

Caractérisation et normes techniques de réalisation des demi-lunes multifonctionnelles et classiques selon les types de sol dans l'Ouest du Niger: Cas de Sokorbé (Loga)

[Characterization and technical standards for the construction of multifunctional and classic half-moons according to soil types in western Niger: The case of Sokorbé (Loga)]

Seidou Ousmane Idrissa¹, Tidjani Adamou Didier², Amadou Cheffou Barré³, and Ambouta Karimou Jean-Marie⁴

¹Doctorant ED, SVT de l'Université de Niamey, Niger

²Professeur titulaire à la Faculté d'Agronomie de l'Université de Niamey, Niger

³Ingénieur agronome, président du conseil d'administration de l'ONG Garkua, Niger

⁴Professeur Emérite à la Faculté d'Agronomie de l'Université de Niamey, Niger

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study, conducted in the commune of Sokorbé (Western Niger), aimed to characterize half-moons (multifunctional and conventional) and to assess the applicability of technical standards according to soil types. To this end, three experimental sites were installed on three distinct landscape units: the high plateau, the low plateau, and the glaciais, where nine half-moon models were studied. Data were collected primarily based on measurements during and after construction of the structures. The results showed that the single-trench, multi-trench, and conventional models are more suitable for agricultural production due to the large number of zaïes. In terms of water storage capacity, the conventional and single-trench models proved more efficient, with 1.25 m³ and 1.16 m³ per structure, respectively. Regarding compliance with technical construction standards, structures built on the glaciais are closer to theoretical standards than those built on the plateaus. An assessment of construction time shows that the time taken to complete structures on the glaciais is shorter than that on the plateaus. 75% of structures per unit area are completed in less than 60 minutes on the glaciais, compared to 50% on the plateau soils. Structures requiring maintenance have an average lifespan of four years, twice that of structures that have not received maintenance. Therefore, the construction context and the objectives should guide the choice of half-moon structures in the Sahel.

KEYWORDS: multifunctional half-moon, classic half-moon, technical standard, soil types, Sokorbé, West Niger.

RESUME: Cette étude, conduite dans la commune de Sokorbé (Niger-Ouest), a pour objectif d'une part de caractériser les demi-lunes (multifonctionnelles et classiques) et d'autre part d'apprécier l'applicabilité des normes techniques selon les types de sol. A cet effet trois sites expérimentaux ont été installés sur 3 unités paysagères distinctes à savoir, « le haut plateau, le bas plateau et le glaciais » où 9 modèles de demi-lunes ont été étudiés. Les données ont été collectées essentiellement sur base des mesures pendant et après réalisation des ouvrages. Les résultats ont montré que les modèles mono-tranchée, poly-tranchées et le modèle classique sont plus aptes à la production agricole du fait du nombre important des zaïes. En termes de capacité de stockage d'eau, les modèles classique et mono-tranchée se sont avérés plus performants avec respectivement 1,25 m³ et 1,16 m³ par ouvrage. Quant aux respects des normes techniques de réalisation, les ouvrages réalisés sur le glaciais sont plus proches des normes théoriques par rapport aux ouvrages réalisés sur les plateaux. L'évaluation de la durée de confection des ouvrages montre que le temps mis pour réaliser les ouvrages sur les glaciais est plus court que celui mis sur les plateaux. 75% des ouvrages par unité de surface sont confectionnés en moins de 60 minutes sur les glaciais contre 50% sur les sols des plateaux. Les ouvrages avec entretien ont une durée de vie moyenne de 4 ans, soit le double des ouvrages n'ayant pas bénéficié d'entretien. De ce fait le contexte de réalisation et les objectifs visés doivent orienter le choix des ouvrages de type demi-lune au Sahel.

MOTS-CLEFS: demi-lune multifonctionnelle, demi-lune classique, norme technique, types de sol, Sokorbé, Niger-Ouest.

1 INTRODUCTION

La dégradation des sols est un facteur déterminant de la faible productivité agricole, de la pauvreté et d'autres problèmes sociaux et environnementaux au Niger. La lutte contre la dégradation des sols représente un enjeu capital pour les populations du Sahel. Elle se traduit depuis plusieurs décennies par le déploiement de projets de gestion des eaux et des sols dans l'ensemble de la région soudano-sahélienne [16].

Le gouvernement du Niger a commencé à accorder plus d'importance au développement durable et à la préservation de l'environnement après les sécheresses des années 1970. C'est dans cette logique qu'il entreprit plusieurs mesures visant l'amélioration du potentiel productif et la préservation de l'environnement qui sont inscrites dans plusieurs stratégies et politiques et dans les différents plans quinquennaux. C'est ainsi que naît l'opération « Sahel vert ». Cette orientation a été renforcée après le débat de Maradi en 1984 visant la réhabilitation de l'environnement et le développement agricole avec l'institution des projets intégrés [11].

Plusieurs expériences ont déjà été menées les années antérieures dans la lutte contre la désertification. Il faut cependant signaler, que la plupart de ces expériences se passaient en l'absence d'un cadre stratégique et institutionnel approprié permettant une cohérence d'ensemble [11]. Les premières actions en matière de CES/DRS ont commencé autour des années 1960 avec les interventions du CTFT/ORSTOM dans le département de Tahoua et se sont ensuite poursuivies à travers plusieurs projets financés par le Fonds Européen de Développement (FED, la Coopération Suisse, l'ONG CARE International, CWS, la coopération allemande à travers le Projet Productivité Tahoua et le projet Tarka, la FAO à travers le Projet Intégré Keita, etc [4]. Des techniques utilisées par les différents projets et programme la plus répandues est la demi-lune du fait de sa simplicité de mise en œuvre et de son adaptabilité selon que la terre est à vocation agricole ou sylvopastorale. Depuis 2017, de nouveaux modèles et des nouvelles variantes des demi-lunes ont été proposés par les partenaires locaux de mise en œuvre du « Programme Alimentaire Mondial (PAM) ». Parmi ces variantes on note la prédominance de la demi-lune dite « multifonctionnelle » dont la connaissance scientifique à cette date, reste très limitée.

Il est indéniable que le bon fonctionnement de ces ouvrages ainsi que leur durabilité sont fortement liés à l'application des normes techniques tout en tenant compte des caractéristiques du milieu géomorphologique et du type de sol. D'après [2], l'adaptation des pratiques aux types de sols pour assurer un meilleur stockage et infiltration des eaux de pluie et réduire le phénomène d'érosion est une des conditions de réussite des pratiques GDT.

Plusieurs études ont fait cas du non-respect des normes techniques dans la réalisation des demi-lunes sur les sites récupérés [3]; [10]; [12] cette situation est généralement attribuée au faible niveau technique des communautés mais aussi à la faible contextualisation des techniques aux caractéristiques du milieu local (pente du terrain, états de surface et type de sol, pluviométrie). De plus l'absence des données sur le temps nécessaire à la réalisation d'une demi-lune selon les modèles, la nature du sol et la motivation du bénéficiaire n'ont pas permis aux acteurs de mieux évaluer le rendement homme/jour et à adopter un modèle en fonction du contexte. Cette étude a pour objectif de caractériser les différents modèles de demi-lune « multifonctionnelle et classique » et d'apprécier l'applicabilité des normes techniques selon les types de sol.

2 METHODOLOGIE

2.1 LA ZONE D'ÉTUDE

Cette étude a été réalisée sur trois sites: le haut plateau de Goubey, le bas plateau de Sinsan et le glacis de Baziga. Tous ces sites sont situés dans la commune rurale de Sokorbé, département de Loga (Dosso).

Le haut plateau de Goubey: il s'agit d'un plateau gréseux correspondant à la haute surface sommitale des formations du Continental Terminal de l'Ouest nigérien (altitude environ 250 m) présentant de grandes surfaces de sol nu, encrouté, pavé de graviers et de cailloux, laissant apparaître localement quelques touffes d'arbustes à dominance de combrétacées et un tapis herbacé quasiment nul.



