



**PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES DU SOL, FACTEURS DE
CROISSANCE ET DE RENDEMENT SOUS IRRIGATION DE
*CORCHORUS OLITORIUS***

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER EN EAU ET ENVIRONNEMENT

**SPECIALITE : GENIE DE L'EAU, DE L'ASSAINISSEMENT ET DES
AMENAGEMENTS HYDRO-AGRIcoles**

Présenté et soutenu publiquement le 26 juillet 2021 par

BEDOUM DJERANE Damba Olivier (20120639)

Direction du mémoire : Amadou KEITA Maitre de Conférences CAMES

Encadrement de mémoire : Dial NIANG maitre-Assistant CAMES

Maître de stage : Mme Amélie Traoré/Hien (ASMA)

Laboratoire Eau Hydro – Systèmes et Agriculture (LEHSA)

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Pr. Hamma YACOUBA**

Membre et correcteur : **Mr. Moussa Bruno KAFANDO**

Promotion [2020/2021]

DEDICACE

Je dédie ce document à :

- Ma bien merveilleuse mère DJINGANODJI Germaine disparue trop tôt. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, elle apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le Tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !

- Mon très cher père DIONTOLOUM DAMBA Bernard qui a toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

- Ma deuxième mère NOUDJIKOUAMBAYE Dina qui par son amour et ses conseils ma toujours soutenue, que ce travail traduit ma reconnaissance envers elle.

- Mes très chers frères (RONELDINGAM Damba Nelson, BAOUNOUDJI Damba Frédéric, DJIMNAISSEM Damba Merveille, RONDOUBA Damba Pythagore, MOUANOUDJI Damba Wilfred) et sœur (LARDINGA Damba Gertrude Virginie)

- Tous les membres de ma famille

CITATIONS

*« La meilleure banque, c'est la terre. Tu y places tes
graines, elle les fait fructifier gratuitement. »*

Auteur inconnu

REMERCIEMENTS

Après une année de recherche scientifique ayant abouti à l'élaboration de ce mémoire, c'est avec un grand plaisir que je voudrais adresser mes plus sincères remerciements à toutes les personnes qui ont été d'un grand soutien pour la réalisation de cette étude.

Mes remerciement et reconnaissances vont particulièrement à l'égard :

- Du corps professoral et administratif de la fondation 2iE. Merci pour la formation scientifique reçue.
- De mon directeur de mémoire, Pr. Amadou KEITA, Enseignant-chercheur à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), sa disponibilité et sa rigueur dans l'encadrement m'ont été d'une grande utilité. Une reconnaissance spéciale vous est adressée pour avoir mis à ma disposition les moyens nécessaires à la réalisation de ce stage ;
- De mon co-directeur de mémoire, Dr Dial NIANG, Enseignant-chercheur à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), qui malgré un emploi de temps chargé, s'est toujours montré disposé à chaque fois que je me suis adressé à lui. Ses conseils m'ont été très utiles ;
- De l'Association Au Secours Mon Arbre (ASMA), pour son effort de soutien au développement de la foresterie et de la protection de l'environnement ;
- De mon encadreur externe, Mme Amélie Traoré, Présidente de l'Association Au secours Mon Arbre (ASMA), de m'avoir guidé en restant disponible pour répondre à mes questions ;
- De Dr Djim DOUMBE DAMBA, Enseignant-chercheur à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), pour ses conseils très précieux ;
- D'Emmanuel ZONGO, technicien de terrain, pour son appui technique et ses conseils qui m'ont été d'un grand apport ;
- De mes camarades de 2iE, de Kamboinsé pour l'ambiance cordiale entretenue tout le long de mon parcours.

Je tiens à remercier tous les membres de ma famille qui n'ont cessé de m'encourager durant mon parcours à 2iE.

RESUME

La surexploitation du bois et des produits non ligneux dans les pays soudano-sahéliens d'Afrique de l'Ouest suscite une grande inquiétude. Pour une exploitation durable et pour contribuer à la pérennisation des forêts, "l'Association Au Secours Mon Arbre" (ASMA, une association à but non lucratif) a débuté un chantier de recherche sur la détermination des paramètres cultureux des plantes de la zone tropicale africaine. La présente étude s'est consacrée à la détermination de paramètres hydrodynamiques du sol des lysimètres (bacs utilisés pour réaliser l'étude) ; à la détermination du coefficient cultural et des paramètres de croissance sous irrigation du *Corchorus Olitorius*. Il s'agit d'une plante herbacée utilisée comme légume-feuilles mucilagineux. Pour obtenir le K_c de la plante, trois étapes ont été entreprises. Tout d'abord, une station météorologique a fourni les valeurs l'évapotranspiration de référence ET_0 . Deuxièmement, pour vérifier scientifiquement les résultats, l'expérience fait tourner neuf (9) lysimètres (sept utilisés pour l'étude et deux comme témoins) pour déterminer l'évapotranspiration maximale de la culture ET_M . Enfin, la définition $ET_{Mloc} = K_c * ET_0$ a été appliquée après la transformation de l' ET_M en $ET_{Mlocalisé}$. Les résultats ont montré que le sol des lysimètres est de type sableux argilo-limoneux avec un taux de matière organique de $8,66 \pm 1,12\%$; un pH de $8,62 \pm 0,13$; une densité apparente sèche de $1,26 \pm 0,04(g/cm^3)$ et une porosité de l'ordre 53%. Il ressort également des résultats que le *Corchorus Olitorius* de la famille des *Malvaceae* a une durée de 70 jours de cycle. Le coefficient cultural est de $0,44 \pm 0,013$ en phase initial, $0,47 \pm 0,004$ en phase de croissance et les phases de maturité et de récolte sont respectivement de $0,61 \pm 0,035$; $0,58 \pm 0,048$ avec des intervalles de confiance de 95%. La hauteur moyenne du *Corchorus Olitorius* est environ de $42,34 \pm 22,56$ cm, le diamètre au collet est en moyenne de 44 ± 2 mm et avec une profondeur racinaire qui est de 28 cm. Ces résultats offrent la possibilité d'une production efficace du *Corchorus Olitorius* sous irrigation, et contribueront non seulement à sa pérennisation mais aussi au développement de l'irrigation forestière. Nous recommandons pour plus de certitudes, de faire une autre étude en pleine saison sèche et en saison pluvieuse pour identifier s'il y a lieu des différences significatives.

Mots clés :

- 1- Coefficient cultural
- 2- *Corchorus Olitorius*
- 3- Irrigation forestière, Lysimètre

ABSTRACT

The over-exploitation of wood and non-timber products in the Sudano-Sahelian countries of West Africa is of great concern. In order to ensure sustainable exploitation and to contribute to the perpetuation of the forests, the "Association Au Secours Mon Arbre" (ASMA, a non-profit association) has started a research project on the determination of the cultural parameters of plants in the African tropical zone. The present study was devoted to the determination of hydrodynamic parameters of the soil of the lysimeters (tanks used to carry out the study); to the determination of the cultural coefficient and the growth parameters under irrigation of *Corchorus Olitorius*. This is an herbaceous plant used as a mucilaginous leafy vegetable. To obtain the K_c of the plant, three steps were undertaken. First, a meteorological station provided the reference evapotranspiration values ET_0 . Second, to scientifically verify the results, the experiment runs nine (9) lysimeters (seven used for the study and two as controls) to determine the maximum evapotranspiration of the ETM crop. Finally, the definition of $ETM_{loc} = K_c * ET_0$ was applied after the transformation of ETM to ETM_{loc} . The results showed that the lysimeter soil is a sandy clay loam type with an organic matter content of $8.66 \pm 1.12\%$; a pH of 8.62 ± 0.13 ; a dry bulk density of 1.26 ± 0.04 (g/cm³) and a porosity of about 53%. The results also show that *Corchorus Olitorius* of the Malvaceae family has a cycle length of 70 days. The cultural coefficient is 0.44 ± 0.013 in the initial phase, 0.47 ± 0.004 in the growth phase and the maturity and harvest phases are respectively 0.61 ± 0.035 ; 0.58 ± 0.048 with 95% confidence intervals. The average height of *Corchorus Olitorius* is about 42.34 ± 22.56 cm, the diameter at the collar is on average 44 ± 2 mm and with a root depth that is 28 cm. These results offer the possibility of an efficient production of *Corchorus Olitorius* under irrigation, and will contribute not only to its perpetuation but also to the development of forest irrigation. For greater certainty, we recommend another study in the dry and rainy seasons to identify any significant differences.

Keywords :

- 1- Cultural coefficient
- 2- *Corchorus Olitorius*
- 3- Forest irrigation , Lysimeter

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE :	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de L'Environnement
ANOVA :	Analyse de Variance
APG :	Angiosperm Phylogeny Group
ASMA :	Association au Secours Mon Arbre
CES :	Conservation des Eaux et des Sols
CNSF :	Centre National des Semences Forestières
ET₀ :	Evapotranspiration de référence
ETM :	Evapotranspiration maximale
ETM_{loc} :	Evapotranspiration maximale localisée
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et L'Agriculture
GC :	Ground Cover
K_c :	Coefficient Cultural
K_{sat} :	Conductivité hydraulique à saturation
RU :	Reserve utile
SPAW :	Soil-Plant-Air-Water

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
CITATIONS.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
SOMMAIRE	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DE FIGURES	x
LISTE DES PHOTOS	xi
I. INTRODUCTION	1
I.1 Contexte.....	1
I.2 Problématique.....	1
II. OBJECTIFS DE L'ETUDE ET HYPOTHESES DE RECHERCHES	3
II.1 Objectifs.....	3
II.2 Résultats attendus	3
III. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	4
III.1 Généralités sur le <i>Corchorus Olitorius</i>	4
III.1.1 Botanique du <i>Corchorus Olitorius</i>	4
III.1.2 Origine et répartition géographique	5
III.1.3 Usages de <i>Corchorus Olitorius</i>	6
III.1.4 Ecologie de <i>Corchorus Olitorius</i>	6
III.1.5 Maladies et ravageurs du <i>Corchorus Olitorius</i>	7
IV. MATERIELS ET METHODES	7
IV.1 Présentation de la zone d'étude	8
IV.2 Présentation du dispositif expérimental.....	9
IV.3 Propriétés physiques et hydrauliques du sol.....	10
IV.3.1 Taux de matière organique	10
IV.3.2 Mesures d'infiltration double anneau de type Muntz.....	11
IV.3.3 Le pH (Potentiel Hydrogène) du sol	12
IV.3.4 Densité apparente sèche et porosité	13
IV.4 Les variables d'état de l'eau dans le sol : l'humidité volumique et potentiel hydrique matriciel.....	14

IV.5	Détermination de l'évapotranspiration de référence (ET ₀).....	16
IV.6	Bilan hydrique (détermination de l'évapotranspiration maximale (ETM)).....	19
IV.7	Etude des paramètres de croissance de la plante	20
IV.8	Détermination du coefficient cultural (kc)	22
V.	RESULTATS – DISCUSSION	24
V.1	Propriétés physiques et hydrauliques du sol.....	24
V.1.1	Taux de matière organique	24
V.1.2	Mesures d'infiltration double anneau de type Muntz.....	24
V.1.3	Le pH (Potentiel Hydrogène) du sol	26
V.1.4	Densité apparente sèche et porosité	26
V.2	Les variables d'état de l'eau dans le sol : l'humidité volumique et potentiel hydrique matriciel	27
V.2.1	Suivi de la teneur en eau	27
V.2.2	Suivi de la charge de pression	30
V.3	Evapotranspiration de référence (ET ₀)	31
V.4	Evapotranspiration maximale (ETM).....	32
V.5	Les paramètres de croissance de <i>Corchorus Olitorius</i>	34
V.5.1	Taux de germination.....	35
V.5.2	Stades végétatifs.....	36
V.5.3	Diamètre au collet	36
V.5.4	Profondeur racinaire	38
V.5.5	Surface foliaire	39
V.5.6	Biomasse humide – Biomasse sèche à la récolte	40
V.5.7	Poids de 1000 graines - Poids de fruits - Teneur en eau des graines du <i>Corchorus Olitorius</i>	41
V.5.8	Couverture végétale du sol (GC) et Paramètres des feuilles (surface, périmètre, longueur ; largeur, forme)	43
V.5.9	Attribut de croissance de la plante	44
V.6	Coefficient cultural (Kc) du <i>Corchorus Olitorius</i>	46
VI.	CONCLUSION	48
VII.	PERSPECTIVES.....	49
VIII.	BIBLIOGRAPHIE	50
IX.	ANNEXES	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Taux de matière organique suivant les lysimètres	24
Tableau 2: Valeurs de conductivité hydraulique à saturation (Ksat)	25
Tableau 3: Caractéristiques du sol	25
Tableau 4: Valeurs du pH	26
Tableau 5: Valeurs de la densité apparente	27
Tableau 6: Bilan Hydrique valeurs de ETM(mm/jr).....	32
Tableau 7: Résultats de la germination	35
Tableau 8: Cycle végétatif- durée de chaque phase	36
Tableau 9: Variation du Diamètre au collet de Corchorus Olitorius	37
Tableau 10: Valeurs de la surface foliaire.....	40
Tableau 11: Valeurs de 1000 graines du Corchorus Olitorius	42
Tableau 12: Valeur de fruits du Corchorus Olitorius.....	42
Tableau 13: Taux de la couverture végétale (%)	43
Tableau 14: Valeurs des paramètres de feuilles	43
Tableau 15: Résultat du test d'ANOVA sur les différents lysimètres	45
Tableau 16: Résultat du test de Kruskal-Wallis sur les différents lysimètres.....	46
Tableau 17: Valeurs de Kc, Kr et Gc en fonction du cycle végétatif (%).....	46

