Dec1_Oct	36933 m ³	29 m ³ /j	285 m ³	0	50 m ³ /j	0	36648 m ³	2,49 m	0,0015 m	0,015 m	0,061 m	0,808	0,050 m	2,43	33829 m ³
Dec2_Oct	33829 m ³	29 m ³ /j	285 m ³	0	50 m ³ /j	0	33544 m ³	2,42 m	0,0015 m	0,015 m	0,064 m	0,795	0,051 m	2,36	30674 m ³
Dec3_Oct	30674 m ³	29 m ³ /j	285 m ³	0	50 m ³ /j	0	30389 m ³	2,35 m	0,0015 m	0,015 m	0,076 m	0,742	0,056 m	2,28	27271 m ³
Dec1_Nov	27271 m ³	29 m ³ /j	285 m ³	0	50 m ³ /j	0	26986 m ³	2,27 m	0,0015 m	0,015 m	0,073 m	0,755	0,055 m	2,20	24355 m ³
Dec2_Nov	24355 m ³	29 m ³ /j	285 m ³	0	50 m ³ /j	0	24070 m ³	2,19 m	0,0015 m	0,015 m	0,075 m	0,747	0,056 m	2,12	21600 m ³
Dec3_Nov	21600 m ³	29 m ³ /j	285 m ³	0	50 m ³ /j	0	21315 m ³	2,11 m	0,0015 m	0,015 m	0,076 m	0,741	0,057 m	2,04	18819 m ³
Dec1_Dec	18819 m ³	118 m ³ /j	1180 m ³	0	50 m ³ /j	0	17639 m ³	2,01 m	0,0015 m	0,015 m	0,080 m	0,729	0,058 m	1,94	15630 m ³
Dec2_Dec	15630 m ³	118 m ³ /j	1180 m ³	0	50 m ³ /j	0	14450 m ³	1,89 m	0,0015 m	0,015 m	0,081 m	0,724	0,059 m	1,82	12506 m ³
Dec3_Dec	12506 m ³	118 m ³ /j	1180 m ³	0	50 m ³ /j	0	11326 m ³	1,77 m	0,0015 m	0,015 m	0,094 m	0,681	0,064 m	1,69	9735 m ³
Dec1_Jan	9735 m ³	118 m ³ /j	1180 m ³	0	50 m ³ /j	0	8555 m ³	1,63 m	0,0015 m	0,015 m	0,086 m	0,708	0,061 m	1,55	7239 m ³
Dec2_Jan	7239 m ³	118 m ³ /j	1180 m ³	0	50 m ³ /j	0	6059 m ³	1,47 m	0,0015 m	0,015 m	0,085 m	0,709	0,060 m	1,40	5266 m ³
Dec3_Jan	5266 m ³	118 m ³ /j	1180 m ³	0	50 m ³ /j	0	4086 m ³	1,28 m	0,0015 m	0,015 m	0,098 m	0,670	0,066 m	1,20	3392 m ³
Dec1_Fev	3392 m ³	118 m ³ /j	1180 m ³	0	50 m ³ /j	0	2212 m ³	1,04 m	0,0015 m	0,015 m	0,106 m	0,650	0,069 m	0,95	1743 m ³
Dec2_Fev	1743 m ³	118 m ³ /j	1180 m ³	0	50 m ³ /j	0	563 m ³	0,61 m	0,0015 m	0,015 m	0,109 m	0,642	0,070 m	0,52	381 m ³
Dec3_Fev															
Dec1_Mar															
Dec2_Mar															
Dec3_Mar															
Dec1_Avr															
Dec2_Avr															
Dec3_Avr															

Figure 23 : Feuille de calcul utilisée pour établir la courbe d'exploitation de la retenue

La configuration de la courbe d'exploitation est illustrée par la Figure 24 ci-dessous. Fin Février il ne reste que 381 m³ utilisable pour la pêche.



Figure 24 : Courbe d'exploitation

2.4.4.3 Estimation de la part des différents 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 est de l'ordre de 69% du volume initial stocké comme illustré par la Figure 25 ci-dessous.