Fig. 1. *Vue de l'état de surface du plateau de Goubey avant la réalisation des demi-lunes*

Le bas plateau de Sinsan: C'est un plateau gréseux affaissé (altitude inférieure à celle de la surface sommitale des formations du Continental Terminal de l'Ouest nigérien), très encrouté avec une très faible rugosité en surface, très peu boisé avec dominance de combrétacées et sans tapis herbacé. Le sol est très graveleux et compacté sur une profondeur d'au moins 90 cm (Figure 2). C'est aussi une unité à vocation sylvopastorale avec présence d'anciens aménagements de types banquettes creusées dans les années 2000. Au total 54 hectares de terres ont été restaurés en 2021 et 2022 par la confection des ouvrages CES/DRS notamment les demi-lunes « multifonctionnelles et classiques ». Les coordonnées du centre du site sont: N: 13°33'12.4"; E: 003°05'23.6".



Fig. 2. *Vue de l'état de surface du bas plateau de Sinsan avant la réalisation des demi-lunes*

Le haut glacis de Baziga: Cette unité correspond à la partie haute d'une « jupe sableuse » ceinturant la base du talus du plateau. Elle est fortement entaillée par un ravinement actif provenant du plateau amont. Entre les ravines, le sol de couleur rouge est décapé et encrouté et compacté. C'est une unité exploitée en culture pluviale avec des arbres très dispersés dans les champs. Ce site couvre une superficie de 4 hectares récupérés à l'aide de demi-lunes en 2021 et 2022 (Figure 3). Les coordonnées du milieu du site sont: N: 13°33'33,8"; E: 003°12'10,3".



Fig. 3. Vue de l'état de surface du haut glacis de Baziga avant la réalisation des demi-lunes

2.2 LA MÉTHODE

2.2.1 LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental a été mis en place au niveau des trois unités paysagères à savoir le haut plateau, le bas plateau et le haut glacis, du bassin versant de Sokorbé. Dans chacune des unités, neuf modèles dont huit de demi-lunes « multifonctionnelles » et un de demi-lune dite « classique » ont été confectionnés. La fiche technique des modèles multifonctionnels élaborée par le PAM a servi de base pour les normes techniques de réalisation [19]. Les réalisations ont été faites en 2021, dans des conditions normales (avec le dispositif classique de suivi des réalisations) de conduite des chantiers de récupération des terres. Les travaux de confection des ouvrages ont été conduits par des hommes et femmes de différentes tranches d'âge comprises entre 18 et 54 ans (jeune, personne adulte). Sur chacun des trois sites et pour chaque modèle, 3 ouvrages ont été choisis au hasard sur lesquels les différentes mesures ont été effectuées. Au total 81 ouvrages ont été évalués dans le cadre de ce travail à travers: la recherche documentaire, l'évaluation des différentes caractéristiques des modèles, l'évaluation du temps de réalisation des modèles et l'estimation de la durée de comblement (durée de vie) des ouvrages. Ces ouvrages ont été implantés sur des pentes faibles > à 3%.

2.2.2 LA CLASSIFICATION DES MODÈLES

Les modèles ont été classifiés sur la base des trois (3) paramètres suivants, à savoir: le nombre de zaïs internes (le nombre de zaïs externes restant constant), le nombre et la forme des tranchées (capacité de captage d'eau) et la quantité de fumure organique recommandée. Sur cette base 8 modèles de demi-lunes de type « multifonctionnelles » ont été identifiés sur les sites de restauration des terres financés par le Programme Alimentaire Mondial (PAM) dans les régions de Dosso et Tillabéry. Les activités qui servent de cadre à cette recherche sont mis œuvre par les ONG Garkua et Karkara. Pour évaluer l'application des normes techniques, des mesures ont été effectuées sur les ouvrages juste après leur réalisation. Ces mesures ont porté sur les dimensions des tranchées (profondeur, longueur et largeur), l'écartement entre les zaïs et les dimensions des zaïs (diamètre et profondeur).

2.2.3 LA DETERMINATION DE LA CAPACITE DE CAPTAGE D'EAU

La capacité de captage d'eau de chaque modèle a été déterminée en prenant en compte la longueur, la largeur et la profondeur pour les formes carrées et rectangles. Quant aux formes circulaires comme les zaïs le diamètre et la profondeur sont pris en compte. Pour les modèles ayant plusieurs tranchées, le volume de stockage est égal à la somme des volumes des tranchées. Le volume de tous les zaïs est calculé après semis. La somme des volumes des tranchées et des zaïs constitue la capacité de captage des eaux.



Fig. 4. Vue du stockage de l'eau au niveau des différentes modèles de demi-lunes après une pluie de x mm

2.2.4 CALCUL DE LA HAUTEUR MINIMALE DE PLUIE POUR REMPLIR UN OUVRAGE

La hauteur minimale de la pluie nécessaire pour remplir un ouvrage d'un modèle donné selon le niveau de dégradation (coefficient de ruissellement) a été déterminée sur la base de la formule utilisée par Ambouta Karimou:

$$H_p = C_s \div R \times (S_i - S_o) + S_o \quad (\text{Équation 1})$$

$$H_p = C_s / (R \times (S_i - S_o) + S_o) \text{ avec:}$$

C_s = Capacité de stockage (mm)

S_a = Surface alimentant l'ouvrage en eau = S_i (surface de l'impluvium) + S_o (surface de l'ouvrage)

La hauteur de pluie minimale nécessaire pour remplir les ouvrages est en relation avec plusieurs paramètres notamment la capacité de stockage de l'ouvrage, le coefficient de ruissellement R. Sur la base du volume atteint par ouvrage et selon les types du sol, les hauteurs minimales des pluies pouvant remplir les ouvrages ont été déterminées en estimant les coefficients de ruissellement de chaque unité, selon les états de surfaces observées. A cet effet sur le sol de glakis, le coefficient de ruissellement appliqué est de 70% et 80% pour le sol du plateau.

2.2.5 DUREE DE MATERIALISATION ET DE CONFECTION D'UN OUVRAGE

Sur chacun des trois sites, la matérialisation des maquettes a été faite par une équipe de trois traceurs. Chaque traceur a eu à matérialiser au sol la maquette (design) de tous les 9 modèles. Puis un groupe mixte de 27 participants au travaux, composé des hommes et des femmes des tranches d'âge différentes ont été mobilisés au même moment pour la confection (réalisation physique) des 27 ouvrages en raison de 3 ouvrages par modèle. Pour chaque modèle, le sous-groupe, est formé d'un homme adulte (36 à 55 ans), d'une femme adulte et un jeune homme (18 à 35 ans) avec chacun un ouvrage à confectionner. Les 27 participants ont été mis dans les

conditions réelles des travaux sur les sites avec d'autres participants non suivis. Le temps mis par chaque traceur pour marquer le gabarit de l'ouvrage et par chaque participant pour la réalisation de l'ouvrage a été chronométré et enregistré. Dans la mise en œuvre de ces techniques, la durée de confection joue un rôle important dans la détermination du rendement homme/jour. Cette durée est certainement liée au niveau d'expériences des participants. Les données collectées montrent que la durée peut varier également d'une unité paysagère à une autre.