LISTE DE FIGURES

Figure 1:Degré d'importance du <i>Corchorus Olitorius</i> et sa répartition géographique (source: https://uses.plantnet-project.org/fr/Corchorus_olitorius_(PROTA))	5
Figure 2:Carte de localisation de la zone d'étude –source : BEDOUM,2021	8
Figure 3:Situation de la plateforme sur Google Earth.....	9
Figure 4:Algorithme de calcul des paramètres de l'ET ₀	18
Figure 5:lysimètre en béton équipé de tubes de drainage de surface et souterrain (Amadou KEITA et al, 2019).....	19
Figure 6:Procédure de calcul de K _c	22
Figure 7:Structure du sol dans les lysimètres	26
Figure 8:Evolution temporelle de la teneur en eau à différentes profondeurs dans les lysimètres	29
Figure 9:Evolution du stock d'eau du sol entre la surface et 50 cm de profondeur dans les lysimètres	30
Figure 10:Variation de l'évapotranspiration maximale du <i>Corchorus Olitorius</i>	33
Figure 11:Variation de l'évapotranspiration maximale localisée du <i>Corchorus Olitorius</i>	33
Figure 12:Evolution du diamètre au collet	37
Figure 13:Evolution de la profondeur d'enracinement	39
Figure 14:Evolution de la surface foliaire.....	40
Figure 15:Quantité de biomasse humide et sèche	41
Figure 16:Variation des paramètres des feuilles	44
Figure 17:Attributs de croissance du <i>Corchorus Olitorius</i>	44
Figure 18:Evolution du coefficient cultural du <i>Corchorus Olitorius</i>	47

LISTE DES PHOTOS

Photo 1:Corchorus Olitorius.L /source : BEDOUM (2021)	4
Photo 2: Dispositif expérimental (vue de dessus)	10
Photo 3:Etuve –US 006 de marque Heraeus(à droite) et mise des échantillons dans le four à moufle – US 005	11
Photo 4:Dispositif du double anneau d’après (Musy et Soutter 1991) et Mesure de la vitesse d’infiltration	11
Photo 5:Le dispositif pH-mètre et la procédure de manipulation	13
Photo 6:Réalisation de l’essai pour la détermination de la densité apparente sèche.....	14
Photo 7:Humidimètre TRIME-PICO IPH et la procédure de mesure de l’humidité	16
Photo 8:Deux (2) tensiomètre installés dans le lysimètre	16
Photo 9:Extractions de données de la station météorologique WatchDog.....	18
Photo 10:Mètre ruban métallique (à gauche) et mètre ruban couture (à droite)	21
Photo 11:Balance (KERN 440-47 N) et mesureur d’humidité portable pour céréales	22
Photo 12:Deux pieds de Corchorus Olitorius dans le lysimètre.....	34
Photo 13:Mise en place de semis de graines et stade de germination.....	35
Photo 14:Racine de Corchorus Olitorius (à gauche) et à droite la racine évoluant dans le sol (Lysimètre témoin).....	38
Photo 15:Biomasse humide(à gauche) et biomasse sèche(à droite).....	41
Photo 16:Graines de Corchorus Olitorius	43

I. INTRODUCTION

I.1 Contexte

Le groupe intergouvernemental sur le changement climatique (IPCC) a montré de manière évidente que le climat est en train de changer et que l'émission de gaz à effet de serre est le principal vecteur de ce changement. L'importance de la réduction de l'émission de gaz à effet de serre (atténuation) par les sociétés influencera l'échelle des changements futurs. Nonobstant les mesures d'atténuation du changement climatique prises aujourd'hui ou dans un avenir proche, les émissions passées et l'inertie dans le système climatique signifient que l'accélération du changement climatique est inévitable. (Risto Seppälä, Alexander Buck, et Pia Katila 2009)

Les forêts fournissent le soutien, l'approvisionnement, la régulation et les services culturels (services d'écosystème) qui aident le bien-être humain localement et globalement. Le changement climatique affecte la fourniture de ces services d'écosystèmes essentiels, avec des conséquences potentiellement dangereuses pour le bien-être humaine. Les personnes, les sociétés, les institutions doivent par conséquent être au courant des impacts probables du changement climatique sur les forêts et doivent avoir des stratégies en place pour s'y adapter (Risto Seppälä, Alexander Buck, et Pia Katila 2009). C'est dans ce cadre que dans un effort de soutien au développement de la foresterie et de la protection de l'environnement, l'Association Au Secours Mon Arbre (ASMA, une association à but non lucrative) a enclenché un chantier de recherche sur la détermination des paramètres culturels de plantes de la flore de la zone tropicale africaine. A terme, la connaissance de ces paramètres devrait permettre de lancer ce qu'elle appelle « *l'Irrigation Forestière* » des plantes les plus prometteuses sur les plans culturels, cosmétiques, nutritionnels, phytothérapeutique et de protection environnementale.

I.2 Problématique

La double pression de la variabilité climatique et de l'action anthropique constitue une menace à la continuité d'existence de nombreuses plantes de la flore intertropicale africaine. Pendant la saison des pluies, de nombreuses espèces poussent spontanément en zones sahélienne et soudano sahélienne pour disparaître dès le début de la saison sèche. Pendant cette longue saison sèche de 8 mois, ces plantes ne sont pas cultivées. Par ailleurs, elles font l'objet de multiples usages nutritionnel, culturel, phytothérapeutique et même cosmétique. Parmi

les plantes les plus usitées, on peut citer le *Chrysanthellum Indicum Var. Afroamericanum* B. L. Turner, l'*hibiscus Sabdariffa* (L), *Lagenaria siseraria* (Molina) Standl, et, bien entendu, *Corchorus Olitorius*. La dernière, une plante herbacée, est traditionnellement utilisée comme condiment visqueux en remplacement du gombo ou des feuilles de baobab dans les sauces. La plante a également été utilisée en médecine. On mange la corète bien cuite pour fortifier la vue, elle stimule l'estomac et les intestins. Elle est utile pour l'immunité de l'organisme et pour la rate.

A l'heure où un effort important est investi au niveau international pour limiter l'usage des produits chimiques aux nombreux déchets nuisibles à l'environnement, et les soupçons qui pèsent sur eux comme causes de certaines maladies, il est essentiel que des plantes naturelles voient leur production améliorée et étendue. En ce qui concerne le *Corchorus Olitorius*, les questions suivantes n'ont pas encore trouvées de réponses en saison sèche : i) Quels sont les besoins en eau de la plante ? ii) Quelles sont les phases de croissance ? iii) Peut-on déterminer ses coefficients culturaux K_c pour une croissance optimisée ? iv) Quels sont les paramètres de la croissance de la biomasse ? v) A quel rendement peut-t-on s'attendre ? vi) quels sont les paramètres hydriques et leur dynamiques lors de la croissance de la plante ?

C'est dans le but de contribuer à la réduction de ce vide scientifique et technologique que ASMA après avoir proposé plus d'une centaine de descriptions vidéo sur les plantes forestières (https://www.youtube.com/watch?v=aEq_EITCHyQ&t=10s), envisage d'ouvrir un axe de recherche visant la détermination des coefficients culturaux (K_c) pour les plantes les plus prometteuses. Cette étude se concentre sur le cas de *Corchorus Olitorius*.

II. OBJECTIFS DE L'ETUDE ET HYPOTHESES DE RECHERCHES

II.1 Objectifs

✚ Objectif général

L'objectif général de cette étude est de contribuer à la préservation et au développement des plantes forestières.

✚ Objectifs spécifiques

De façon spécifique, il s'agira pour nous de déterminer pour le *Corchorus Olitorius* :

- Les paramètres hydrodynamiques (la conductivité hydraulique à saturation et la conductivité hydraulique non saturée) pour mesurer durant le cycle les transferts/stockage d'eau dans les lysimètres ;
- Les humidités caractéristiques des sols des lysimètres à partir de mesures d'humidité volumique et de charge de pression de l'eau du sol ;
- L'évapotranspiration de référence ET_0 autour du dispositif de production ;
- L'évapotranspiration maximale ETM dans les lysimètres de production ;
- Les coefficients culturaux K_c ;
- Les besoins en eau de la plante ;
- Les phases de croissance de la culture ;
- Les paramètres de la croissance de la biomasse ;
- Les rendements en biomasse, fruit et graines ;

II.2 Résultats attendus

Aux termes de cette étude, on doit disposer de données et d'analyses statistiques détaillées de séries chronologiques apportant des réponses précises aux objectifs spécifiques précédemment cités.

Le mémoire s'articulera autour d'une introduction (qui décrira le contexte, la problématique et les objectifs) ; les matériels et les méthodologies employées ; une discussion des résultats et en fin une conclusion suivie de recommandations.

III. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

La revue littéraire nous a été d'une grande utilité pour aboutir à nos objectifs. Nous avons consulté des différents documents relatifs aux paramètres hydrodynamiques du sol, au *Corchorus Olitorius*, à la germination, aux adventices, à l'irrigation, au bilan hydrique, à l'évapotranspiration et aux coefficients culturaux. Une partie des documents a été consultée dans la bibliothèque de 2iE et l'autre partie téléchargée sur le site internet de la FAO (www.fao.com).

III.1 Généralités sur le *Corchorus Olitorius*

III.1.1 Botanique du *Corchorus Olitorius*

Famille : Tiliaceae (APG : Malvaceae) ;

Nombre de chromosome : $2n = 14$;

Noms locaux : Boulvang yanga (mooré, Burkina faso) ; Ninnouwi (Fon, Benin) ; Kprala (Baoulé, Côte d'Ivoire) ; moloukhia (Arabe), Ngomo (Ngambaye, Tchad).

Noms communs : Corète potagère, Mauve du juif, Jute à longs fruits, crincrin (Français) ; Nalta jute, Tussa jute, Jew's mallow, Jute mallow (Anglais)

L'espèce *Corchorus Olitorius* contient plusieurs variétés. Les caractères foliaires permettent de les distinguer aisément : dentelure, forme, couleur et brillance du limbe.



Photo 1: Corchorus Olitorius.L /source : BEDOUM (2021)

III.1.2 Origine et répartition géographique

L'origine géographique de *Corchorus Olitorius* est souvent controversée, car on le cultive depuis des siècles tant en Asie qu'en Afrique, et il est présent à l'état sauvage sur les deux continents. Certains auteurs considèrent l'Inde ou la région indo-birmane comme le centre d'origine de *Corchorus Olitorius* et de plusieurs autres espèces de *Corchorus*. Cependant, la présence en Afrique d'un plus grand nombre d'espèces sauvages de *Corchorus* et la plus grande diversité génétique intra-spécifique de *Corchorus Olitorius* indiquent que l'Afrique serait le premier centre d'origine du genre, avec un centre secondaire de diversité dans la région indo-birmane. Actuellement, *Corchorus Olitorius* est largement répandu dans toutes les régions tropicales, et il est probablement présent dans tous les pays d'Afrique tropicale. (« *Corchorus olitorius* (PROTA) — PlantUse Français » s. d.)

En Afrique tropicale, il est signalé comme légume sauvage ou cultivé dans de nombreux pays. C'est un légume-feuilles important en Côte d'Ivoire, au Burkina Faso, au Bénin, au Nigeria, au Cameroun, au Soudan, au Kenya, en Ouganda et au Zimbabwe etc. La corète potagère est également cultivée comme légume-feuilles dans les Caraïbes, au Brésil, en Inde, au Bangladesh, en Chine, au Japon, en Egypte et au Proche-Orient. Elle est cultivée pour la production de jute en Asie (Inde, Bangladesh, Chine) comme *Corchorus capsularis* L., mais en Afrique elle ne joue aucun rôle en tant que plante à fibres, même si on peut faire un usage domestique de cette fibre. (« *Corchorus olitorius* (PROTA) — PlantUse Français » s. d.)

La figure ci-dessous montre la carte de répartition géographique de *Corchorus Olitorius* dans la zone africaine.



Figure 1: Répartition géographique du *Corchorus Olitorius* (source: [https://uses.plantnet-project.org/fr/Corchorus_olitorius_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/fr/Corchorus_olitorius_(PROTA)))

III.1.3 Usages de *Corchorus Olitorius*

Le *Corchorus Olitorius* est utilisée comme légume-feuilles mucilagineux. Les feuilles cuites donnent une sauce gluante, comparable à celle de gombo. Au Nigeria, on trouve que cette sauce accompagne bien la consommation des boulettes féculentes faites avec du manioc, de l'igname ou du mil. Pendant la saison sèche, on utilise la poudre des feuilles séchées pour préparer cette sauce. Les fruits immatures, qu'on appelle "bush okra" ("gombo de brousse"), sont également séchés et réduits en poudre en vue de la préparation de cette sauce gluante. En Afrique de l'Est, il existe plusieurs recettes : la corète potagère peut être cuite avec du niébé, du potiron, des feuilles de taro, de la patate douce, du lait et du beurre, de la viande, et relevée avec du piment et du citron. (« *Corchorus olitorius* (PROTA) — PlantUse Français » s. d.)

Le jute a été pendant plus de 100 ans la fibre la plus largement utilisée pour l'emballage grâce à sa solidité et à sa durabilité, ses faibles coûts de production, sa facilité de fabrication et sa disponibilité en grandes quantités homogènes. Néanmoins, la production de jute est insignifiante en Afrique. Les types de *Corchorus Olitorius* utilisés comme légume-feuilles sont assez différents de ceux utilisés pour la production de jute. Les tiges entières de jute sont adaptées à servir de matériel de base pour la pâte à papier. Cependant, lorsque le jute est utilisé pour la pâte, c'est normalement sous forme de chutes de la fabrication de toile d'emballage, de sacs à sucre anciens et d'autres emballages. La pâte qui en résulte est transformée en papier épais et dur, adapté aux cartes et étiquettes. Le cœur central ligneux ("stick") qui reste après l'enlèvement du liber peut également être transformé en papier, carton et cellulose.