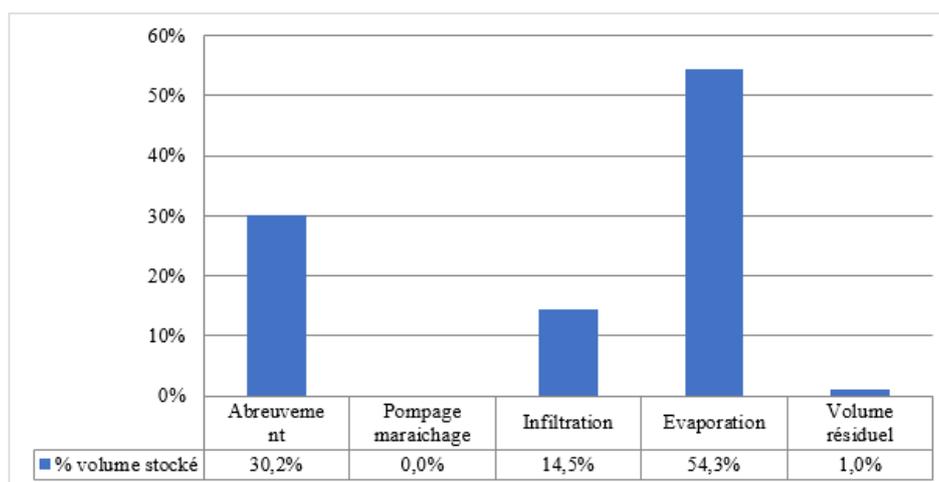


Figure 25: Usages de l'eau de la retenue et pertes (en %) du volume d'eau initial stocké.

2.4.4.4 Surfaces 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). Une surface est considérée apte à l'implantation de cultures maraichères 1 mois après le retrait des eaux (ressuyage, préparation du sol). La Figure 26 illustre l'évolution de ces surfaces en fonction du temps.

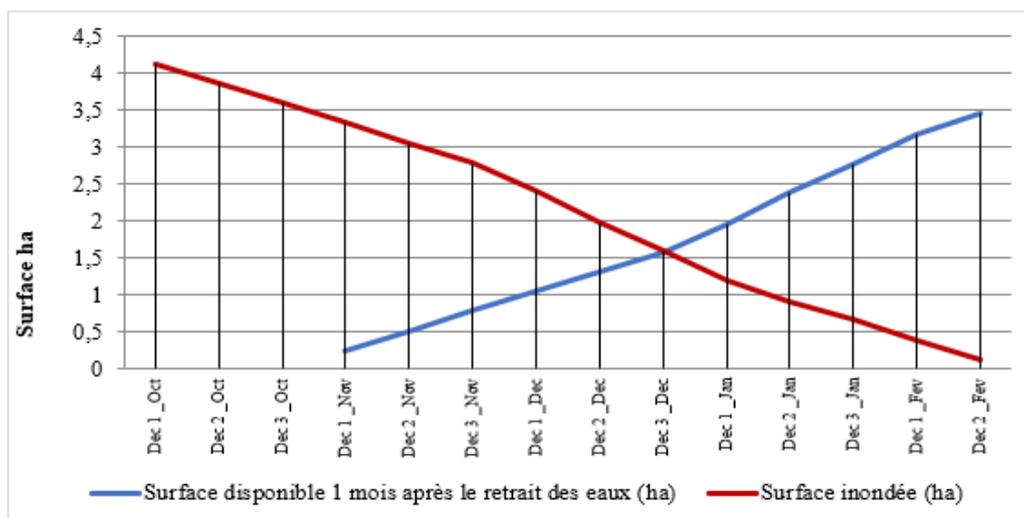


Figure 26 : Evolution des superficies inondées et exondées, 1 mois après le retrait des eaux

Pour une date limite de mise en culture la première décade de Février, des cultures maraichères peuvent couvrir en zone basse 3,17 ha de la surface inondée (1,5 ha en saison sèche froide et 1,67 ha en saison sèche chaude)

En début de saison sèche la dynamique de descente de la nappe sera significativement impactée par le plan d'eau 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 2,54 ha supplémentaires, en bordure du réservoir.

2.4.5 Gestion de la montée du plan d'eau /riziculture

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

La démarche d'estimation suggérée comporte 4 étapes :

- i) Choix des types de riziculture :
 - Riz inondé avec lame d'inondation supérieure à 0,3 m et inférieure à 0,6 m
 - Riz inondé avec bonne maîtrise de l'eau, lame inférieure à 0,3 m et supérieure à 0,1 m
 - Riz pluvial assisté dans la zone où la nappe sub-affleure et avec une lame 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 0,9 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 et les surfaces correspondantes.
- iii) Pour chaque frange, identifier la durée de cycle 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 sont illustrés par la Figure 27. Ils montrent qu'il est possible de sécuriser l'alimentation en eau de 8,38 ha de riz dans et autour de la retenue).