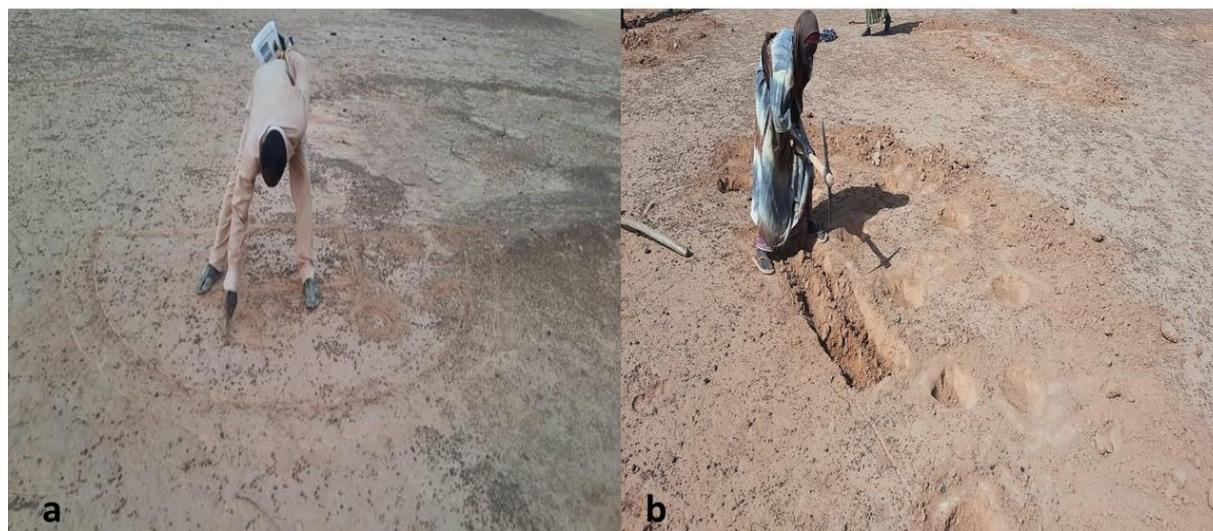


Fig. 5. Vue du processus de matérialisation de la maquette (a) et confection (b) d'ouvrage

2.2.6 COMBLEMENT (SÉDIMENTATION) DES OUVRAGES

Le niveau de comblement des ouvrages a été suivi durant les campagnes pluviales 2021 et 2022, plus précisément à la fin de la saison, et évalué au niveau des tranchées selon qu'elles soient avec entretien ou sans entretien. Les travaux d'entretien consistaient au curage des tranchées et au confortation des bourrelets. La mesure a été faite en partant de la profondeur initiale juste après la réalisation de l'ouvrage. Au niveau de chaque tranchée, la profondeur du sédiment accumulé est mesurée à 3 niveaux (les 2 extrémités de la tranchée et le milieu). Cette mesure est faite à l'aide d'une lame que l'on enfonce à travers les sédiments jusqu'au fond initial de la tranchée. Ensuite, une moyenne de ces 3 mesures est faite. Pour vérifier ces mesures on procède également aux mesures des profondeurs restantes, ensuite on déduit ces dernières la profondeur initiale selon l'équation 2:

$$H_s = P_{mi} - P_{mr} \quad (\text{Équation 2})$$

- H_s : Hauteur du sédiment (cm);
- P_{mi} : Moyenne de la profondeur initiale (cm);
- P_{mr} : Moyenne de la profondeur restante (cm)

Quant au volume du sédiment accumulé, il est déterminé à travers la formule suivante:

$$V_s = St * H_s \quad \text{Équation 3}$$

- V_s : Volume du sédiment par tranchée (m^3);
- St : Surface de tranchée (m^2); H_s : Hauteur du sédiment (m).

La détermination de la sédimentation des zaïs est réalisée de la même manière que celle des tranchées.

Le volume de sédiment par ouvrage est obtenu en additionnant le volume de l'ensemble des sédiments dans les tranchées et dans les zaïs que comporte l'ouvrage. Enfin le taux annuel de comblement est calculé en faisant le volume moyen annuel du sédiment sur le volume initial de l'ouvrage. En effet, le comblement d'un ouvrage peut être synonyme de l'arrêt de certaines fonctions de ce dernier notamment, le captage d'eau donc on peut oser qualifier ce comblement comme la fin de vie de l'ouvrage. Le suivi du taux annuel de ce comblement permet d'évaluer et d'estimer la durée totale de vie de l'ouvrage donc sa durabilité selon qu'il soit suivi ou non (entretien après une pluie).

2.2.7 APPRÉCIATION DE L'ÉTAT DES BOURRELETS

Des mesures sur la dimension du bourrelet notamment la largeur (base du bourrelet) et la hauteur ont été effectuées, après un an de réalisation sur les 81 ouvrages échantillonnés à raison de 3 demi-lunes par modèle et par unité paysagère. Donc les dimensions mesurées sont celles des bourrelets ayant survécu après une campagne pluviale.

2.3 ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données collectées ont été saisie à l'aide du tableur Excel. L'analyse des données a été faite avec le logiciel R. Les tests suivants ont été réalisés: calcul de la moyenne, écart-type et le test ANOVA à un et à plusieurs facteurs.

3 RESULTATS

3.1 TYPOLOGIE DES MODELES DE DEMI-LUNES

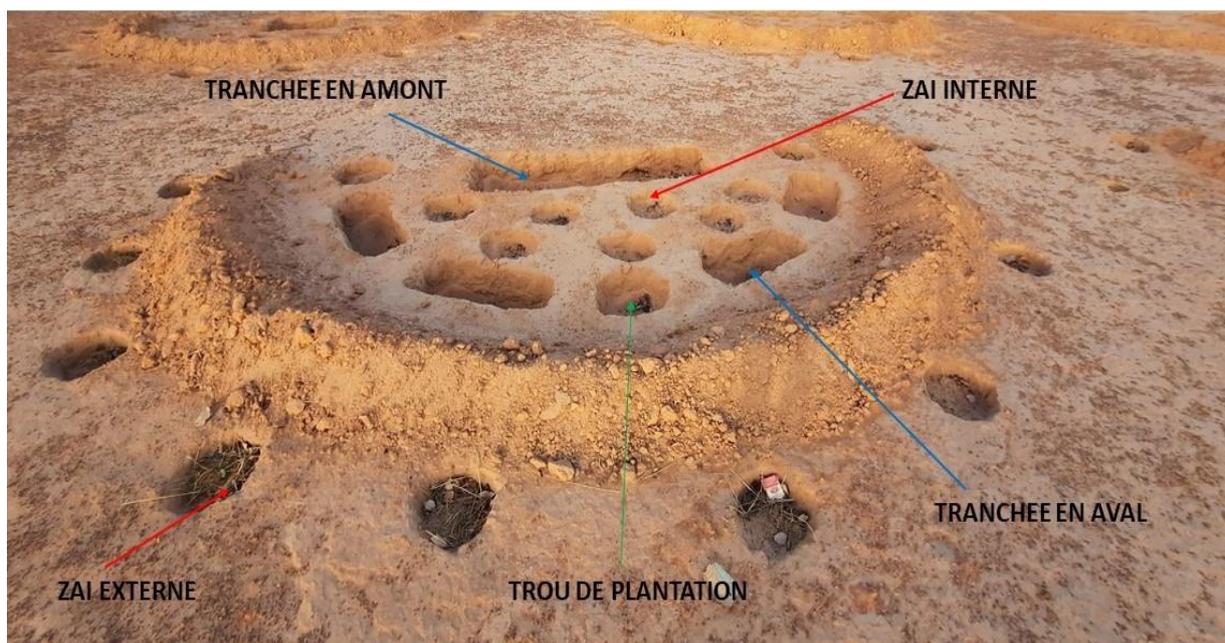


Fig. 6. Vue des différentes parties d'une demi-lune multifonctionnelle

Sur la base des paramètres de classification retenus, 3 grands types de modèles de demi-lunes ont été identifiés:

Le type à « mono-tranchée »: Il est formé des modèles avec une seule tranchée de captage de forme carrée ou rectangulaire située à l'amont de l'ouvrage et du modèle classique avec une excavation en forme de cuvette de l'ensemble de l'ouvrage (Figure 7). Les modèles de ce type sont caractérisés par une tranchée ou cuvette de captage d'eau, des zaïs à l'interne et à l'externe de l'ouvrage. L'écartement entre les zaïs à l'externe est de 100 cm et, à l'interne cet écartement varie entre 50 à 70 cm.