Des lamelles de racines de corète potagère sont utilisées au Kenya pour traiter les maux de dents, une décoction de racine sert de tonique, les pousses feuillées servent contre les troubles cardiaques au Congo, une infusion de feuilles est absorbée contre la constipation en Tanzanie, et les graines servent de purgatif et de fébrifuge au Nigeria. (« *Corchorus olitorius* (PROTA) — PlantUse Français » s. d.)

III.1.4 Ecologie de *Corchorus Olitorius*

Les formes sauvages de *Corchorus Olitorius* poussent dans la savane, les jachères ou les champs abandonnés, souvent à proximité des marécages, des rivières et des lacs, jusqu'à une altitude de 1250(-1750) m. La corète potagère se développe bien en milieu chaud et humide. Dans les zones de la savane et du Sahel, elle pousse particulièrement bien pendant la chaude

saison des pluies. Elle est cultivée là où la pluviométrie annuelle est de 600–2000 mm. La température optimale est de 25–32°C. Sa croissance s'arrête en-dessous de 15°C. La corète potagère est une espèce de jours courts. Au Nigeria, une journée longue de 12,5 heures a donné une croissance végétative beaucoup plus importante, exprimée en poids de racines, de tiges et de feuilles, qu'une journée de 11,5 heures, mais la production de fruits et de graines était plus élevée avec une photopériode de 11,5 heures. La corète potagère préfère des sols de limon sableux riches en matières organiques et pousse difficilement sur de l'argile lourde. (« *Corchorus olitorius* (PROTA) — PlantUse Français » s. d.)

III.1.5 Maladies et ravageurs du *Corchorus Olitorius*

La corète potagère résiste plutôt bien aux maladies et aux ravageurs. *Sclerotium rolfsii*, responsable de la pourriture du pied et d'un flétrissement, représente parfois un problème. Des espèces de *Curvularia* donnent des taches noires sur les feuilles, et des *Cercospora* des taches circulaires sur les feuilles. Ces maladies fongiques sont contenues par une culture sur des planches bien drainés et par un espacement large. Une maladie virale transmise par des cicadelles et causant une déformation des feuilles et un retard de croissance a été identifiée au Nigeria.

Les ravageurs les plus nuisibles sont le criquet puant (*Zonocerus variegatus*), des chenilles (*Acrea* spp.), la légionnaire (*Spodoptera littoralis*) et des altises (*Podagrica* spp.). Pendant la saison sèche, des acariens rouges (*Tetranychus cinnabarinus*) attaquent souvent les feuilles.

La corète potagère est très sensible aux nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.). Les méthodes de lutte comprennent la rotation des cultures, en évitant de mettre en culture des plantes sensibles aux nématodes à galles pendant au moins un an, et le maintien d'une bonne teneur du sol en matière organique. (« *Corchorus olitorius* (PROTA) — PlantUse Français » s. d.)

IV. MATRIELS ET METHODES

Les investigations se sont déroulées à proximité de Ouagadougou sur le site expérimental de la plateforme d'irrigation de 2iE (K4 à Kamboinsé, 20 km au Nord-Ouest) et seront menées simultanément sur le quintuple plan *climat – sol – eau – plante – temps*.

Pour l'atteinte de nos objectifs fixés, une recherche bibliographique, des mesures au laboratoire, des essais et mesures sur le dispositif en place déjà installé sur le terrain et des traitements de données obtenues sur le terrain et au laboratoire par des logiciels ont été menés.

IV.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située dans la région du centre du Burkina-Faso plus précisément dans la commune de Ouagadougou à environs 15 km au Nord-Ouest de Ouagadougou.

La ville de Ouagadougou est située en zone soudano-sahélienne caractérisée par deux saisons bien contrastée : une longue saison sèche de novembre à mai et une courte saison de pluie de juin à octobre. La pluviométrie moyenne annuelle est de 690 mm et les températures moyennes journalière varient entre 25°C (décembre-janvier) et 32°C (mars-avril). Les températures maximales atteignent 42°C.

Le site expérimental de cette étude choisi est la plateforme d'irrigation de 2iE sur K3. Un laboratoire en plein air constitué d'un périmètre irrigué d'environ 0,5 ha munis de divers système d'irrigation plus précisément l'irrigation par aspersion et le goute à goute. Cette plate-forme est aussi dotée de systèmes de réutilisations des eaux usées, de station d'épuration, de bassin piscicoles et une unité de recherches lysimétriques pour des plantes vivrière et forestières.

La figure ci-après décrit en détails la situation géographique de la zone d'étude

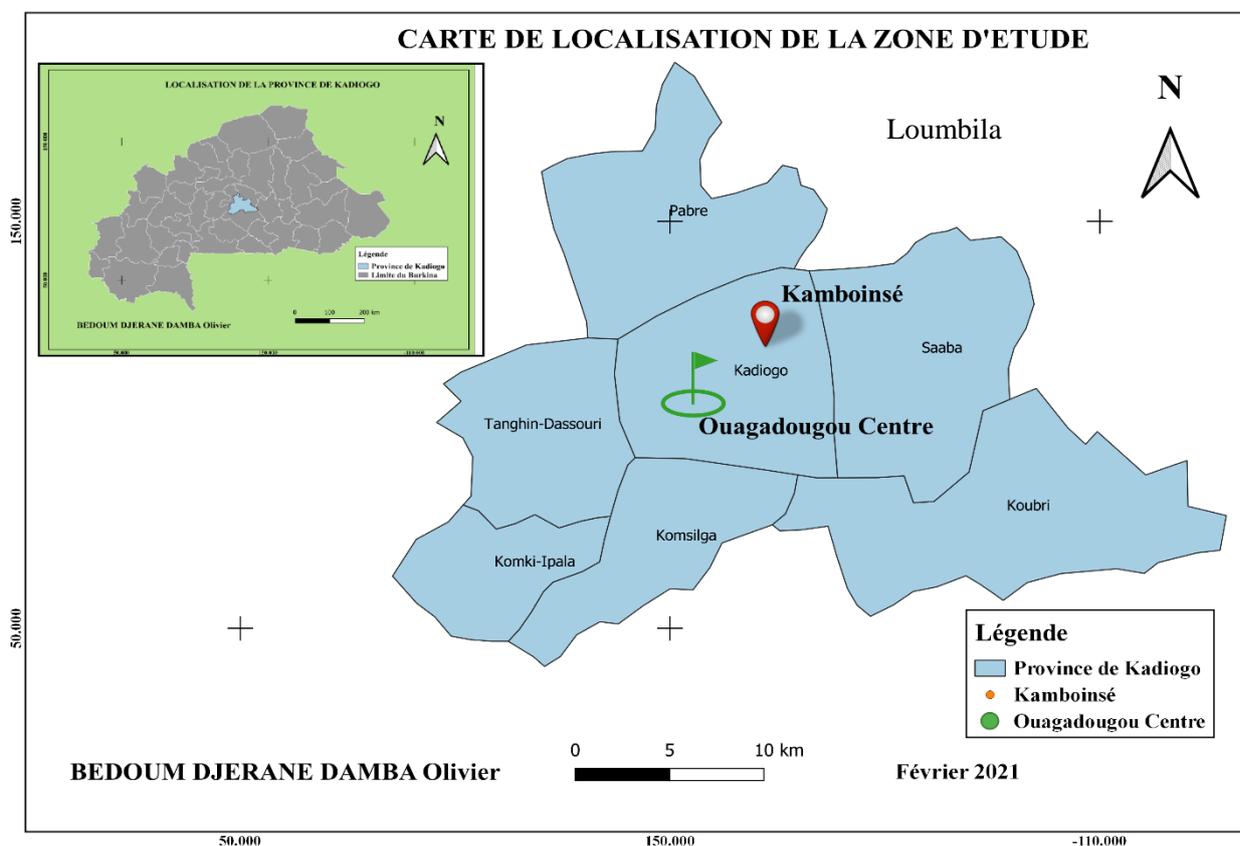


Figure 2: Carte de localisation de la zone d'étude –source : BEDOUM, 2021

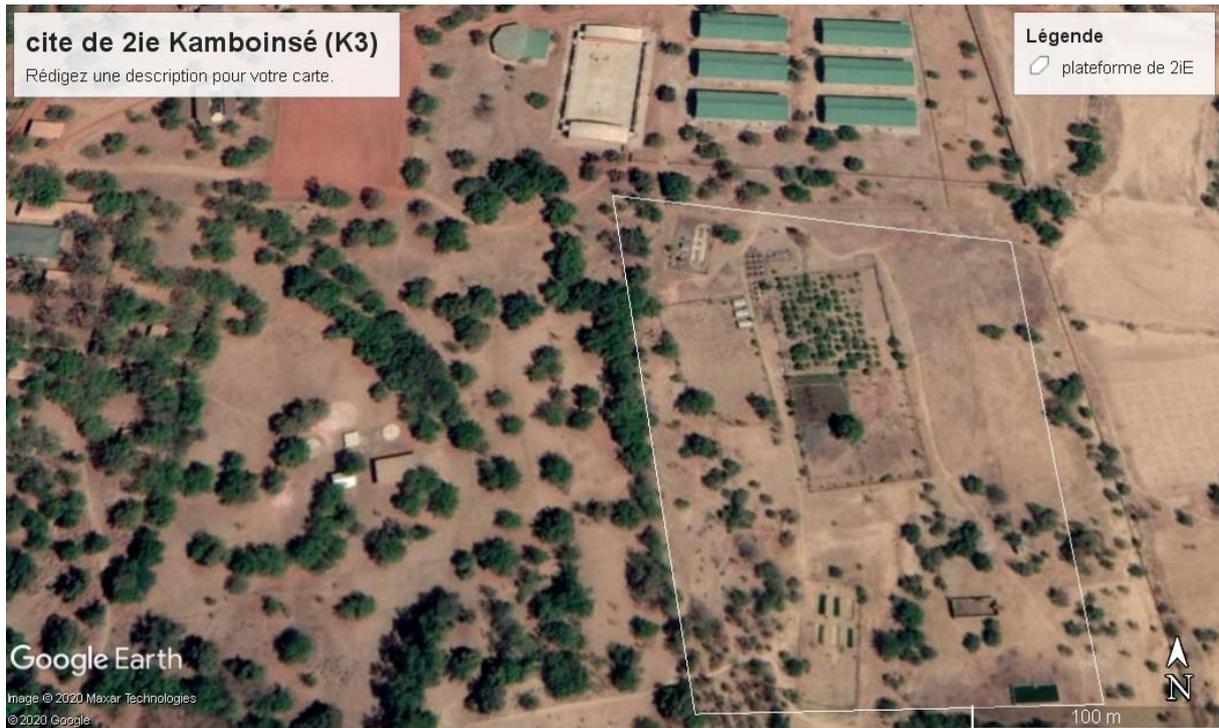


Figure 3: Situation de la plateforme sur Google Earth

IV.2 Présentation du dispositif expérimental

Pour répondre aux exigences statistiques de réplication dans la conception, neuf lysimètres ont été construits pour résister aux changements de température et pour offrir un espace propice à la pleine croissance des cultures (A. Keïta 2015). Avec ces neuf lysimètres, la loi de Student peut être appliquée pour vérifier la normalité des variables et calculer les intervalles de confiance (Montgomery et Runger 2010). Les lysimètres sont en béton d'un mètre-carré (1m^2) de superficie et d'une profondeur de 1,60 m. les lysimètres sont constitués de trois couche de matériaux : du gravier en (40 cm), du sable (35 cm) et 40 cm de mélange de terre à la partie supérieure (A. Keïta 2015).



Photo 2: Dispositif expérimental (vue de dessus)

IV.3 Propriétés physiques et hydrauliques du sol

IV.3.1 Taux de matière organique

La matière organique joue un rôle majeur dans à la conservation des sols. Elle a des effets positifs en particulier sur l'activité biologique, la structure, la rétention en eau, le drainage et la réserve en élément nutritifs du sol.

Des manipulations ont été faite pour déterminer le taux de matière organique dans les lysimètres. On a utilisé des creusets en porcelaine numérotés, un four à moufle, une étuve, une longue pince pour mettre et récupérer les creusets dans le four à moufle, une balance électronique de précision, des gangs anti-chaueur, des lunettes de protection. Un prélèvement d'échantillons 15g sur chaque lysimètre a été fait pour déterminer le taux de matière organique avant le repiquage. Les échantillons ont été placés à l'étuve pour séchage. Après séchage à l'étuve, on a procédé à une calcination au four à 900°C pendant 4 heures. Les cendres brutes sont obtenues après destruction de la matière organique par incinération (Huber et Schaub ,2011). La perte de poids après la calcination des échantillons nous permet de connaitre les proportions pondérales de la matière organique travers cette formule :

$$\text{Taux de matière organique (\%)} = 100 - \text{Taux de cendres (\%)}$$

Équation 1: taux de matière organique



Photo 3: Etuve –US 006 de marque Heraeus (à droite) et mise des échantillons dans le four à moufle – US 005

IV.3.2 Mesures d'infiltration double anneau de type Muntz

Le principe de la méthode de Muntz (Colombani, Lamagat, et Thiebaut 1972), également appelée double anneau est de mesurer l'évolution de l'infiltration au cours du temps d'une lame d'eau sous charge constante, s'infiltrant verticalement dans le sol (Boivin 1990).