Tableau 15 Caractéristiques des différents types de riziculture après aménagement

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	356,45 m	356,65 m	356,85 m	357,75 m
	cote min	356,15 m	356,45 m	356,65 m	356,85 m
	cote moy	356,3 m	356,55 m	356,75 m	357,3 m
Surface		1,04 ha	0,69 ha	0,79 ha	5,86 ha
Cote lame d'eau	Min	0,30 m	0,10 m	0,00 m	0,00 m
	max	0,60 m	0,30 m	0,1 m	0,00 m
	moy	0,45 m	0,20 m	0,05 m	0,00 m
Durée de cycle		170 j	120 j	110 j	100 j
Décade semis		juin_2		juillet 1	juin_2
Décade repiquage			aout_1		
Décade maturité		dec_1	nov_1	oct_2	sept_3
Décade récolte		dec_2	nov_2	oct_3	oct_1

Décade	Cote max eau retenue	Observation	Frange basse Riz cycle long immersion forte				Frange moyenne Riz repiqué				Frange haute 1 Riz pluvial assisté				Frange haute 2 Riz pluvial de nappe						
			Cote min 356,15		Cote max 356,45 m		Cote min 356,45 m		Cote max 356,65 m		Cote min 356,65 m		Cote max 356,85 m		Cote min 356,85 m		Cote max 357,75 m				
			Surface	1,04 ha	Durée cycle	170 j	Surface	0,69 ha	Durée cycle	120 j	Surface	0,79 ha	Durée cycle	110 j	Surface	5,86 ha	Durée cycle	100 j			
				DAS	h moyenne	Phase		DAS	h moyenne	Phase		DAS	h moyenne	Phase		DAS	h moyenne	Phase			
Dec 1_Juin	356,15 m	cote maximum	1	0,00 m	Semis												1	0,00 m	Semis		
Dec 2_Juin	356,15 m		2	0,00 m														2	0,00 m		
Dec 3_Juin	356,15 m		3	0,00 m															3	0,00 m	
Dec 1_Août	356,25 m	Montée plan d'eau	4	0,05 m	Montée plan d'eau	2		Semis	2	0,00 m	Période critique						4	0,00 m			
Dec 2_Août	356,25 m		5	0,25 m		3	0,05 m	Repiquage	3	0,00 m		5	0,00 m						5	0,00 m	
Dec 3_Août	356,25 m		6	0,35 m		4	0,10 m	Montée plan d'eau	4	0,00 m		6	0,00 m						6	0,00 m	Période critique
Dec 1_Sep	356,25 m		7	0,45 m		5	0,20 m		5	0,05 m							7	0,00 m			
Dec 2_Sep	356,25 m		8	0,45 m		6	0,20 m		6	0,05 m							8	0,00 m			
Dec 3_Sep	356,25 m		9	0,45 m		7	0,20 m		7	0,05 m							9	0,00 m			
Dec 1_Oct	356,25 m		10	0,45 m		8	0,20 m	Période critique	8	0,05 m							10	0,00 m	Maturité		
Dec 2_Oct	356,25 m		11	0,45 m		9	0,20 m		9	0,05 m								0,00 m	Récolte		
Dec 3_Oct	356,25 m		12	0,38 m		10	0,13 m		10	0,05 m											
Dec 1_Nov	356,31 m		13	0,31 m	Période critique	11	0,08 m		11	0,01 m											
Dec 2_Nov	356,31 m		14	0,23 m		12	0,04 m	Maturité	12	0,00 m											
Dec 3_Nov	356,31 m		15	0,15 m			0,00 m	Récolte													
Dec 1_Déc	356,37 m		16	0,11 m																	
Dec 2_Déc	356,29 m		17	0,07 m	Maturité																
Dec 3_Déc	356,19 m			0,02 m	Récolte																
Dec 1_Jan	356,07 m																				
Dec 2_Jan	355,94 m																				
Dec 3_Jan	355,80 m																				
Dec 1_Fev	355,65 m																				
Dec 2_Fev	355,45 m																				

Figure 27 : Gestion de la lame d'eau à la parcelle en fonction des types de riziculture et des franges identifiées

2.4.5.2 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 < 356,15 m) avant la 3^e décade de juillet ;
- assurer une montée progressive du plan d'eau compatible avec la vitesse d'élongation du riz et avec le repiquage (niveau de l'eau < 0,10 m)
- fermer totalement les vannes fin Aout.