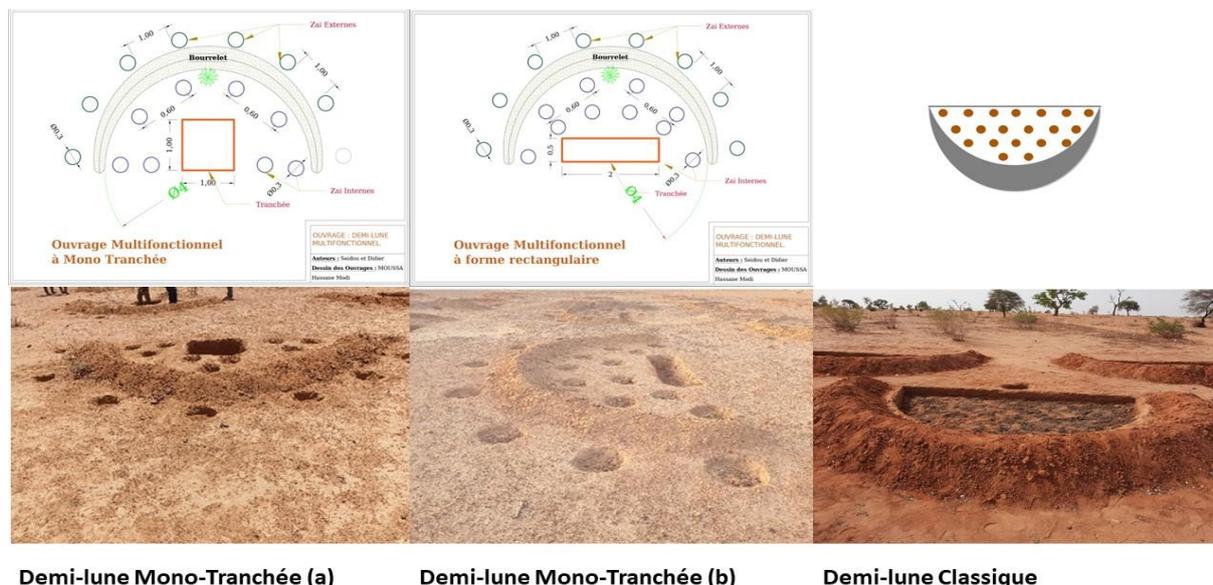


Fig. 7. Vue du type de demi-lunes à « mono-tranchée »

Le type à « bi-tranchées »: Il comprend 3 modèles qui se différencient des autres à travers le nombre de tranchées (2 par ouvrage) (Figure 8). Cependant, au sein de ce type, les modèles se différencient selon la forme de leurs tranchées et/ou le nombre de zais internes. Les modèles bi-tranchées (a) et (b) disposent respectivement de six (6) et cinq (5) zais internes alors que le bi-tranchées (c) ne dispose pas de zais internes mais plutôt d'une cuvette à l'image du modèle classique. L'écartement entre les zais à l'externe est de 100 cm et varie entre 70 et 100 cm à l'interne.



Fig. 8. Vue du type de demi-lunes à « bi-tranchées »

Le type à « poly-tranchées »: Il regroupe tous les modèles avec plus de 2 tranchées de captage positionnées à l'amont et à l'aval de l'ouvrage (Figure 9). Le nombre et la position des zais internes par rapport aux tranchées varient selon le modèle; l'écartement entre les zais externes est de 100 cm alors qu'il varie entre 50 à 70 cm pour les zais internes.

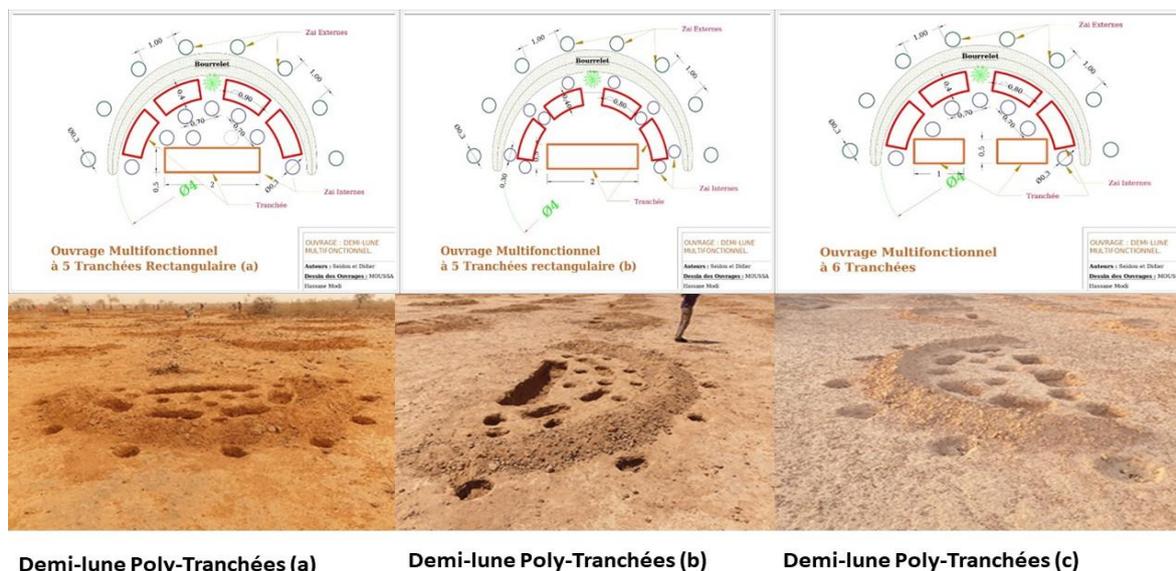


Fig. 9. Vue du type de demi-lunes à « poly-tranchedes »

3.2 MISE EN ŒUVRE DE LA TECHNIQUE ET RESPECT DES NORMES TECHNIQUES

Profondeur des tranchées et volumes de captage

L'analyse du Tableau 1 montre que sur l'ensemble des trois unités paysagères, les normes en termes de profondeurs des tranchées et volume de captage n'ont pas été atteintes. Les profondeurs et les volumes atteints sont inférieurs aux moyennes théoriques. Les différences sont très significatives selon les modèles pour les deux mesures (profondeurs et volumes). Les réalisations faites sur les glacis semblent être plus proches de la norme théorique que celles faites sur les plateaux en raison de la faible dureté du sol et du degré de pénibilité des travaux (Figure 10).

Tableau 1. Profondeurs et volumes de captage atteints selon les unités paysagères

Modèles	CARACTERISTIQUES THEORIQUES		Sol du haut plateau		Sol du bas plateau		Sol du glacis	
	Profondeur (cm)	Volume de stockage (m3)	Profondeur atteint (cm)	Volume de stockage atteint (m3)	Profondeur atteint (cm)	Volume de stockage atteint (m3)	Profondeur atteint (cm)	Volume de stockage atteint (m3)
MTa	100,00	1,16	40,00 ^c	0,56 ^a	40,00 ^d	0,56 ^{bc}	80,00 ^C	0,96 ^{ade}
MTb	50,00	0,68	30,00 ^a	0,48 ^e	20,00 ^b	0,38 ^c	50,00 ^b	0,68 ^{bd}
BITa	40,00	0,74	30,00 ^a	0,59 ^{ab}	30,00 ^a	0,59 ^{ab}	30,00 ^{ab}	0,59 ^{ab}
BITb	50,00	0,63	20,00 ^b	0,33 ^c	30,00 ^a	0,43 ^{ac}	40,00 ^{ab}	0,53 ^b
BITc	30,00	0,52	20,00 ^b	0,37 ^c	20,00 ^b	0,42 ^{ac}	30,00 ^{ab}	0,52 ^b
POTa	40,00	1,15	30,00 ^a	0,76 ^f	30,00 ^a	0,69 ^{be}	40,00 ^b	1,00 ^e
POTb	40,00	1,09	20,00 ^b	0,64 ^b	30,00 ^a	0,82 ^{de}	40,00 ^{ab}	0,96 ^e
POTc	50,00	1,03	30,00 ^a	0,71 ^f	30,00 ^a	0,71 ^{be}	40,00 ^b	0,93 ^{ae}
MC	20,00	1,26	15,00 ^b	0,96 ^d	15,33 ^c	0,96 ^d	21,00 ^a	1,32 ^c
Moyenne	46,67	0,92	26,11	0,60	27,26	0,62	41,22	0,83
Ecartype	22,36	0,27	7,82	0,20	7,48	0,20	16,76	0,27
Probabilité			P= 0.000	P= 0.000	P= 0.000	P= 0.000	P= 0.000	P= 0.000

Mono-tranchée (a) = MTa; Mono-tranchée (b) = MTb; Bi-tranchées (a) = BITa; Bi-tranchées (b) = BITb; Bi-tranchées (c) = BITc; Poly-tranchées (a) = POTa; Poly-tranchées (b) = POTb; Poly-tranchées (c) = POTc; Modèle Classique (MC).