Tout d'abord, le cylindre central est enfoncé à la masse, en interposant un madrier de bois tout en contrôlant l'horizontalité avec un niveau à bulle. Ensuite, le cylindre extérieur est placé en se déplaçant le long de la circonférence pour le maintenir horizontal. Les anneaux sont enfoncés dans le sol à environ 3 cm, et sont remplis d'eau à une hauteur convenable. Le niveau d'eau de l'anneau extérieur doit être maintenu constamment égal au niveau d'eau de l'anneau intérieur. Les mesures de baisse de niveau se font dans le petit anneau et en fonction du temps.

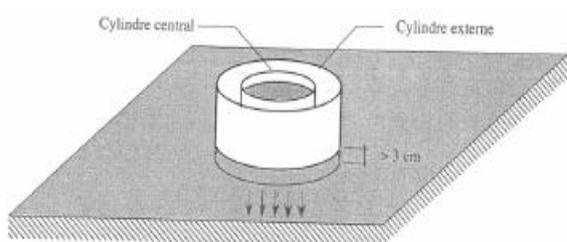


Photo 4: Dispositif du double anneau d'après (Musy et Soutter 1991) et Mesure de la vitesse d'infiltration

La conductivité hydraulique (K_{sat}) a été mesurée par la méthode d'infiltromètre à double anneau (Boivin 1990) pour obtenir des données aussi proches que possible du processus d'infiltration réel, les passages ont été effectués de manière aléatoire sur les neuf (9) lysimètres du terrain, la profondeur d'infiltration et le temps étant les variables mesurées. Bien que K_{sat} puisse être déduit du taux d'infiltration (non directement mesuré sur le terrain), l'expérience actuelle a utilisé la courbe d'infiltration cumulative, qui est l'anti-dérivée de l'équation du taux d'infiltration :

$$I_t = k_{sat} * t + \frac{1}{b} (i_0 - k_{sat}) * (1 - e^{-bt})$$

Équation 2:taux d'infiltration

où t est le temps écoulé depuis l'instant initial t_0 (égal à 0) en h ; b est un paramètre d'ajustement de la courbe de régression, k_{sat} est un paramètre d'ajustement de la courbe de régression ou de la conductivité hydraulique saturée en mm/h ; i_0 est le taux d'infiltration initial en mm/h ; $it(t)=(It-I_0)/(t-t_0)$ est le taux d'infiltration instantané à l'instant t , en mm/h ; c est l'infiltration cumulative depuis l'instant initial t_0 en mm ; et I_0 l'eau infiltrée préliminaire (souvent égale à 0), en mm .

Pour éviter la perte de données, les mesures de la profondeur d'infiltration cumulative ont été effectuées par un groupe d'incrément. Au cours de la première heure, l'incrément entre deux mesures était de 10 minutes, 20 minutes au cours de la deuxième heure, 30 minutes au cours de la troisième heure, etc. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel Minitab 18 pour une régression non linéaire. Les neuf (9) valeurs de K_{sat} obtenues ont été introduites dans le logiciel Soil Water Characteristics (Saxton et Rawls 2006) pour la détermination du type de sol.

IV.3.3 Le pH (Potentiel Hydrogène) du sol

Le pH, ou potentiel hydrogène, est un indicateur qui permet de mesurer le taux d'acidité ou de basicité. Pour mesurer le pH du sol, nous avons prélevé des échantillons de sol dans chaque lysimètre. Ces échantillons ont été collectés de façon aléatoire à 15cm de profondeur du lysimètre en utilisant un facteur de dilution (eau distillée) 15ml pour préparer la solution. Ensuite on introduit la sonde pH-métrique dans la solution et on relève la valeur du pH. L'appareil utilisé pour cette mesure est le pH-mètre.



Photo 5: Le dispositif pH-mètre et la procédure de manipulation

IV.3.4 Densité apparente sèche et porosité

La densité apparente, ou masse volumique apparente sèche, exprimée en g/cm^3 , est le rapport du poids de sol sec (g) sur le volume total de l'échantillon (cm^3). En d'autres termes, elle représente la masse volumique du sol.

Pour déterminer cette densité apparente nous avons utilisé le cône de densité et un récipient de volume connu étant donné que nous avons un échantillon remanié. Le sol prélevé dans chaque lysimètre au profondeur de 10 cm et 20 cm est porté à l'étuve à une température $105^{\circ}C$ pendant 24h pour déterminer la masse sèche. Ce dernier a donc été versé dans le cône puis recueilli dans le récipient cylindrique de volume 1 litre préalablement pesé à vide. L'ensemble échantillon –récipient a ensuite été pesé afin d'avoir une masse. La masse réelle de l'échantillon a été déterminé en déduisant la masse du récipient. Connaissant la masse et le volume de l'échantillon, nous pouvons donc déterminer la densité apparente en faisant le rapport de la masse sur le volume.

L'équation suivant nous a permis de calculer la densité apparente :

$$da(g/cm^3) = \frac{M_s(g)}{V(cm^3)}$$

Équation 3: Calcul de la densité apparente

La porosité est l'ensemble des vides d'un matériau solide, ces vides sont remplis par des fluides (liquide ou gaz). C'est une grandeur physique comprise entre 0 et 1 (ou, en

pourcentage, entre 0 et 100%), qui conditionne les capacités d'écoulement et de rétention d'un substrat.

L'équation qui a permis de calculer la porosité de notre sol est le suivant :

$$f(\%) = \left(1 - \frac{da(g/cm^3)}{dr(g/cm^3)}\right) * 100$$

Équation 4: Calcul de la porosité

Avec (dr) la densité réel qui est de : $dr \approx 2,65 g/cm^3$



Photo 6: Réalisation de l'essai pour la détermination de la densité apparente sèche

IV.4 Les variables d'état de l'eau dans le sol : l'humidité volumique et potentiel hydrique matriciel

On quantifie l'eau dans le sol par deux types de variables : l'humidité volumique, qui caractérise une quantité d'eau dans le sol et le potentiel hydrique matriciel qui caractérise l'énergie avec laquelle l'eau est retenue dans le sol.

✚ Humidité volumique

La détermination de la teneur en eau volumique permet d'obtenir la hauteur d'eau équivalente stockée sur une hauteur de sol. Le TRIME-PICO IPH est un humidimètre de sol portable de technologie TDR (Time Domain Reflectometry), dont la géométrie de sonde est spécialement conçue pour réaliser des mesures dans le sol à travers un tube d'accès (neuf 9 tubes installés dans notre cas d'étude) permettent de descendre la sonde et de réaliser des

mesures à plusieurs profondeurs (10,20,30,40,50cm dans notre cas d'étude). Il permet ainsi de suivre efficacement l'évolution des profils hydriques, des transferts et des réserves dans les sols. Très léger, il a été développé pour une utilisation mobile sur le terrain. Il s'utilise avec les boîtiers de lecture TRIME HD. (« Humidimètre de sol TDR Sonde à tube Trime-IPH » s. d.)

Calcul du stock d'eau

Le stock d'eau (S) du sol est calculé à partir d'une intégration de la teneur en eau volumique sur une tranche de sol (chaque 10cm).

Dans le présent travail, le stock d'eau a été estimé en considérant que les mesures de teneur en eau aux profondeurs Z_i (tous les 10 cm) sont représentatives d'une couche de 10 cm d'épaisseur.

Le stock d'eau S(mm) sur la profondeur z est calculé sur la base de l'équation :

$$S_{0-z} = (\theta_{10} \times 100) + (\theta_{20} \times 100) + (\theta_{30} \times 100) + (\theta_{40} \times 100) + (\theta_{50} \times 100)$$

Figure 4: Calcul du stock d'eau

θ : Humidité volumique (%)

Z : profondeur (cm)

Charge de pression (potentiel hydrique matriciel)

Les tensiomètres manomètres ont été installés aux profondeurs de 15 et 30 cm dans six (6) lysimètres soit deux par lysimètre. Les tensiomètres utilisés sont de marque SDEC « BOURDON » modèle SR 1000 commercialisés par Soil moisture corp. Ayant une plage de mesure ne dépassant pas les 90 cbars. Ils autorisent des échanges osmotiques à travers une bougie poreuse. L'eau du tube du tensiomètre est sucée par le sol jusqu'à ce que le vide créé dans ce dernier soit suffisant pour s'équilibrer avec la succion du sol. A ce point d'équilibre, l'eau cesse de s'écouler hors de la bougie et la valeur lue sur le manomètre correspond à la tension du sol (Barranger Phillippe 2002). Ce dispositif va nous permettre de suivre l'évolution de la tension de l'eau dans le sol et dans le même temps évaluer le flux d'eau au-delà de la zone racinaire par la formule de Darcy. Les données tensiométriques seront utilisées pour étudier le profil hydrique de la charge hydraulique (H) dans le sol.

$$H = h - z$$

Équation 5: Calcul de la charge Hydraulique

H (cm) : charge hydraulique totale de l'eau dans le sol

h (cm) : charge de pression et z (cm) : profondeur de mesure (potentiel gravitaire)



Photo 7: Humidimètre TRIME-PICO IPH et la procédure de mesure de l'humidité



Photo 8: Deux (2) tensiomètres installés dans le lysimètre

IV.5 Détermination de l'évapotranspiration de référence (ET₀)

En ce qui concerne le climat, une station météo complète *WatchDog* a été utilisée pour mesurer quotidiennement les paramètres entrant dans le calcul Penman-Monteith de ET₀. Ces paramètres sont les températures mini et maxi, la vitesse du vent à 2 m au-dessus du sol, les pressions de vapeur saturante et actuelles, l'humidité relative, et la radiation solaire.

La station *WatchDog* a été installée à 2 mètres du sol près du dispositif mis en place sur le terrain. En effet, sur la base des résultats de plusieurs études, notamment celles de (Jensen et al. 1997), la consultation d'experts menée par la FAO sur la méthodologie d'estimation des besoins en eau des cultures, a conduit à recommander la méthode de Penman-Monteith

comme méthode privilégiée d'estimation de ET_0 du gazon, et donc pour servir de base à la détermination des coefficients culturaux.

$$ET_0 = \frac{0.408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T + 273} * u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Équation 6: Penman-Monteith pour le calcul de ET_0

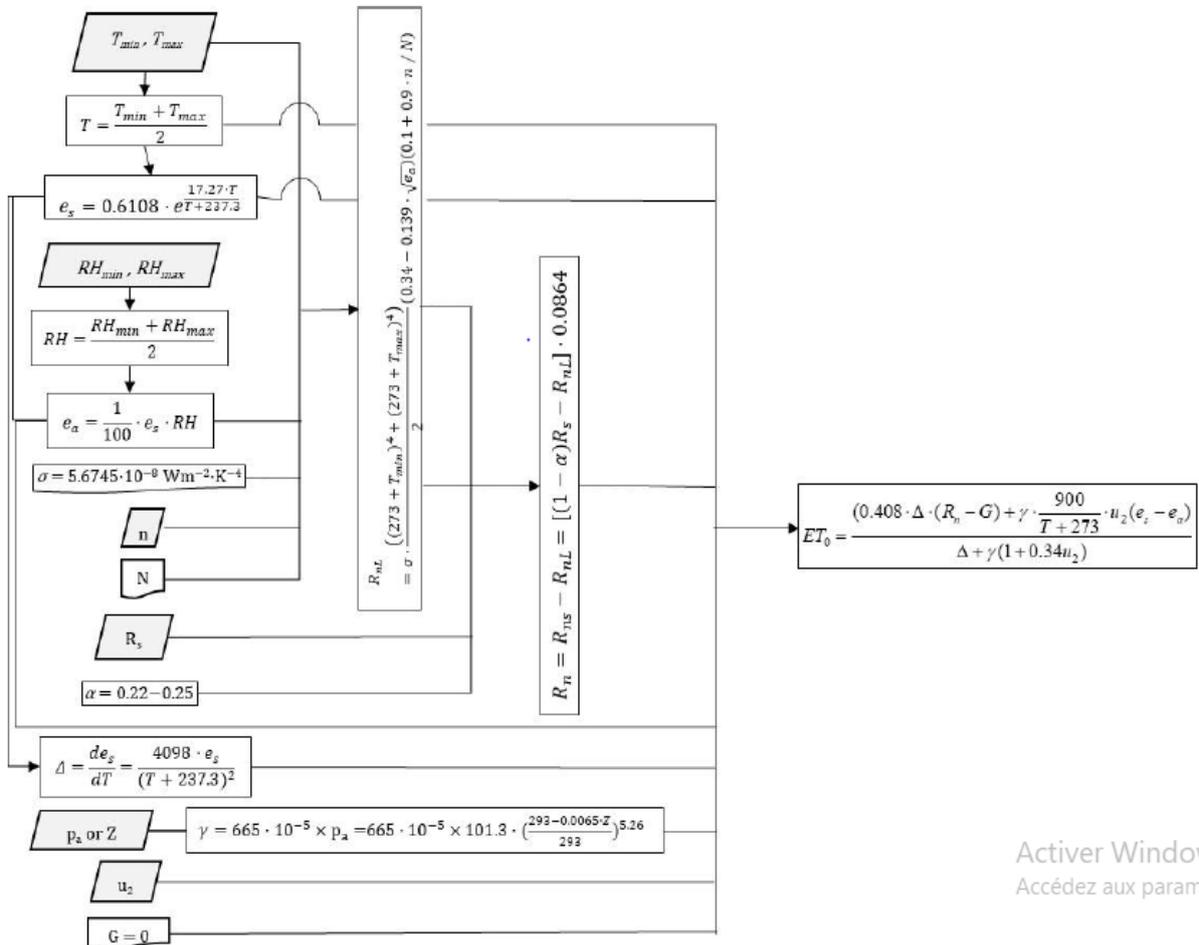
Avec :

- ET_0 : Evapotranspiration de référence journalière (mm/j) ;
- R_n : Rayonnement net à la surface de culture (M J/m²/j) ;
- G : flux de chaleur échangé avec le sol (M j/m²/j) ;
- T : température moyenne journalière (°C) ;
- u_2 : vitesse moyenne journalière du vent mesuré à 2 mètre (m/s) ;
- e_s et e_a : respectivement la pression de vapeur saturante et la pression réelle de l'air à la même hauteur (kPa) ;
- Δ : pente de la courbe de pression de vapeur saturante à la température T (kPa/°C) ;
- γ : constante psychrométrique (kPa/°C) ;
- 900 coefficient de vent pour la culture de référence (Kg K/kj) liées aux unités utilisées à la distribution de variable \tilde{n} , c_p et 0,34 : coefficient de vent pour la culture de référence (Kg K/kj) résultant du rapport r_s/r_a ; 0,408 inverse de $\tilde{e} = 2,45$ Mj/kg.