Ces règles sont synthétisées dans la cf Figure 28 ci-dessous.

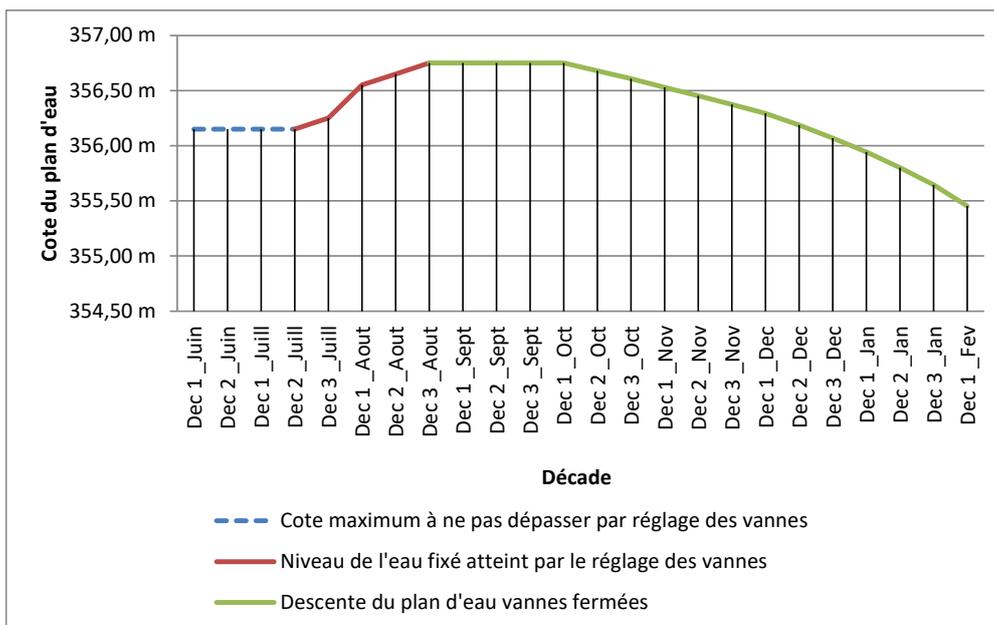


Figure 28 : Gestion de la retenue d'eau du micro-barrage de Sénou pour répondre aux contraintes des trois modes de riziculture

2.5 Inflexions proposées au projet

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

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 16).

La zone exploitable sous l'influence du barrage a été surestimée dans l'étude APD, surtout pour le maraichage en zone haute où l'accès à l'eau sera difficile pour une grande partie de cette zone (les puits seront relativement très profonds).

Si l'objectif de mise en valeur de la zone en amont du radier (route de Dioïla) est maintenu, des aménagements complémentaires avec des petits seuils déversants ou des diguettes en courbes de niveau seront nécessaires pour favoriser la rétention d'eau.

Tableau 16 : Estimation des surfaces cultivables après aménagement (option micro barrage à l'aval du radier)

	Etude APD	Expertise COSTEA
Riz sous très forte submersion h lame d'eau > 0,6 m	4,15 ha	0 Inapte récolte hors d'eau pas faisable avant février
Riz inondé 0,6m < h < 0 m	1,59 ha	1.04 ha
Riz repiqué		0.69 ha
Riz pluvial assisté		0.79 ha
Riz de nappe		5.86 ha
TOTAL RIZ	5,74 ha	8,38 ha
Maraichage en zone haute sur puits sécurisable par remontée nappe	6 ha	2,54 ha
Maraichage en zone basse post inondation	3 ha	3,17 ha
TOTAL MARAICHAGE	9 ha	5,71 ha
Mais	31 ha	
TOTAL MAIS	31 ha	

- **Anticiper les concurrences d'usages notamment entre maraîchage et abreuvement du cheptel en définissant des règles d'accès à la ressource en eau du réservoir**