Les résultats de l'analyse statistique présentent une différence très significative ($P < 0,001$) entre les profondeurs atteintes sur le glacis et celles atteintes sur les plateaux, néanmoins il n'existe pas de différence significative entre les deux plateaux. Cela serait dû au fait que les duretés des deux sols et la pénibilité du travail sont comparable. Cette situation influence de ce fait le volume de captage théorique des eaux selon les mêmes tendances. Les valeurs des volumes atteints sur le glacis sont très différentes de celles du haut plateau ($P= 0.0015$) et du bas de plateau ($P= 0.0006$).

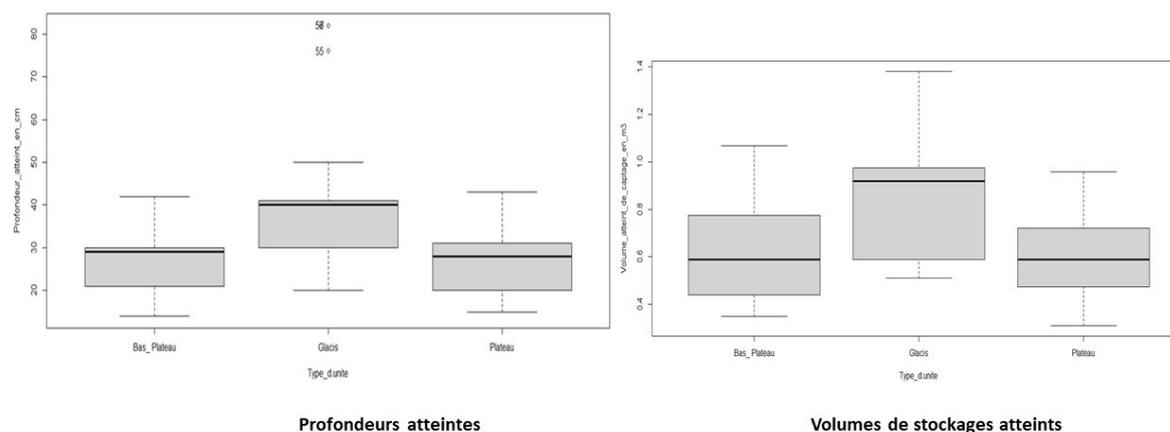


Fig. 10. Profondeurs et volumes atteints des ouvrages selon les unités paysagères

3.3 HAUTEURS MINIMALES DES PLUIES

L'analyse du Tableau 2 montre que la hauteur minimale des pluies varie en général d'un modèle à un autre avec une différence statistiquement très significative ($P = 0.000$). Sur le sol du glacis, la différence entre les hauteurs minimales observées et les hauteurs théoriques, n'est pas significative ($P = 0.51$), en revanche on observe une différence peu significative ($P = 0.04$) sur le sol du plateau. Quant à la différence entre les deux unités, elle est statistiquement peu significative ($P= 0.03$).

Tableau 2. Hauteur des pluies minimales selon le type du sol

Modèle	Sur le sol du Glacis avec R= 70%		Sur le sol du Plateau avec R= 80%	
	Hauteur de pluie minimale théorique	Hauteur de pluie minimale ayant remplis l'ouvrage	Hauteur de pluie minimale théorique	Hauteur de pluie minimale ayant remplis l'ouvrage
MTa	32,69	27,05 ^c	29,25	14,12 ^{bcd}
MTb	19,16	19,16 ^{ab}	17,15	12,10 ^{ab}
BITa	20,85	16,63 ^{ab}	18,66	14,88 ^{ab}
BITb	17,75	14,94 ^b	15,89	8,32 ^{ac}
BITc	14,65	14,65 ^b	13,11	9,33 ^a
POTa	32,41	28,18 ^c	29,00	19,16 ^{bd}
POTb	30,72	27,05 ^c	27,49	16,14 ^{bcd}
POTc	29,03	26,21 ^{ac}	25,97	17,90 ^{ad}
MC	35,40	37,17 ^c	31,67	24,13 ^d
Moyenne	25,85	23,45	23,13	15,12
Ecartype	7,71	7,57	6,90	4,95
Probabilité		P= 0.000		P = 0.000

Dans la même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement significatives

3.4 ECARTEMENT ENTRE LES ZAÏS

L'analyse de la Figure 11 (a) montre que 100% des ouvrages réalisés sur le sol de glacis ont un écartement supérieur à la norme technique théorique, en revanche 75% des ouvrages réalisés sur le haut plateau ont un écartement inférieur à la norme. L'analyse statistique montre qu'il existe une différence très significative ($P < 0,001$) entre les écartements des zaïs externes sur le haut plateau qu'au

niveau de glacis et du bas plateau. Quant aux zaïs internes, la différence n'est pas significative selon les unités ($P > 0,591$). Néanmoins, ces écartements à l'interne varient selon les modèles (Figure 11 (b)). 75% des ouvrages du modèle MC ont un écartement entre les poquets au voisinage de 100 cm, les Mono-tranchées et poly-tranchées ont présenté des écartements inférieurs à 70 cm. Quant à l'analyse statistique, elle a montré l'existence d'une corrélation ($cor\ 0,65$) entre le nombre de zaïs internes et leur écartement.

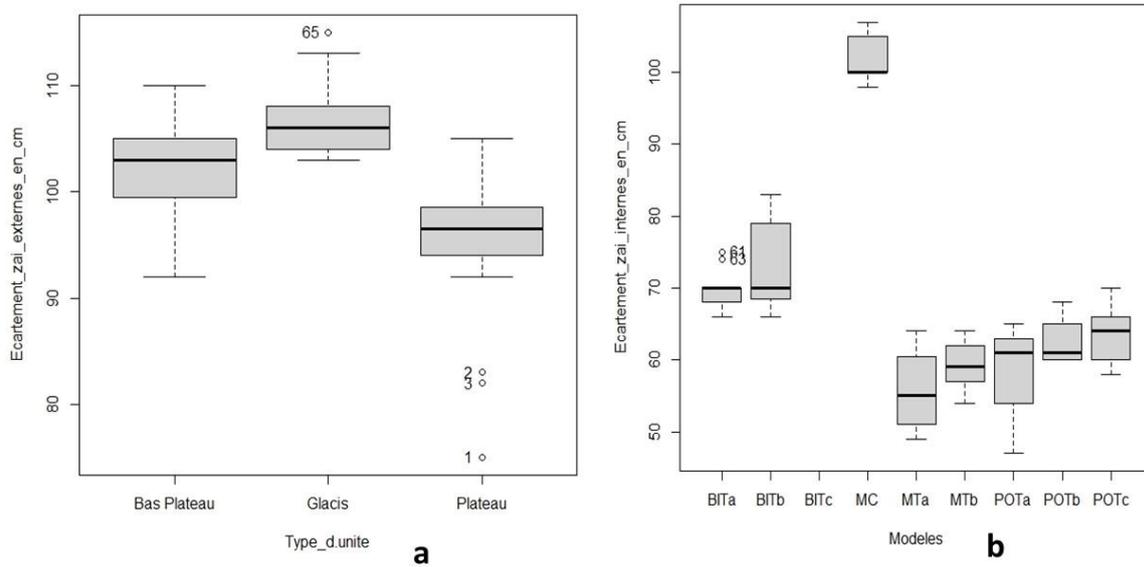


Fig. 11. Ecartement entre les zaïs selon modèles et en fonction des unités paysagères

3.5 MISE EN ŒUVRE DE LA TECHNIQUE ET DUREE DE CONFECTION DES OUVRAGES

La réalisation ou la confection d'ouvrage a été faite en deux phases à savoir la matérialisation de la maquette du modèle au sol par les traceurs et la confection de l'ouvrage par les participants. Les résultats (Tableau 3) indiquent que les modèles poly-tranchées (POTa, PTOb et TOPc) exigent significativement plus de temps dans la schématisation (maquette) que les bi-tranchées (BITa et BITb). Quant au modèle classique (MC), il est significativement le plus rapide à dessiner/tracer avec une moyenne de 11 secondes par maquette dessinée. Ces résultats montrent également que le temps mis pour confectionner un ouvrage des modèles poly-tranchées POTb et POTc est plus important, que pour les autres modèles avec des différences statistiquement significatives entre les groupes des modèles. La durée pour aménager un hectare de demi-lunes varie en fonction du modèle choisi, le poly-tranchées (POTb et POTc) et bi-tranchées (BITa) prenant significativement plus de temps.