L'extraction des données climatiques a été faite à l'aide du logiciel SpecWare9. Les paramètres entrant dans le calcul de ET_0 mesurés par la station *WatchDog* sont, la vitesse du vent (U_2) ; les températures (T_{min} ; T_{max}) ; les humidités relatives (R_{hmin} ; R_{hmax}) et le rayonnement solaire (R_s). Ces paramètres ont permis de calculer de l'évapotranspiration de référence avec la formule de Penman et Monteith.



Photo 9: Extractions de données de la station météorologique WatchDog



Activer Window
Accédez aux paramé

Figure 5: Algorithme de calcul des paramètres de l'ET0

IV.6 Bilan hydrique (détermination de l'évapotranspiration maximale (ETM))

En vue d'établir un bilan hydrique quotidien, il a été mesuré simultanément sur neuf (9) lysimètres l'irrigation (apport d'eau) et la percolation profond (drainage). Ces lysimètres sont nommés comme suit : L1 ; L2 ; L3 ; L4 ; L5 ; L6 ; L7 ; L8 ; L9.

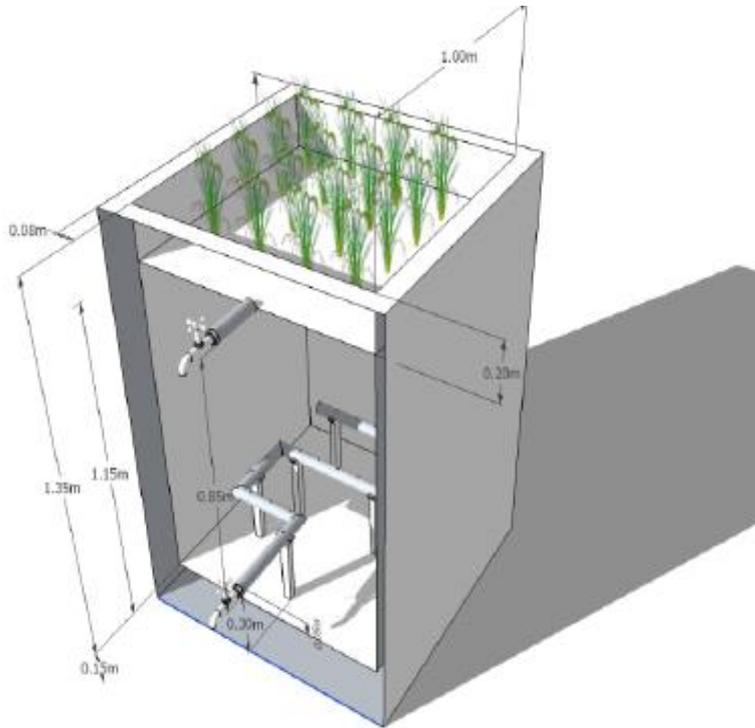


Figure 6: lysimètre en béton équipé de tubes de drainage de surface et souterrain (Keita, Niang, et Sanou 2019)

Dans le contexte de la production agricole, le bilan hydrique vise principalement à déterminer les échanges entre l'atmosphère et le système sol-végétation dans un but d'évaluer les fluctuations des réserves d'eau disponibles pour les plantes.

Pour déterminer l'évapotranspiration d'un couvert végétal, la méthode la plus simple dans son principe est celle basée sur le bilan hydrique d'un système de dimensions finies appelé lysimètre ou évapotranspiromètre. (Allen-Richard et al. 1998).

L'évapotranspiration maximale (ETM) a été obtenue en élaborant une équation de bilan hydrique dans laquelle les cinq variables à l'exclusion de l'ETM ont été mesurées dans neuf lysimètres conçus pour atteindre cet objectif. L'équation du bilan hydrique incluant le ruissellement $R(\text{mm})$, le drainage $D(\text{mm})$, les précipitations $P(\text{mm})$, l'irrigation $I(\text{mm})$ et la variation du stock dans le sol du lysimètre $\Delta S(\text{mm})$ est la suivante :

$$(P + I) = R \pm D \pm \Delta_s + ETM$$

Équation 7: Equation du bilan hydrique

Compte tenu des conditions de l'expérience, trois simplifications importantes ont été apportées à partir de l'équation (7). Premièrement, les opérations ont eu lieu pendant la saison sèche, pendant laquelle il n'y a pas de précipitations, donc $P = 0$ mm. Deuxièmement, les lysimètres avaient cinq centimètres de franc-bord et l'irrigation a été effectuée pour ne pas produire de ruissellement, donc $R = 0$ mm. Enfin, la variation du stock ΔS à l'intérieur de chacun des neuf lysimètres a été déterminé par les mesures de l'humidité avec l'humidimètre TDR, et en calculant le bilan hydrique sur la base d'un cycle décennal. Par conséquent, l'ETM a été déterminé en utilisant l'équation (8) :

$$ETM = I - D \pm \Delta_s$$

Équation 8: Formule de ETM

Dans notre équation du bilan hydrique l'ETM est considérée comme la valeur maximale de ETR. Compte tenu du fait que les plantes couvrent une portion du sol, un facteur de réduction de la couverture végétale (Kr) est introduit.

Ainsi, $ETM_{loc} = kr * ETM$ (Keita, 2009a)

Avec, $kr = 0,1\sqrt{GC(\%)}$ (Bliesner et Keller 1990)

$$ETM_{loc} = kr * ETM = kc * ET0$$

Équation 9: Formule de ETM_{loc}

IV.7 Étude des paramètres de croissance de la plante

Concernant la plante, plusieurs grandeurs importantes ont été mesurées. Après germination des semences sur germoir et sous une serre de jardin, les plantes ont été transférés dans les lysimètres enveloppés de sacs pour limiter l'échauffement du béton. Durant les essais, les paramètres traduisant les attributs de la croissance notamment, la profondeur d'enracinement, le diamètre au collet ; la hauteur de tige, le nombre de branches, le nombres de feuilles par branche, la couverture du sol (GC), la biomasse humide à la récolte, la biomasse sèche à la récolte, le poids de 1000 graines, et la teneur en eau des graines ont été déterminées. Un

double mètre ruban métallique pour les mesures de hauteur, un mètre ruban couture pour le diamètre au collet, une Application Android (Easy Leaf Area Free) pour la couverture végétale, un mesureur d'humidité portable pour céréales, et une balance (KERN 440-47 N) pour la mesure des masses ont été utilisés. Le logiciel Mesurim 2 a été utilisé pour mesurer les paramètres de feuillet.

En ce qui concerne la germination de nos graines, les paramètres observés étaient la durée d'attente, la durée de germination et le nombre de graines germées. Le relevé de germination a été effectué pendant plus d'une semaine en comptant systématiquement chaque jour les graines ayant germé pour calculer le taux de germination. Ce dernier est défini comme le rapport entre le nombre de graines germées et le nombre de graines semées.

Afin de vérifier l'homogénéité entre les répliques (lysimètres), une comparaison en faisant un test paramétrique et un autre non paramétrique a été faite. En tenant compte du fait que nous avons des échantillons indépendants, et un effectif faible (inférieur à 30) le test de ANOVA (paramétrique) et celui de Kruskal-Wallis (non-paramétrique) pour chaque attribut de croissance ont été appliqués.



Photo 10: Mètre ruban métallique (à gauche) et mètre ruban couture (à droite)

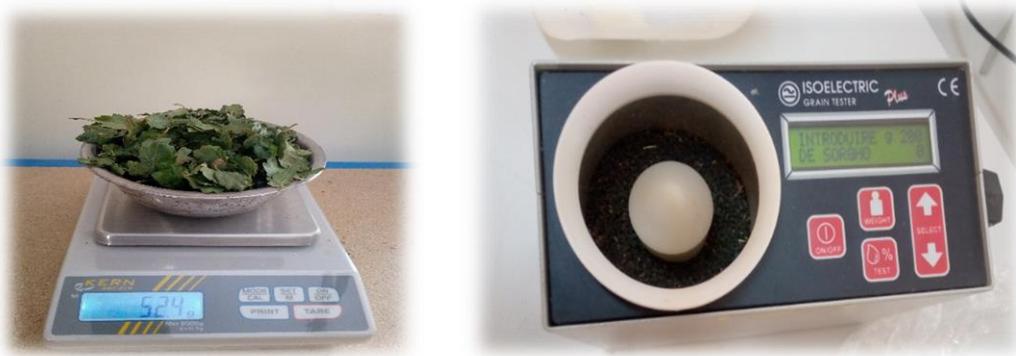


Photo 11: Balance (KERN 440-47 N) et mesureur d'humidité portable pour céréales

IV.8 Détermination du coefficient cultural (kc)

Pour obtenir les valeurs du coefficient de culture K_c , la procédure indiquée dans La figure 6 a introduit une variable très importante à côté de l'ETM et de l'ET₀ précédemment. Ce paramètre clé est le GC_i de couverture au sol, où "i" est le numéro du lysimètre. En effet, le feuillage de la plante dans un lysimètre bien qu'il s'étende progressivement reste local. Par conséquent, le facteur de réduction du feuillage K_r de Karmeli et Keller (Karmeli et Keller 1975) a été appliqué en utilisant la GC de couverture végétale (%). À tout stade de la croissance, le couvert végétal est le rapport entre la somme de toutes les k surfaces foliaires individuelles a_k et la surface maximale du couvert végétal A_i donnée par le développement maximum du feuillage a été déterminé en prenant des photos de la surface du lysimètre pour saisir les surfaces foliaires a_k à base de l'Application Android Easy Leaf Area Free. L'application de ce facteur de réduction conduit à l'expression de K_c comme suit :

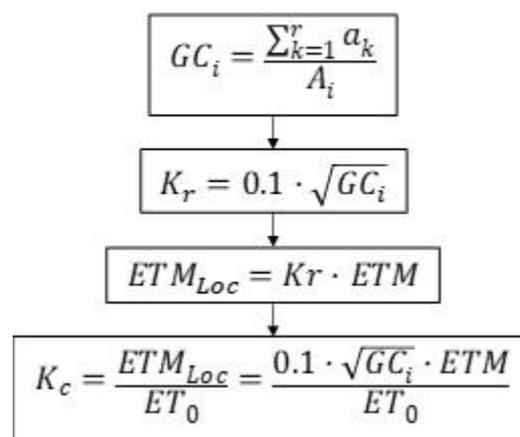


Figure 7: Procédure de calcul de K_c (Keita, Sanou, et Niang 2019)

La figure (7) explique la procédure complète. La procédure se lit de haut vers le bas. La couverture du sol G_{Ci} pour chaque nième lysimètre est calculé en additionnant toutes les superficies projetées de feuillage de chaque culture a_k pour toutes les r cultures et en divisant cette somme par A_i . La valeur K_c obtenue tient compte de la croissance localisée des plantes.

V. RESULTATS – DISCUSSION

Etant donné que les investigations ont été menées simultanément sur le quadruple plan climat-sol-eau-plante, les différents résultats obtenus seront également donnés sur ce même quadruple.

V.1 Propriétés physiques et hydrauliques du sol

V.1.1 Taux de matière organique

Tableau 1: Taux de matière organique suivant les lysimètres

Lysimètre	Matière Organique (%)
L1	8.95
L2	9.67
L3	8.89
L4	9.41
L5	9.25
L6	8.37
L7	9.61
L8	7.42
L9	6.34
Moyenne	8.66
Ecart-Type	1.12
Coeff. de Variation	0.13

Selon les résultats présentés dans le tableau (1), le taux de matière organique apporté au sol dans les lysimètres est en moyenne de $8,66 \pm 1,12\%$. En effet, ce résultat est obtenu grâce à l'ajout au sol existant du compost de volailles 1,6 kg environ, cette valeur est à peu près égale à l'étude menée sur le dispositif par KABORE (2017) c'est dire très riche en matière organique comparé à la valeur très faible, moins de 1% par rapport au sol qu'on rencontre dans la zone sahélienne. Ce résultat explique la fertilité du sol et sa capacité d'infiltration. La matière organique est une source de vie microbienne assurant la fonction biologique du sol pour une meilleure fertilité. Selon (Sangaré 2002), l'apport de fumier a permis d'améliorer l'effet travail du sol.

V.1.2 Mesures d'infiltration double anneau de type Muntz

Les analyses statistiques ont suivi la collecte des données d'infiltration afin de tirer des conclusions valides sur la perméabilité du sol dans les lysimètres.

Comme présenté dans le tableau (2), le coefficient de variation est inférieur à 10% pour les neuf (9) répliques pour la conductivité hydraulique saturée K_{sat} . Ce qui prouve que les sols utilisés dans les lysimètres sont homogènes avec en moyenne une valeur de **21,51 ± 2,01 (mm/hr)**.