La retenue prévue à Sénou est d'une capacité limitée avec seulement 37 000 m³, son tarissement interviendra tôt dans la contresaison, au plus tard en mars. Cependant la retenue risque d'être épuisée encore plus rapidement si son accès est libre, notamment en cas de pompage pour irriguer des cultures de bas-versant, maraichage ou fruitiers. Une concurrence entre l'irrigation et l'abreuvement se produirait alors dès le début de la contresaison. Le maraichage de bas de versant dispose d'une ressource alternative, celle de la nappe qu'il conviendrait de mobiliser avant de recourir au pompage sur la retenue. Une règle restreignant les pompages en retenue tant que les puits sur les versants sont alimentés permettrait de prolonger la période où l'eau est disponible notamment pour l'abreuvement du cheptel. Cet usage d'abreuvement mérite une plus grande attention car l'élevage bovin apparaît une activité essentielle du village. Au-delà de sa fonction productive (viande et lait), le cheptel bovin apporte des services cruciaux pour l'énergie de traction et la fourniture de fumier. Ces services devraient être renforcés dans une perspective de réduction des intrants externes et de transition vers l'agro-écologie. L'abreuvement n'apparaît pas suffisamment pris en compte dans le projet, l'aménagement d'une aire de passage des animaux est à considérer.

Bibliographie

FAO and IHE Delft. 2020. Water Accounting in the Niger River Basin. FAO WaPOR water accounting reports. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb1274en>

PARIIS, 2021, Avant Projet Détaillé Définitif - Site de Senou. Groupement BIRA, CIA, GI conseils Aout 2021. 126 p.

PARIIS, 2021, Avant Projet Détaillé Définitif – Rapport socio économique - Site de Senou. Groupement BIRA, CIA, GI conseils, aout 2021. 46 p.

Roudier P., 2008, Vulnérabilité des ressources en eau superficielle d'un bassin soudano-sahélien dans un contexte de changement climatique : approche par indicateurs (bassin du Bani). Mémoire de Master2 Risques naturels, ENGEES, IRD. 72 p.

Annexe 1 : Fréquence de citation des espèces forestières dans le bas-fond de Sénou (source : enquête IER/COSTEA 2022)

Espèces forestières	Effectif	Fréquence de citation (%)
<i>Adansonia digitata</i>	1	0,69
<i>Azelia africana</i>	2	1,38
<i>Anogeissus leiocarpa</i>	2	1,38
<i>Bombax costatum</i>	1	0,69
<i>Ceiba pentandra</i>	9	6,21
<i>Combretum glutinosum</i>	2	1,38
<i>Combretum micranthum</i>	16	11,03
<i>Combretum tomentosum</i>	1	0,69
<i>Cordia myxa</i>	1	0,69
<i>Daniellia oliveri</i>	12	8,28
<i>Erythrophleum guineense</i>	1	0,69
<i>Flueggea virosa</i>	3	2,07
<i>Guiera senegalensis</i>	10	6,9
<i>Isobertinia doka</i>	2	1,38
<i>Jatropha gossypifolia</i>	1	0,69
<i>Khaya senegalensis</i>	19	13,1
<i>Lannea microcarpa</i>	2	1,38
<i>Mitragyna inermis</i>	9	6,21
<i>Ozoroa obovata</i>	1	0,69
<i>Parkia biglobosa</i>	12	8,28
<i>Pericopsis laxiflora</i>	4	2,76
<i>Piliostigma reticulatum</i>	2	1,38
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	1	0,69
<i>Saba senegalensis</i>	1	0,69
<i>Sarcocephalus latifolius</i>	3	2,07
<i>Sclerocarya birrea</i>	1	0,69
<i>Tamarindus indica</i>	1	0,69
<i>Terminalia mollis</i>	5	3,45
<i>Trichilia emetica</i>	8	5,52
<i>Vitellaria paradoxa</i>	12	8,28

Annexe 2 : Caractéristiques de quatre variétés améliorées de riz de bas-fond

(Source : IER)

Variétés améliorées	Lame d'eau (cm)	Cycle (jours)	Rendement (kg/ha)	Observations
KAFACI 1	< 25	127	6000-7000	Résistante à la verse, à l'égrenage, à la sécheresse ; tolérance à la virose, à la cécidomyie, à la sécheresse, aux foreurs de tige ; sensibilité au RYMV
Khao Dawk Mali 105	25 cm ≤ lame d'eau < 50	150	4000	Résistance à la verse et l'égrenage ; tolérance à la pyriculariose, la cécidomyie et aux foreurs de tige ; sensibilité au RYMV
Mut 93-2-2-1-1-4	>50	145	4000	Résistance à la verse et l'égrenage ; tolérance à la pyriculariose, la cécidomyie et aux foreurs de tige