Tableau 3. Durée moyenne (temps mis) pour la réalisation d'un modèle d'ouvrage selon les modèles

Modèles	Durée de matérialisation du design d'un ouvrage (seconde)	Temps mis pour la réalisation de l'ouvrage			
		Sol du plateau		Sol du glacis	
		Durée de réalisation de l'ouvrage (Min)	Durée de réalisation à l'hectare (Heure)	Durée de réalisation de l'ouvrage (Min)	Durée de réalisation à l'hectare (Heure)
MTa	72 ±13,44 ^a	56,5±4,76 ^{bc}	195 à 294	54,22±6,58 ^{bc}	187 à 283
MTb	63,33±7,85 ^a	55±7 ^{bc}	219 à 330	53,22±8,78 ^{bc}	184 à 278
BITa	59,33±3,9 ^a	71±6 ^{ab}	205 à 309	62,77±13,57 ^{ab}	217 à 328
BITb	57,66±3,9 ^a	54,5±5,5 ^{ac}	199 à 300	49,11±10,44 ^{ac}	170 à 256
BITc	50,33±30,9 ^{ab}	57,5±3,5 ^{bc}	174 à 263	55,55±7,15 ^{bc}	192 à 290
POTa	93±7,79 ^{ac}	53±4 ^{bc}	183 à 265	53,33±3,16 ^{bc}	184 à 278
POTb	183,33±10,96 ^d	71,83±10 ^b	249 à 375	68,22±9,44 ^b	236 à 355
POTc	124,33±8,84 ^c	64±7 ^{bc}	221 à 334	61,55±6,26 ^{bc}	213 à 321
MC	11,33±3,9 ^b	56,5±2,5 ^{bc}	194 à 295	53,44±9,57 ^{bc}	185 à 279
Moyenne	79,41	59,98	207 à 313	56,83	197 à 297
Ecartype	48,62	8,50		10,12	
Probabilité	P= 0.000	P= 0,004		P= 0,004	

Dans la même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement significatives

L'analyse de la Figure 12 montre que la confection des ouvrages exige significativement moins du temps sur les sols de glacis qu'au niveau des sols des plateaux. En effet 75% des participants ont confectionné leur ouvrage en moins de 60 min sur les sols de glacis contre seulement 50% des participants sur les sols des plateaux.

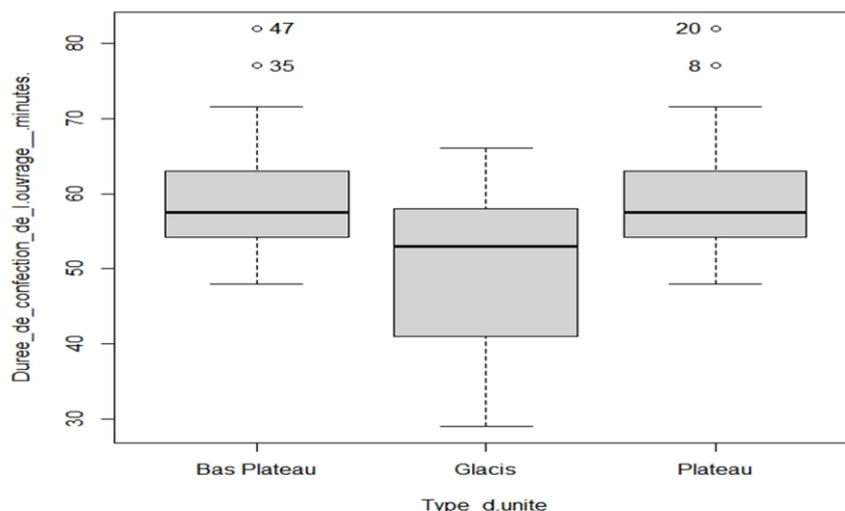


Fig. 12. Durée de confection d'un ouvrage selon les unités paysagères

3.6 DURABILITÉ DE L'OUVRAGE

- Etats des bourrelets après une campagne

L'analyse de la Figure 13 (a) montre que les largeurs du bourrelet des ouvrages du haut plateau sont très significativement différentes de celles du glacis (P= 0.000). En revanche il n'existe aucune différence significative (P= 0.2879) entre les largeurs du bourrelet des ouvrages du bas plateau et celles du glacis. Quant à la hauteur du bourrelet Figure 13 (b), elle est plus importante sur le haut plateau comparativement aux autres unités avec une différence statistiquement très significative (P = 0.000).

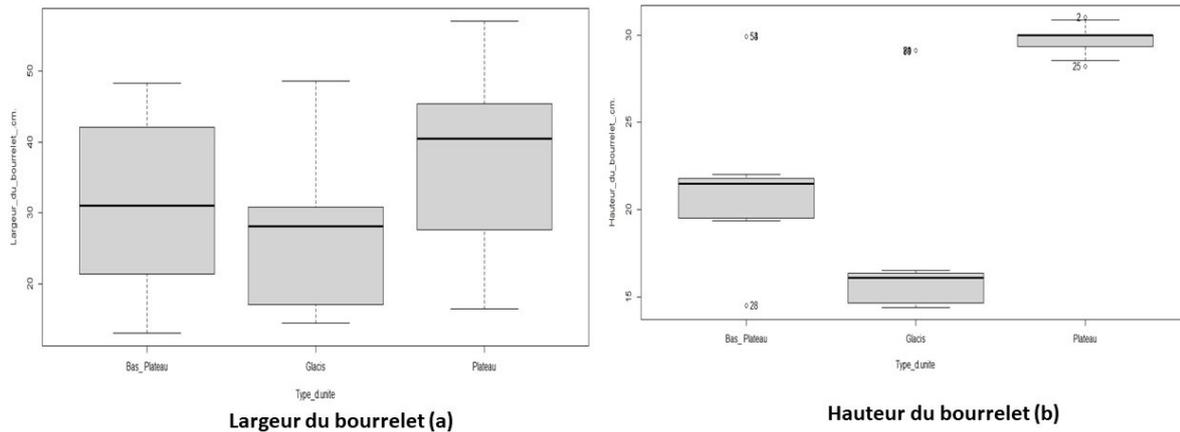


Fig. 13. Distribution des dimensions du bourrelet selon les unités

- Durée de comblement des ouvrages

L'analyse de la Figure 14 montre que les ouvrages ayant bénéficié des travaux d'entretien après une forte pluie ont un taux de comblement toujours nettement plus faible (durée de vie importante) que ceux sans entretien, sur l'ensemble des unités. De plus, quelle que soit la situation, les ouvrages réalisés sur le sol de plateau ont une durée de comblement statistiquement supérieure à celle de ceux réalisés sur le sol de glacis ($P < 0.001$).