Tableau 2: Valeurs de conductivité hydraulique à saturation (K_{sat})

Lysimètre	K_{sat} (mm/hr)
L1	24,76
L2	21,42
L3	20,33
L4	20,15
L5	23,46
L6	22,44
L7	20,71
L8	22,34
L9	17,97
Moyenne	21,51
Ecart-Type	2,01
Coeff. de variation	0,09

La valeur moyenne de K_{sat} obtenus a permis d'avoir les paramètres d'humidités, savoir l'humidité à la capacité au champ θ_{FC} et l'humidité au point de flétrissement θ_{WP} obtenus du traitement des données par le logiciel Soil Water Characteristic. Les résultats sont consignés dans le tableau 3 :

Tableau 3: Caractéristiques du sol

K_{sat} (mm/hr)	21,51
θ_{FC} (%)	35,1
θ_{WP} (%)	20,6

Par application de la formule avec les humidités caractéristiques déterminées, nous obtenons :

RU = 14,5 (%) soit 14,5 cm/mm ou 145 mm/m

En outre, la valeur moyenne de la conductivité hydraulique saturée K_{sat} de **21,51 ± 2,01 mm/h** classe le sol du triangle de texture comme un sol de nature sableux argilo-limoneux. Il est composé de 26% de limon, 27 % d'argile et de 47% de sable. Cette structure permet facilement l'aération et l'infiltration de l'eau dans sol.

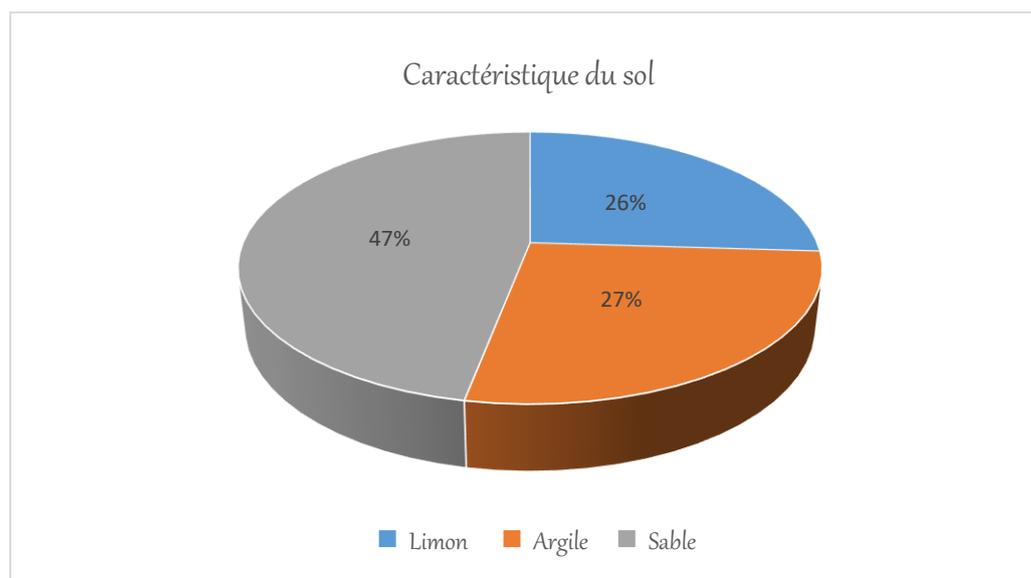


Figure 8: Structure du sol dans les lysimètres

V.1.3 Le pH (Potentiel Hydrogène) du sol

Les valeurs de pH sont consignées dans le tableau (4) ci-dessous :

Tableau 4: Valeurs du pH

	Masse d'échan (g)	Q d'eau (ml)	PH	T °C
L1	20	15	8,39	28,7
L2	20	15	8,61	28,2
L3	20	15	8,65	28,0
L4	20	15	8,75	28,0
L5	20	15	8,57	28,7
L6	20	15	8,80	28,1
L7	20	15	8,52	28,3
L8	20	15	8,56	27,9
L9	20	15	8,76	28,3
		Moyenne	8,62	28,24
		Ecart-type	0,13	0,29
		CV	0,02	0,01

Nous avons un pH, en moyen de l'ordre de $8,62 \pm 0,13$. Notre sol est basique, il contient trop de calcaire.

V.1.4 Densité apparente sèche et porosité

Les valeurs de la densité apparente déterminées à 10 cm et 20cm et celle de porosité calculées à ceux profondeurs dans les neuf (9) lysimètres sont récapitulées dans le tableau (5).

Tableau 5: Valeurs de la densité apparente et de la porosité

Lysimètres	da(g/cm ³)_(0-10cm)	da(g/cm ³)_(10-20cm)	f(%)_(0-10cm)	f(%)_(10-20cm)
L1	1.20	1.22	54.79	54.04
L2	1.22	1.21	54.00	54.45
L3	1.34	1.22	49.51	53.96
L4	1.32	1.23	50.08	53.43
L5	1.31	1.24	50.53	53.17
L6	1.35	1.24	48.94	53.28
L7	1.29	1.25	51.36	52.94
L8	1.23	1.16	53.58	56.15
L9	1.37	1.22	48.19	54.08
Moyenne	1.29	1.22	51.22	53.95
Ecart-type	0.06	0.03	2.38	0.97
CV	0.05	0.02	0.05	0.02

Les valeurs de densité apparente au niveau des lysimètres ne s'éloignent pas tellement les unes des autres, cela s'explique par le fait qu'on a quasiment le même sol dans les lysimètres. L'étude de la densité apparente sèche (da) donne pour de l'ensemble une volume moyenne de l'ordre de $1,26(\text{g/cm}^3) \pm 0,04$ et une porosité de l'ordre de **53%**, ce qui témoigne d'un sol moyennement dense et d'une porosité plus aux moins importante corroborant le type de sol préalablement obtenu.

V.2 Les variables d'état de l'eau dans le sol : l'humidité volumique et potentiel hydrique matriciel

L'effet des techniques CES (techniques de conservation des eaux et des sols) sur les variables d'états a été apprécié à partir des mesures quotidiennes de l'humidité volumique et de la charge de pression de l'eau du sol.

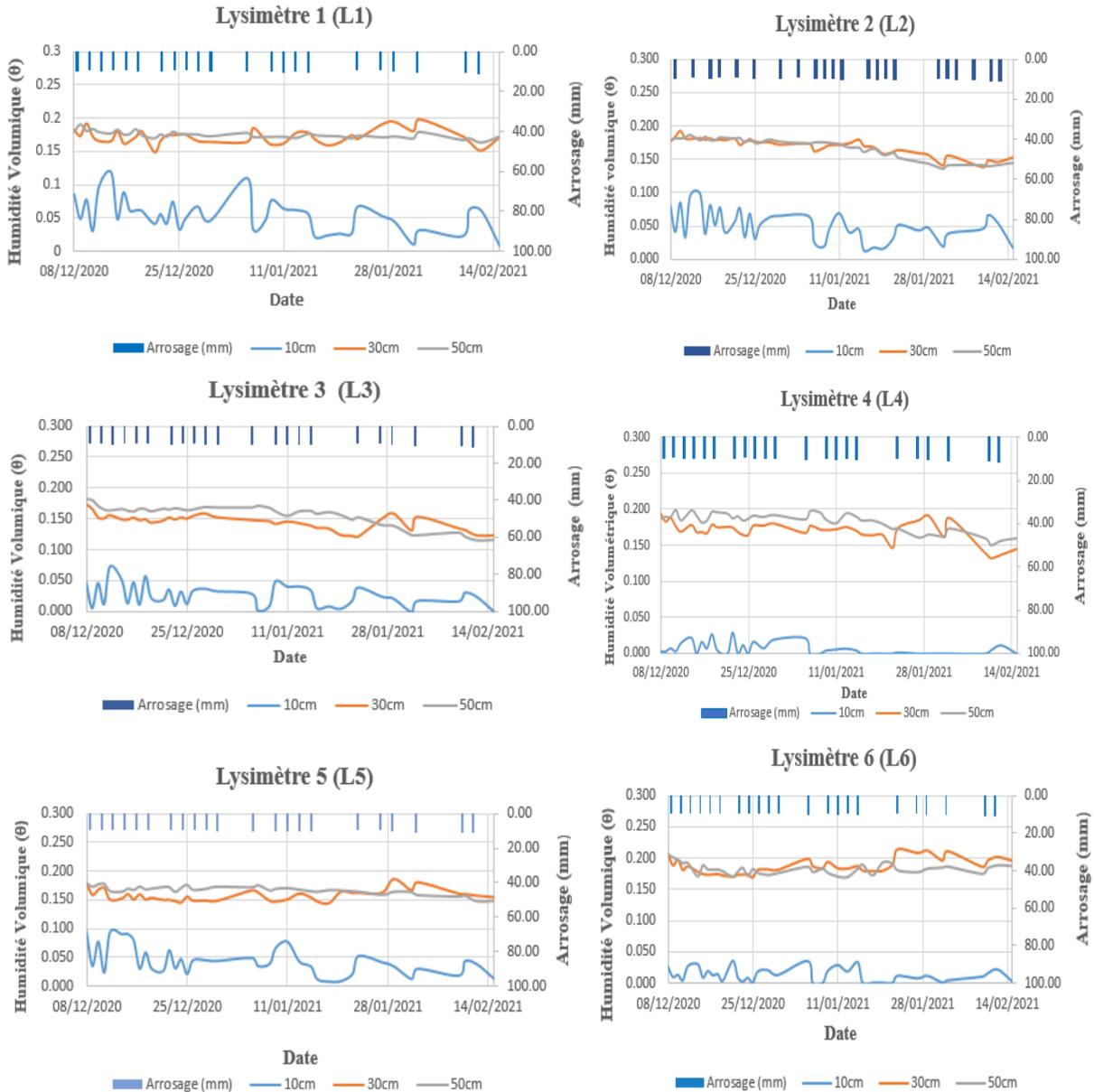
Nous rappelons que notre objectif étant de déduire les variables d'états des sols des lysimètres, ceci nous mène à ces résultats.

V.2.1 Suivi de la teneur en eau

Evolution temporelle de la teneur en eau

Les figures ci-dessous montrent l'évolution de la teneur en eau mesurée aux profondeurs 10, 20,30,40 et 50 cm pendant la période (décembre 2020 à février 2021) dans chaque lysimètre de notre étude.

On observe d'une manière générale que dans les horizons supérieurs du sol (10 premiers centimètres), l'humidité du sol s'est révélée être très sensible aux apports d'eau par arrosage, augmentant après chaque événement d'arrosage et diminuant rapidement pendant la période sèche (non arrosée), cette humidité reste plus faible à la surface (10cm). Un regard sur ces neuf (9) lysimètres nous donne une humidité minimale de 0,01% et une humidité maximale de 19,79%. Nous constatons également que le transfert d'eau se fait plus rapidement de la surface vers la profondeur, ceci peut être dû aux profils pédologique du milieu.



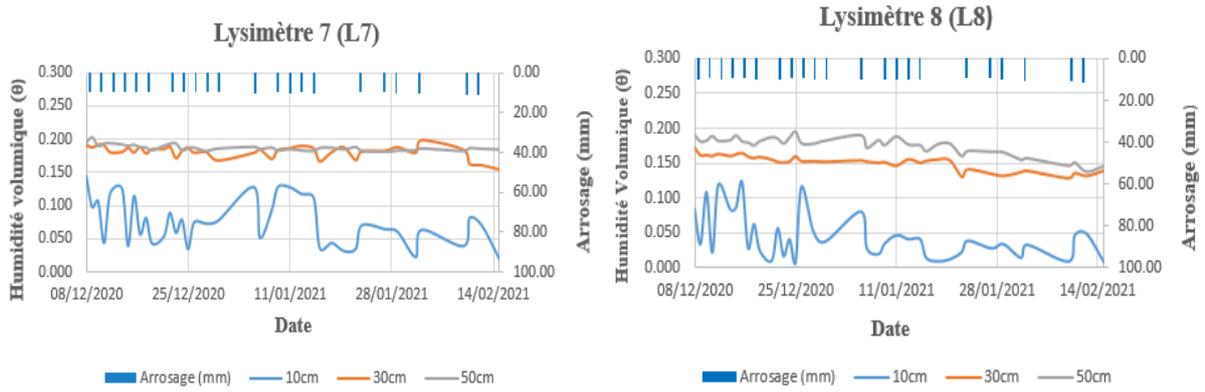
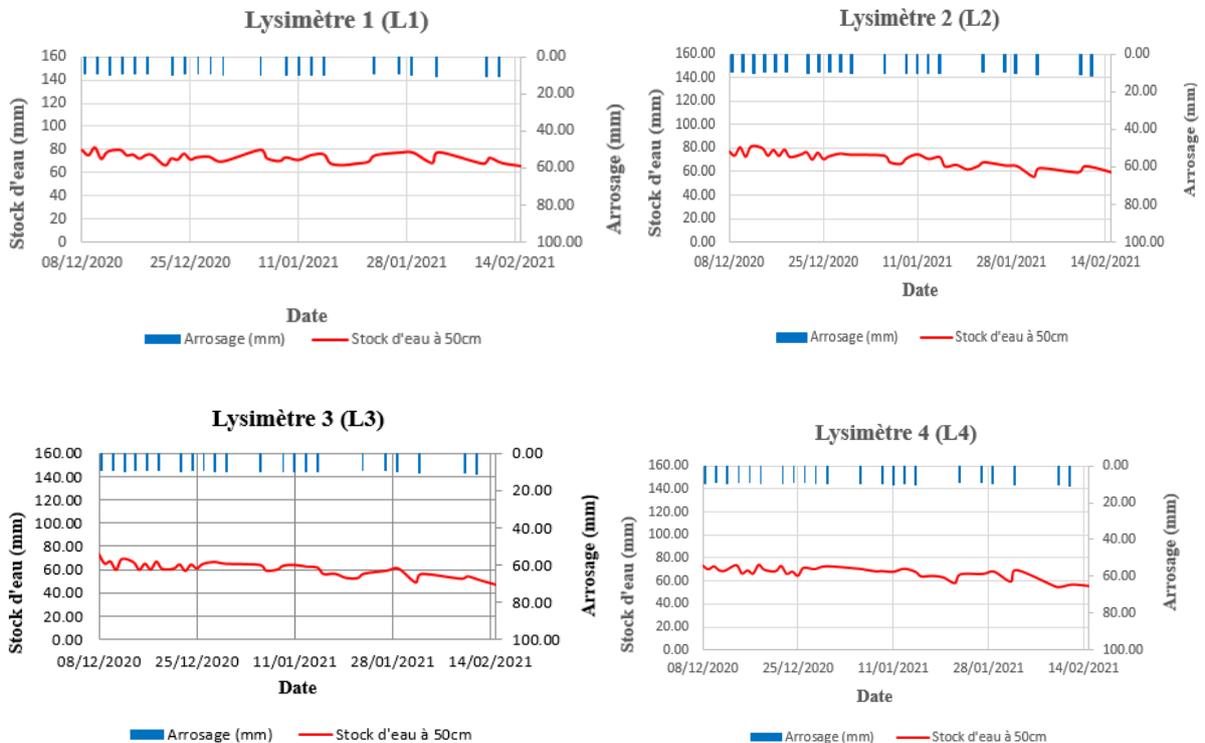