Annexe 3 : Référentiel technique de l'IER pour les cultures maraîchères

✓ **Aubergine africaine** (*Solanum aethiopicum*)

Noms locaux : *Goyodiema, Goyo fiman, Diakatou*

Variétés introduites : *N'Galam, Meketan, N'Goyo, Djamba*

Quantité de semences pour pépinière : 300 g/ha

Durée Pépinière : 30 à 45 jours

Fumure de fond : 10 à 20 t/ha de matière organique bien décomposée et 400 kg d'engrais composé 10-10-20 ou 15-15-15

Fumure d'entretien : 200 kg de complexe 10-10-20 ou 15-15-15 à 20, 40 et 60 jours après repiquage

Rendement : 25 à 40 t/ha.

✓ **Echalote** (*Allium cepa var. aggregatum*)

Noms locaux : *Diabamisenni, Niniodiabani, Nionodiaba*

Variétés introduites : *Tatadiaba, Safiétoudiaba ou N'Galamadian, Maréna, B3diaba.*

Densité de plants/ha : 500 000

Fumure de fond : 10 à 20 t/ha de fumure organique bien décomposée et 360 kg de sulfate de potasse + 200 kg de phosphate d'ammoniaque avant la plantation

Fumure d'entretien : 50 kg/ha d'urée à 2 semaines après plantation et à 3 semaines plus tard

Rendement : 7 à 15 t/ha

✓ **Oignon** (*Allium cepa var. cepa*)

Noms locaux : *Niamédiaba, Diababa*

Variétés introduites : Violet de Galmi, Damani, Safari, Belami, Noflaye

Quantité de semences pour pépinière : 3 à 4 kg/ha

Durée pépinière : 40 à 55 jours

Fumure de fond : 10 à 20 tonnes de matière organique bien décomposée et 250 kg de complexe 15-15-15

Fumure d'entretien : 200 kg de complexe 15-15-15 et 50 kg d'urée aux 20^e et 40^e jours après la mise en place

Rendement : 25 à 40 t/ha

✓ **Tomate** (*Lycopersicon esculentum*)

Noms locaux : *Nagoyo, Tamati*

Variétés introduites : F1 Cobra23, F1 Thorgal, F1 Jaguar plus, F1 Jaguar, UC82 (Gros grain), Roma VFN (Boléni)

Quantité de semences pour pépinière : 300 g de graines/ha

Durée pépinière : 21 à 30 jours

Fumure de fond : 20 à 30 t/ha de matière organique bien décomposée et 400 kg/ha d'engrais complexe 15-15-15

Fumure d'entretien : 200 kg de complexe 15-15-15 après 15, 30, 50 et 80 jours

Rendement : 20 à 50 t/ha en saison sèche et 10 à 25 t/ha en hivernage.

✓ **Pomme de terre** (*Solanum tuberosum* L.)

Variétés introduites : Claustar, Sahel, Diamant, Spunta

Fumure de fond : A mettre avant plantation 20 à 30 t/ha de fumier + 400 kg/ha de sulfate de potasse + 100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque

Fumure d'entretien : A apporter 3 semaines après la levée des plants, 100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque + 50 kg/ha d'urée ; à apporter 3 semaines après le précédent épandage, 50 kg/ha d'urée

Plantation : Lorsqu'on dispose de gros tubercules ou si on manque de semences, on peut fractionner les tubercules dans le sens de la longueur. Dans ce cas, il faut désinfecter les fractions de tubercules en les trempant dans un mélange à base de fongicide et les laisser sécher pendant quelques minutes à l'ombre

Distance entre les tubercules sur billons : 0,60 m entre les lignes et 0,30 à 0,40 m entre les plants, soit une densité de 55 555 à 41 666 tubercules/ha

Distance entre les tubercules sur planches : 0,40 m entre les lignes et 0,40 m entre les plants, soit une densité de 62 500 tubercules/ha

Cycle végétatif : 75-100 jours selon les variétés

Récolte : Lorsque la moitié des plants est desséchée

Rendement : 10 à 40 t/ha suivant les zones

Conservation : 1 à 3 mois sous abri frais, ventilé et obscur

Transformation : Découpage en rondelles et sécher.