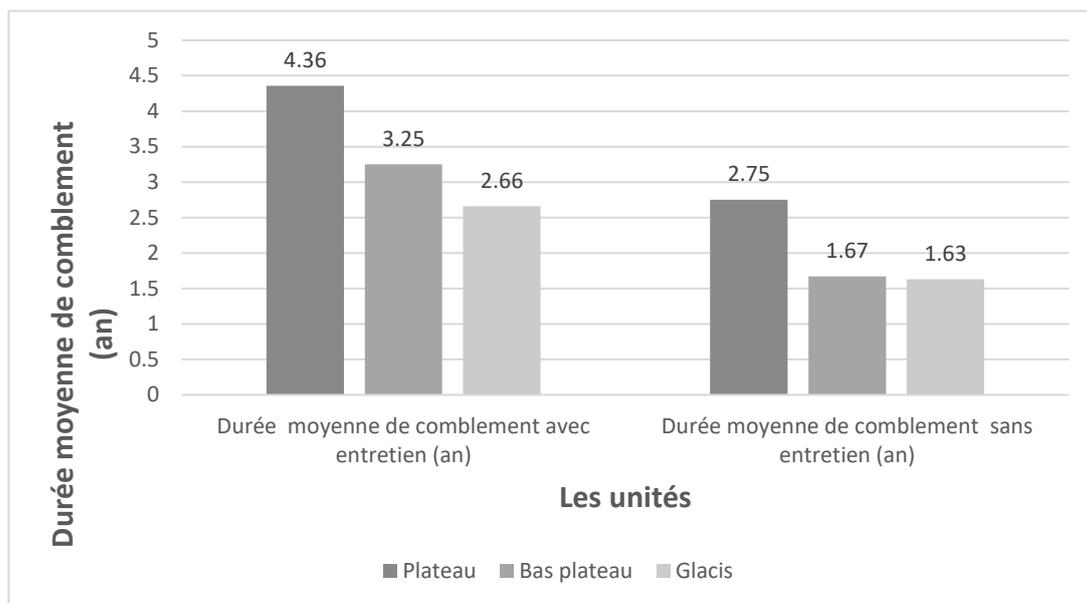


Fig. 14. Durée moyenne de comblement des ouvrages (fosses et tranchées)

4 DISCUSSIONS

Les caractéristiques et les dimensionnements des ouvrages sont des facteurs déterminants pour l'atteinte des résultats escomptés. La réussite des pratiques GDT nécessite de plus en plus une meilleure adéquation entre les normes techniques, les unités géomorphologiques et la pluviométrie [2]. La capacité de stockage est un élément à prendre en compte dans le choix du modèle à implanter selon le type du sol, la pluviométrie de la zone et l'objectif assigné aux travaux d'aménagement (recharge de la nappe, production, etc.). Les ouvrages à grande capacité de stockage sont plus adaptés aux zones de fort ruissellement ou de forte précipitation. Ils sont également plus favorables à la recharge de la nappe et à la réduction des inondations liées aux débordements des cours d'eau. Les modèles avec un nombre important de zaïs sont généralement favorables à la production agricole du fait que cette production est faite essentiellement dans les zaïs. Quant aux modèles à fort potentiel sylvo-pastoral, ils sont caractérisés par un nombre important des tranchées qui servent d'alimentation en eau des plants et un milieu favorable au piégeage et au développement des herbacées. Cet

aspect a été mis en évidence par [8] qui stipule que « les demi-lunes dirigent les eaux vers les plants, augmentant ainsi la disponibilité en eau. Lors de reboisement, le taux de survie des ligneux augmente ».

Plusieurs auteurs ont fait le constat sur le non-respect des normes techniques des ouvrages de CES/DRS en zone sahélienne et sahélo-soudanienne dont notamment [13] et [17]. Ce non-respect des normes techniques notamment la profondeur des tranchées et le volume de stockage est probablement lié à la nature du sol (l'épaisseur du sol, sa texture et sa structure, la présence ou non des graviers et cailloux et d'affleurement de cuirasse) mais aussi la complexité de la technique notamment la réalisation des demi-lunes multifonctionnelles. Les tranchées des ouvrages sur le glacis sont plus profondes que celles confectionnées sur le bas-plateau et sur le haut-plateau du fait que les sols des plateaux sont à faible épaisseur et riches en éléments grossiers d'où la difficulté d'atteindre les profondeurs requises pour les participants. Sur les plateaux, les profils pédologiques ont montré que dès les 20 premiers centimètres, le sol est dominé par des éléments grossiers notamment des graviers et cailloux avec une présence de la dalle cuirassée aux environs de quarante (40) centimètres comme rapporté au niveau du plateau latéritique dégradé de Sini Bangou dans la Commune de Simiri par Ousmane *et al.* (2020). L'affleurement de la dalle constitue un obstacle majeur à l'atteinte de la profondeur théorique. Ces résultats corroborent également ceux de l'étude conduite dans la même zone par [6] qui affirment que « la présence des placages sableux, de blocs rocheux ou d'affleurement de la cuirasse sur certains plateaux aménagés modifie en effet les caractéristiques et surtout l'impact de l'aménagement ». La capacité de captage d'eau est déterminante dans le choix du modèle à réaliser en fonction de la nature du sol (coefficient de ruissellement/niveau de dégradation, l'état de surface et son épaisseur), de la pluviométrie moyenne de la zone et des objectifs assignés. Dans des zones fortement dégradées où la pluviométrie moyenne est importante, il serait intéressant de choisir les modèles à grande capacité de captage afin d'éviter l'effondrement des bourrelets et du coup influencer la durabilité des ouvrages. Le non-respect du volume de stockage a un effet direct sur la durabilité des ouvrages. En effet, étant donné que la surface de l'impluvium a été définie selon la capacité de stockage théorique pour une pluviométrie donnée, sa diminution engendre le débordement important et une forte pression de la lame d'eau sur le bourrelet occasionnant la formation de brèches à travers le bourrelet. Quant au non-respect des écartements entre les zaïs, elle serait liée aux dimensions du bourrelet (largeur et longueur) pour les zaïs externes et au nombre de zaïs et des tranchées ainsi que leurs positions pour les zaïs internes. En effet, plus le nombre de zaïs à l'interne et de tranchées est important, plus l'écartement entre les zaïs devient petit. On peut également attribuer ces erreurs techniques au niveau du sérieux des participants aux travaux lorsque le contrôle présente des défaillances.

Le modèle classique semble être le plus facile à tracer du fait de la simplicité de sa maquette. Le temps mis pour le traçage des modèles multifonctionnels est lié d'une part à leurs structures (le nombre, la forme et la position des fosses) et d'autre part à leur niveau de complexité selon les modèles (disposition en des zaïs internes, écartement entre les zaïs, distance entre les zaïs et les tranchées, etc.). Cette complexité des modèles multifonctionnels dans le traçage des différents designs peut jouer sur le processus d'adoption de ces derniers au niveau communautaire par rapport au modèle classique; elle peut également être à la base du non-respect des normes techniques (la position en quinconce, l'écartement et la position des zaïs internes et externes) de confection par certains participants aux travaux, ce qui, du coup va jouer sur la durabilité des ouvrages. La connaissance de la durée moyenne de matérialisation du design peut aider dans la détermination du nombre de traceurs à engager pour un nombre donné des participants. La différence constatée entre les types de modèles est probablement imputable à la structure, au volume et au nombre de tranchées par type d'ouvrages. Il est à relever que l'exigence en temps plus important pour réaliser un modèle par rapport à un autre peut jouer sur son niveau de réplication voir même de son adoption au niveau communautaire. Les modèles les plus simples à réaliser ont tendance à être les plus choisis par les communautés.

La différence observée en termes de durée de réalisation selon les unités paysagères est probablement liée à la nature du sol qui est généralement plus rocailleux et dur au niveau du plateau que sur glacis. La durée moyenne de réalisation d'un hectare de demi-lunes est proche de celle rapportée par [16]. La durée peut varier également selon le niveau de connaissance et l'expérience des participants aux travaux.