Figure 9: Evolution temporelle de la teneur en eau à différentes profondeurs dans les lysimètres

Evolution temporelle du stock d'eau du sol

Les figures ci-dessous décrivent l'évolution du stock d'eau du sol disponible entre la surface et la profondeur 50 cm au niveau des différents lysimètres de mesure de décembre 2020 à février 2021. Sur l'ensemble des lysimètres le stock d'eau du sol fluctue entre 47,06 et 90,96mm. La variation temporelle du stock d'eau sous les différents lysimètres reste pratiquement semblable (aux alentours de 70mm).



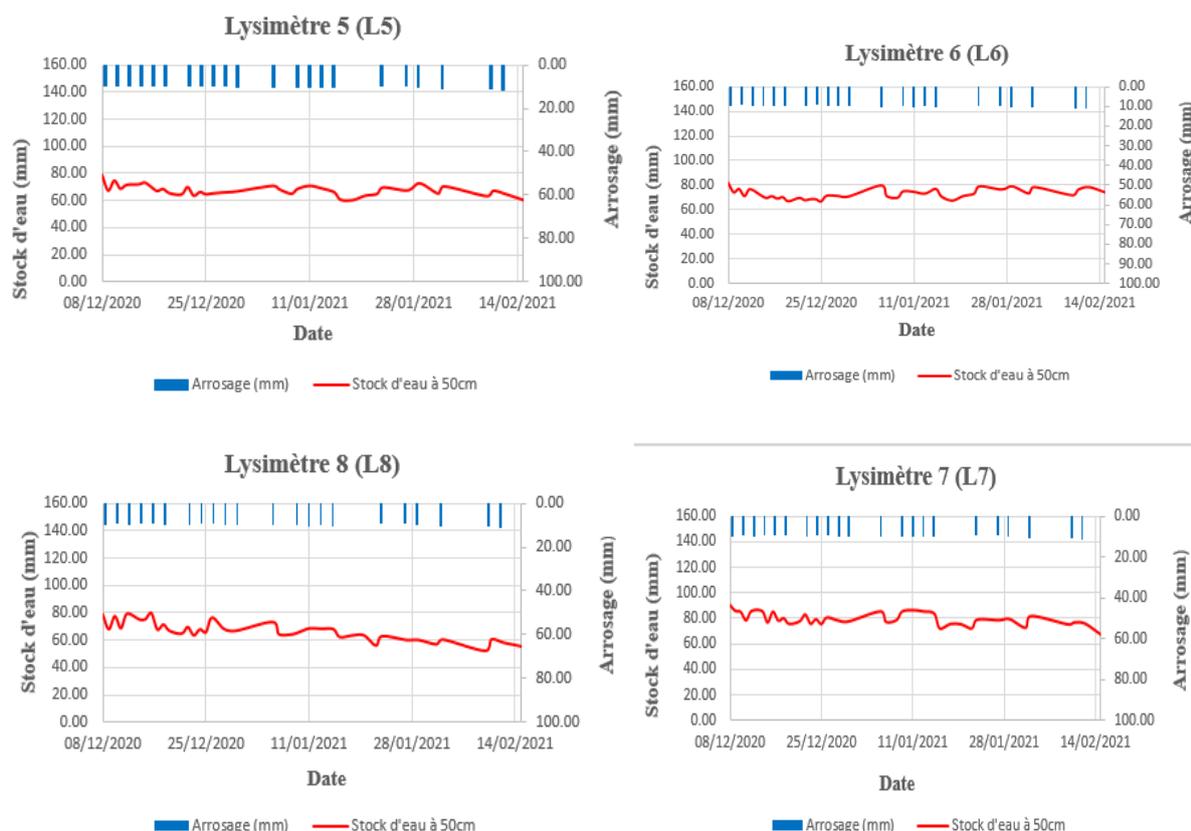


Figure 10: Evolution du stock d'eau du sol entre la surface et 50 cm de profondeur dans les lysimètres

V.2.2 Suivi de la charge de pression

Les données tensiométriques ont été utilisées pour étudier l'évolution de la charge hydraulique H de l'eau du sol. Le tableau (6) montre l'évolution de cette charge hydraulique pendant l'étude. En effet, selon que le sol soit humide ou sèche, nous avons des variations assez faibles aussi en surface qu'en profondeurs avec des petites différences selon les lysimètres, cela est dû au fait que l'apport d'eau se fait chaque deux (2) jours.

Le tableau ci-dessous nous donne pour un échantillon de mesure les valeurs de charge hydraulique (H) calculées avant et après irrigation sur les profondeurs de 15 et 30 cm.

Tableau 6: Valeurs de la charge hydraulique avant et après irrigation

		L1		L2		L3		L4		L5		L6	
	profondeur	15cm	30cm										
Avant Irrigation	h	-5	-8	-4	-6	-4	-8	-6	-6	-1	-1	-8	-8
	H	-20	-38	-19	-36	-19	-38	-21	-36	-16	-31	-23	-38
	h	-6	-9	-6	-8	-4	-9	-8	-8	-3	-6	-6	-10
	H	-21	-39	-21	-38	-19	-39	-23	-38	-18	-36	-21	-40
	h	-8	-10	-6	-8	-6	-10	-8	-8	-4	-6	-8	-10
	H	-23	-40	-21	-38	-21	-40	-23	-38	-19	-36	-23	-40

	h	-8	-8	-5	-8	-4	-8	-6	-6	-2	-4	-6	-10
	H	-23	-38	-20	-38	-19	-38	-21	-36	-17	-34	-21	-40
Après Irrigation	h	-2	-8	0	-8	0	-6	-4	-7	0	-2	-8	-10
	H	-17	-38	-15	-38	-15	-36	-19	-37	-15	-32	-23	-40
	h	-3	-8	-2	-8	-2	-8	-4	-6	-2	-4	-4	-10
	H	-18	-38	-17	-38	-17	-38	-19	-36	-17	-34	-19	-40
	h	-6	-9	-4	-8	-2	-10	-2	-6	-4	-4	-6	-10
	H	-21	-39	-19	-38	-17	-40	-17	-36	-19	-34	-21	-40
	h	-6	-10	-4	-10	-4	-10	-4	-8	-4	-4	-4	-10
	H	-21	-40	-19	-40	-19	-40	-19	-38	-19	-34	-19	-40

V.3 Evapotranspiration de référence (ET_0)

Les valeurs de l'évapotranspiration de référence ET_0 de la station Watchdog (Series 2000) de Kamboinsé sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7: Valeur d' ET_0 (mm/jr) Station météo Kamboinsé

Mois	ET_0 (mm/jr)	Ecart-type
Décembre	4,33	0,18
Janvier	4,56	0,12
Février	4,85	0,28

Les valeurs de l'évapotranspiration de référence ET_0 déterminées pour le mois de décembre est de $4,33 \pm 0,18$ mm/jr ; pour le mois de janvier $4,56 \pm 0,12$ mm/jr et pour le mois de février est de $4,85 \pm 0,28$ mm/jr.

Selon (Doorenbos 1977) le climat est l'un des facteurs qui influe le plus sur le volume d'eau que la culture perd par évapotranspiration.

Le climat et les conditions atmosphériques sont donc des éléments de base indispensable à connaître pour conduire une réflexion sur l'optimisation de l'eau disponible pour les couverts. C'est un des paramètres clé entrant dans la détermination du coefficient cultural (K_c).

Les résultats de comparaison de l'évapotranspiration de référence ET_0 de la station de Kamboinsé (2iE_K4) à celui de Ouagadougou (Aéroport) sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 8: Comparaison ET0 (Station Ouagadougou et Station Kamboinsé)

Mois	ET0 (mm/jr) Station Ouagadougou-Aéroport	ET0 (mm/jr) Station Kamboinsé_2iE_K4	Ecart relatif (%)
Décembre	5.22	4.33	0.17
Janvier	5.77	4.56	0.21
Février	6.38	4.85	0.24

Les valeurs de ET0 de la station météorologique de Ouagadougou correspondent à peu près à celles de Kamboinsé avec des écarts relatifs de l'ordre de 0,17 pour le mois de décembre ; 0,21 pour le mois de janvier et 0,24 pour le mois de février.

Ces différences ramenées sur les valeurs de ET0 de la station de Ouagadougou donnent en moyenne un écart relatif de 0,21%. Cet écart étant inférieur à 1% c'est-à-dire négligeable alors les valeurs de ET0 sont approximativement proches les unes des autres.

V.4 Evapotranspiration maximale (ETM)

Les résultats de l'évapotranspiration maximale ETM issue du bilan hydrique sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 9: Bilan Hydrique/décade valeurs de ETM(mm/jr)

N°/décade	ETM (mm/jr)	ETM Localisée (mm/jr)
1	7,71	2,08
2	6,75	1,82
3	6,73	2,15
4	6,86	2,88
5	7,02	2,95
6	7,78	3,03
7	4,33	1,69

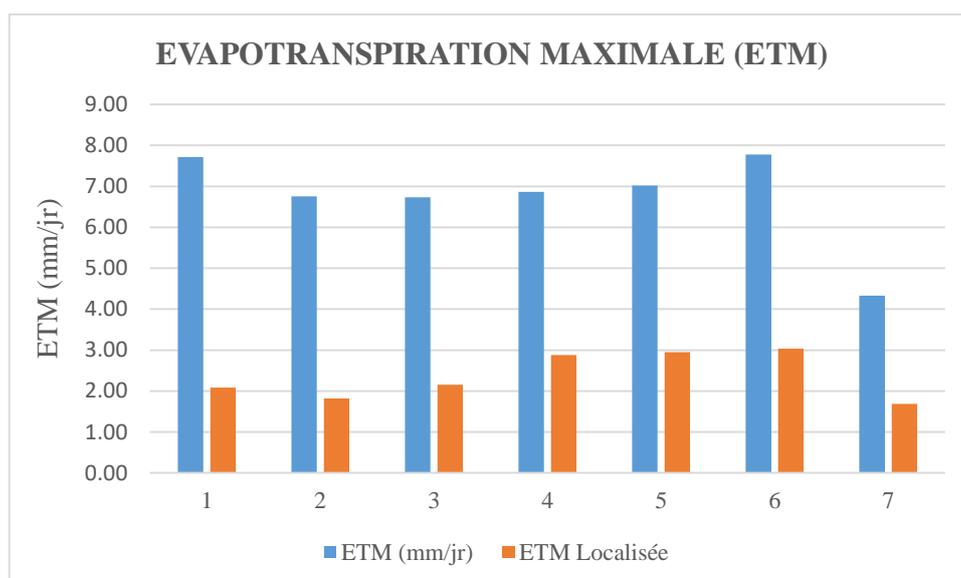


Figure 11: Variation de l'évapotranspiration maximale du *Corchorus Olitorius*

La figure (12) suivante restitue le calcul de ETM durant tout le cycle végétatif du *Corchorus Olitorius*.

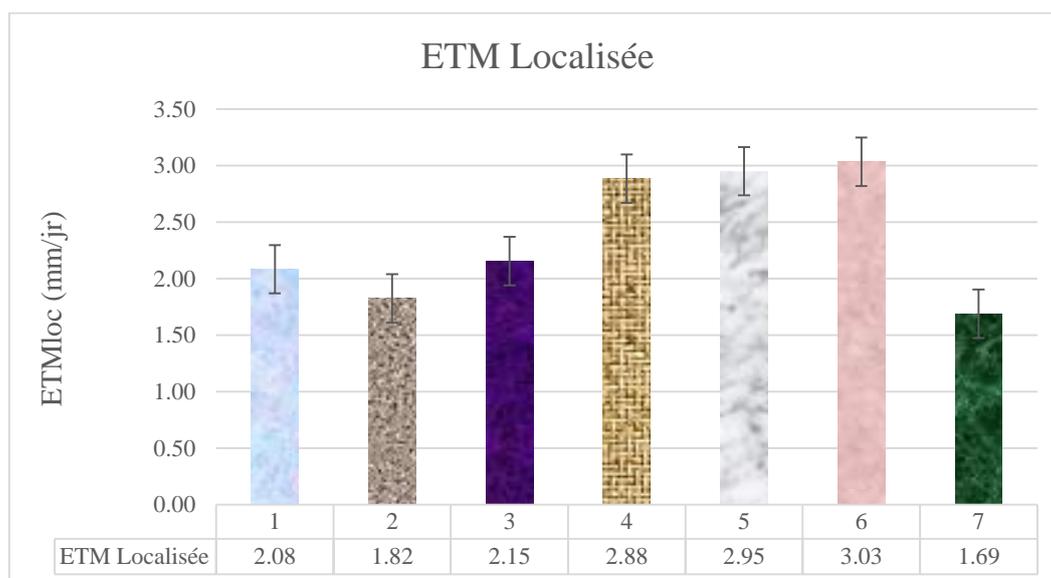


Figure 12: Variation de l'évapotranspiration maximale localisée du *Corchorus Olitorius*.