La variation de la vitesse de comblement des ouvrages constatée serait liée d'une part à la nature du sol (état de surface, niveau de dégradation) et d'autre part à la capacité d'arrachage et de transport de l'eau de ruissellement ou du vent précédant la pluie. En effet, le scellement de la surface du plateau par une croûte d'érosion associée à une croûte graveleuse et le pavage par des cailloux non seulement limite la disponibilité de particules mais aussi crée une forte rugosité limitant la vitesse du ruissellement et du vent; ceux-ci pourraient aisément justifier la durabilité des ouvrages sur ce site contrairement au glacis portant une simple croûte de dessiccation très fragile sans aucune rugosité de surface pour limiter la vitesse des agents érosifs. Pour ce qui concerne la faible durabilité constatée des ouvrages sans entretien, nos résultats corroborent ceux obtenus par [15]. Quant à la forte durabilité des ouvrages observée sur le plateau corrobore les résultats obtenus par [9]. Les travaux d'entretien des ouvrages après des grandes pluies peuvent jouer sur la vitesse et le niveau de comblement de ces ouvrages. La nécessité d'entretenir les ouvrages pour garantir leur durabilité a été aussi évoquée par [5]; [13] et [18].

Le bon état des bourrelets constaté sur le haut plateau par rapport aux autres unités serait très probablement lié à la nature du sol. En effet, les éléments grossiers dominant dans le sol des plateaux qui sont extraits des excavations pour constituer les bourrelets offriraient une plus grande consistance et une solidité face aux forces de désagrégation par l'impact des gouttes de pluie et à l'arrachage

par le vent que les limons sableux extraits des sols du glaci. A cet effet selon [8], les bourrelets en terre des demi-lunes agricoles sont à refaire annuellement. Ceci étant, le pavage des bourrelets avec des pierres peut améliorer la durabilité des ouvrages et réduire l'effet d'ouverture des brèches en cas de fortes pluies [8].

5 CONCLUSION

Cette étude a montré que les demi-lunes multifonctionnelles et classiques offrent aux utilisateurs une gamme de choix selon les objectifs assignés, la nature du sol et en fonction des caractéristiques du milieu. Le choix du modèle à implanter doit dépendre des caractéristiques de ce dernier qui détermine alors son potentiel de production. En effet les modèles avec un nombre important de zais sont plus aptes à la production agricole tandis que les modèles ayant un nombre important de tranchées sont plus favorables à la production sylvo-pastorale. L'applicabilité des normes techniques est fonction du type de sol (notamment son épaisseur et sa charge grossière), de la pluviométrie moyenne du site et de l'état de surface du sol. En effet les conditions du milieu (type et état de dégradation du sol, pluviométrie) constituent les principaux paramètres à prendre en compte pour affiner et réadapter les normes techniques théoriques aux réalités du milieu. Quant à la durabilité des ouvrages, elle est également liée au type de sol sur lequel les ouvrages ont été réalisés et au mode d'entretien mis en place par les communautés. Il ressort de cette étude que les demi-lunes sur sol de plateau sont plus durables que celles sur glaci, que ces dernières sont cependant plus faciles à réaliser. Enfin pour toute implantation des ouvrages sur une unité donnée, il serait préférable de tenir compte non seulement du type de sol, mais aussi des caractéristiques du modèle pouvant permettre d'optimiser le potentiel de production visé. Il est également important de prendre en considération les normes techniques théoriques et les principes de fonctionnement des ouvrages de CES/DRS ainsi que le rendement homme/jour le plus approprié à appliquer sur l'unité de paysage à traiter.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêts entre eux.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Seidou Ousmane Idrissa et Tidjani Adamou Didier ont rédigé le manuscrit.

Ambouta Karimou Jean-Marie a contribué à la correction et à l'amendement du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs sincères remerciements au Programme Alimentaire Mondial (PAM) et à l'ONG Garkua pour leurs soutiens financiers dans le cadre de la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1] Abdessalem, K., 2017, Guide pratique des principales techniques de lutte contre la désertification, Observatoire du Sahara et du Sahel, 44 pages.
- [2] Aboubacar I., I., Aboubacar, et M., Isabelle, 2021, Appui portant sur la capitalisation des pratiques de gestion durable des terres au Niger (CAPGDT). Niger, Ministère de L'environnement, De La Salubrité Urbaine Et Du Développement Durable, 87 pages.
- [3] Charha, S., 2018, Effets des demi-lunes sylvo-pastorales sur le potentiel écologique des terres dégradées de la grappe de Sahiya, zone d'intervention du PAM, dans la commune rurale de Bagaroua, Niamey, Niger: UAM, 86 pages.
- [4] Conseil National de L'Environnement pour un Développement Durable, 2003, Evaluation des actions menées au Niger dans le domaine de l'environnement (Reboisement, récupération/restauration de terre) pendant les vingt (20) dernières années 1984-2002, Niamey, Niger: CNEDD, 120 pages.
- [5] Descroix, L., I., Mamadou, M. M., Abdou, A., Bachir, I. B., Moussa, E., Le Breton, et S. Y., Kadidiatou, 2012, État des lieux et proposition de restauration des sols sur le Bassin versant de Tondi Kiboro (Niger), In Lutte antiérosive, IRD Éditions, 11 pages.
- [6] D'Herbès, J., Marc, J. M. K., Ambouta, et R., Peltier, 1997, Evolution de la végétation spontanée sur plateaux latéritiques traités par des travaux anti-érosifs dans le département de Dosso (Niger), In Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens, Paris, John Libbey Eurotext, 46 pages.
- [7] FAO, 2016, La gestion durable des sols: clé pour la sécurité alimentaire et la nutrition en Afrique ». Population (French Edition), Nature&Faune, 30 pages.
- [8] GIZ, 2012, Bonnes pratiques de CES/DRS. Contribution à l'adaptation au changement climatique et à la résilience des producteurs, Bonn, Allemagne, GIZ, 60 pages.
- [9] Ibrahim, M. K., 2019, Note sur les travaux d'aménagement des terres du village de Makaouraci dans la commune rurale de Wacha (Zinder), Zinder: CRA-Zinder, 8 pages.

- [10] Gouné M. B. A., 2018, Effets des travaux de récupération des terres dégradées sur le potentiel agro-sylvo-pastoral dans les secteurs de Sahiya et Changnassou (Bagaroua), Niamey, Niger: Université UAM, 114 pages.
- [11] Mamadou A., G., Sani, D., Aboubacar, et A., Oudou, 2015, 25 ans de réhabilitation et de conservation des sols au Sahel. Soutien aux efforts des populations rurales du Niger, GIZ et KfW, 40 pages.
- [12] Moussa A. O., 2018, Effets des travaux de récupération des terres sur la résilience des communautés dans le secteur de Darey, commune de Tondikiwindi/Ouallam; UAM/Niamey, 95 pages.
- [13] Moustapha, et A. M., 2010, Rapport sur les techniques de captage de l'eau des pluies au Niger, Stockholm Environment Institute, 29 pages.
- [14] Ousmane, L. M., A., Abdou, D. G., Iro, R. A., Harouna, et M., Ali, 2020, Impacts des banquettes dans la récupération des terres dégradées au Niger ». *Journal of Applied Biosciences* 151, 29 pages.
- [15] RECA, 2016, Suivi de demi-lunes forestières dans la commune de Guéladio : la nécessité de changer de pratiques pour améliorer les résultats », Niger-RECA, 8 pages.
- [16] Roose, E., V., Kabore, et C., Guenat, 1995, Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina-Faso), Paris, John Libbey Eurotext, n° 15: 249-65 pages.
- [17] SALEY D. M., 2018, Effets des demi-lunes agricole et forestière sur le potentiel Agro-sylvo-pastoral dans le secteur de Kokaina (Tondikiwindi), Niamey, Niger: Université UAM de Niamey, 121 pages.
- [18] VLAAR (Ed.), J.C.J. 1992, Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel ». Rapport d'étude. Ouagadougou Burkina Faso: Ouagadougou Burkina Faso, et l'Université Agronomique Wageningen (UAW), Wageningen, les Pays-Bas, 121 pages.
- [19] Volli, C., 2019, Standards et variations techniques sur des activités CES/DRS-Milieus arides/semi-arides, Dakar, Programme Alimentaire Mondial (PAM), 32 pages.