A partir du bilan hydrique, le calcul de ETM a été évalué durant tout le cycle sur un temps de 10 jours (décades). Ainsi, 07 valeurs moyennes ont été obtenues depuis la phase initiale jusqu'à la phase de récolte. La plus grande valeur a été trouvée à la 6^{ème} décade avec $3,03 \pm 0,13$ (mm/jr) et la plus petite valeur a été trouvée à la 7^{ème} décade avec $1,69 \pm 0,0$ (mm/jr).

Les mêmes résultats sont présentés sous forme commune acceptés par la FAO, montrant ainsi l'évolution de l'ETM en fonction de l'évolution de la plante.

Les résultats obtenus traduisent bien le comportement et les besoins en eau de la plante à chaque stade végétatif. En effet au début et en phase de croissance, les besoins en eau sont considérables. Ce besoin rechute à la récolte à cause de l'assèchement des feuilles de la plante (Allen-Richard et al. 1998).

Les paramètres du bilan hydrique ont été mesurés et non estimés sur le dispositif expérimental, ce qui permet de dire que les résultats obtenus présentent effectivement le comportement physique de la plante.

V.5 Les paramètres de croissance de *Corchorus Olitorius*

La photo suivante présente deux pieds de *Corchorus Olitorius* en phase de croissance dans le lysimètre avec un espacement de 70 cm entre les deux plantes.

Les différents paramètres à savoir la profondeur racinaire, le diamètre au collet, la hauteur de la plante et la couverture végétale ont été mesurés sur chaque lysimètre au même moment.



Photo 12: Deux pieds de Corchorus Olitorius dans le lysimètre

V.5.1 Taux de germination

Une semence a germé lorsqu'elle a donné une plantule (photo 13). C'est cette définition que nous adoptons par ce qu'elle se prête mieux à nos objectifs à savoir l'identification des types de germination, l'étude des stades de croissance et de la morphologie des plantules.

Les résultats suivants ont été obtenus pour notre étude :

Tableau 10: Résultats de la germination

Nombre de graines semées (unité)	60
Durée t'attente (Jours)	6
durée de germination (Jours)	18
Nombre de graines germé (unité)	28
Taux de germination (%)	47



Photo 13: Mise en place de semis de graines et stade de germination

Sur les 60 graines semées, 28 ont germé avec une durée d'attente de 6 jours. Quant à la durée de germination, elle était de 18 jours pour toutes les graines. Le *Corchorus Olitorius* a enregistré un taux de germination de 47 %.

La valeur du taux de germination est inférieure à celle du CNSF (> 80%). Cette différence s'explique par le fait que la température pendant cette période est en moyenne 24°C avec une différence que nous observons lors de notre première étude en mois d'octobre avec une

température de 35°C en moyenne nous obtenons un taux de germination de 73%. La température trop faible réduit le pouvoir de germination du *Corchorus Olitorius*.

V.5.2 Stades végétatifs

Le cycle végétatif du *Corchorus Olitorius* est d'environ 70 jours, soit 2 mois et 10 jours. Pour ce qui est du cycle cultural du *Corchorus Olitorius*, les stades distingués sont consignés dans le tableau (11) suivant :

Tableau 11: Cycle végétatif- durée de chaque phase

Phases	Nombre de jours
Phase Initiale	24
Phase de Croissance	9
Phase de Maturité	18
Phase de Récolte	19

Les résultats montrent que la phase initiale dure 24 jours, la phase de croissance dure 9 jours, la phase de maturité et de 18 jours et 19 jours pour la phase de récolte. En temps normal La croissance des plantes de *Corchorus Olitorius* est rapide. En situation de jours courts, la floraison débute environ un mois après la levée et se poursuit pendant environ 1 à 2 mois, selon le type et le milieu. Les fleurs sont habituellement autogames, mais il y a une fécondation croisée de près de 10%. Après environ 3 à 4 mois, les fruits sont mûrs, les feuilles tombent et la plante meurt. ([https://uses.plantnet-project.org/fr/Corchorus_olitorius_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/fr/Corchorus_olitorius_(PROTA)))

Notre plante a subi une attaque à un moment de sa croissance par un ravageur du nom d'*Aleurode* communément appelé la mouche blanche. Elle a laissé de nombreux dommages sur notre plante (les feuilles se sont enroulées et se sont recroquevillées, ralentissement de la croissance de la plante, mûrissement irrégulier de fruits.). La solution que nous avons par la suite opté pour le traitement de nos plantes est la pulvérisation à base d'une solution composée de la poudre du neem (la solution est composée de 60 g de la poudre du neem et 3 litres d'eau), soit trois fois l'application au cours de l'étude sur l'ensemble de lysimètres.

V.5.3 Diamètre au collet

Le tableau (12) ci-dessous montre les valeurs du diamètre au collet du *Corchorus Olitorius* dans les lysimètres à chaque mesure (M_i).

Tableau 12: Variation du Diamètre au collet de *Corchorus Olitorius*

Diamètre au collet (cm)						
Lysimètres	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Date de mesure	16/12/2020	26/12/2020	05/01/2021	15/01/2021	03/02/2021	16/02/2021
L1	0,80	1,45	2,10	3,00	4,05	4,25
L2	0,90	1,70	2,25	3,00	4,30	4,25
L3	0,55	1,35	2,10	3,00	4,35	4,60
L4	0,85	1,45	2,30	3,50	4,00	4,40
L5	0,70	1,30	1,90	2,90	4,45	4,45
L6	0,70	1,15	2,20	3,40	4,40	4,70
L7	0,70	1,00	1,95	2,95	3,85	3,95

Légende : L_i = lysimètre (i) et M_i = mesure (i)

La figure (13) montre l'évolution du diamètre au collet du *Corchorus Olitorius*. Les résultats obtenus ne donnent pas de différence significatives ; il varie en moyenne de 7 ± 1 mm à 44 ± 2 mm.

En ce qui concerne la croissance du diamètre au collet, le *Corchorus Olitorius* révèle une croissance rapide entre la 1^{er} à la 5^{eme} mesure mais au niveau de la 6^{eme} mesure c'est-à-dire vers la récolte la croissance ne varie plus trop.

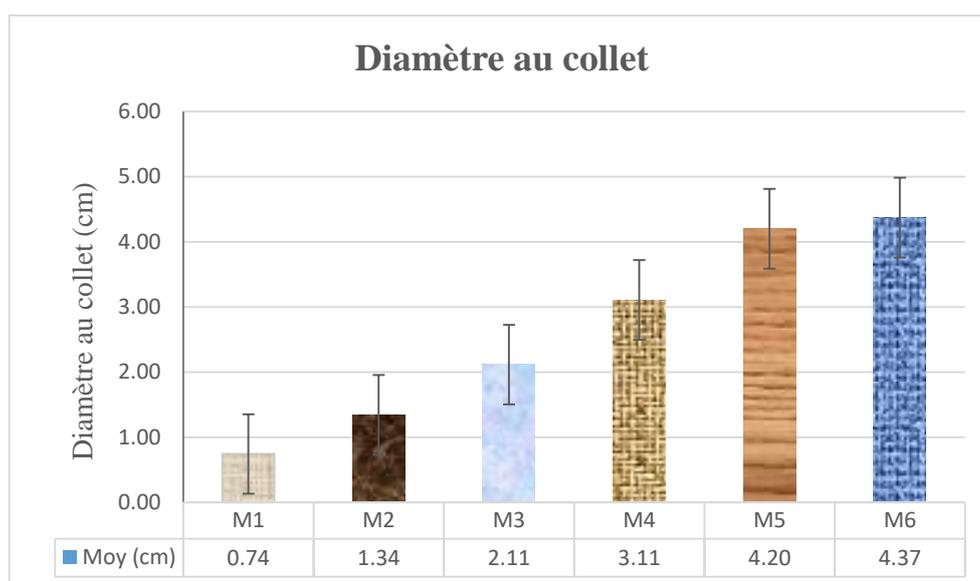


Figure 13: Evolution du diamètre au collet

Légende : Moy = moyenne ; M_i = Mesure (i)

V.5.4 Profondeur racinaire

Le *Corchorus Olitorius* présente des racines pivotantes (voir photo 14 ci-dessous). Ce sont des racines peu profondes avec un ancrage solide et peuvent accumuler des réserves de nourritures.



Photo 14: Racine de Corchorus Olitorius (à gauche) et à droite la racine évoluant dans le sol (Lysimètre témoin)

La profondeur d'enracinement a été mesurée à six (6) reprises durant notre étude dans le lysimètre témoin. Pour mesurer cette profondeur, il a été creusé au pied de la racine puis on a mesuré avec le mètre à ruban métallique. La profondeur racinaire du *Corchorus Olitorius* est de 28 cm. La figure (14) montre la croissance régulière de la profondeur racinaire pas d'entrave, développement bien fait.

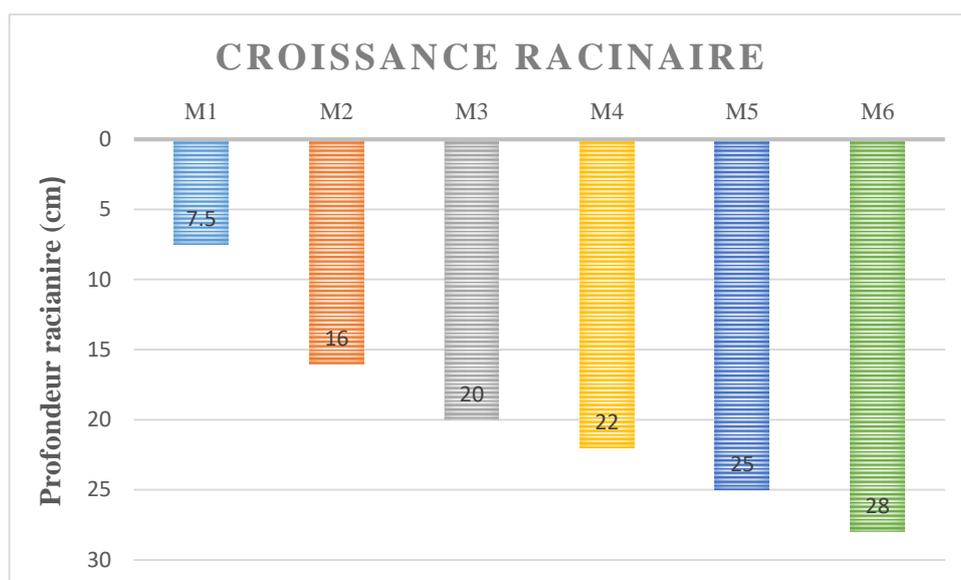


Figure 14: Evolution de la profondeur d'enracinement

Ces résultats obtenus sont basés sur la mesure d'un seul groupe de plante dans le lysimètre témoins. En effet, le suivi de l'évolution de la profondeur d'enracinement s'étale depuis la phase initiale jusqu'à la récolte. Elle évolue d'une profondeur de 7,5 cm à environ 28 cm à la récolte. En effet, Les racines jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement et donc dans la production des plantes. C'est grâce à elles que se fait l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux de celle-ci.

Les racines contribuent en particulier aux équilibres hormonaux qui contrôlent la croissance et le fonctionnement de la plante. Elles constituent également une source de matière organique pour le sol. Il est donc important pour la production de la culture, mais aussi pour le maintien de la fertilité du sol, d'avoir un système racinaire bien développé, notamment en profondeur (Chopart, Jean-Louis, et Nicou 1974). Par conséquent, la profondeur racinaire est fonction de la culture et varie en fonction du sol.

V.5.5 Surface foliaire

La surface foliaire de *Corchorus Olitorius* est estimée comme la somme des surfaces de chacune de ses feuilles. L'application Androi Easy Leaf Area Free a été utilisée comme mesureurs portatifs de la surface foliaire dans notre étude.

Les mesures ont été faite sur chaque lysimètres a valeur de deux (2) pied de plante de *Corchorus Olitorius* par lysimètre. Nous avons consigné les valeurs moyennes dans le tableau (13) ci-dessous :

Tableau 13: Valeurs de la surface foliaire

Lysimètre	S1 (cm ²)	S2 (cm ²)	S3 (cm ²)	S4 (cm ²)	S5 (cm ²)	S6 (cm ²)
date de mesure	15/12/2020	22/12/2020	29/12/2020	06/01/2020	23/01/2020	10/02/2021
L1	59,14	417,62	850,69	1929,94	2617,54	1652,13
L2	145,58	661,47	1042,57	1047,91	1736,82	1320,20
L3	44,98	226,85	507,54	993,48	2039,69	1859,71
L4	95,88	543,89	936,62	792,42	1929,89	1767,64
L5	52,00	276,18	646,33	799,62	1803,97	1904,67
L6	87,78	409,83	732,57	1091,26	1572,94	1308,80
L7	36,59	226,80	395,99	609,97	750,41	811,00

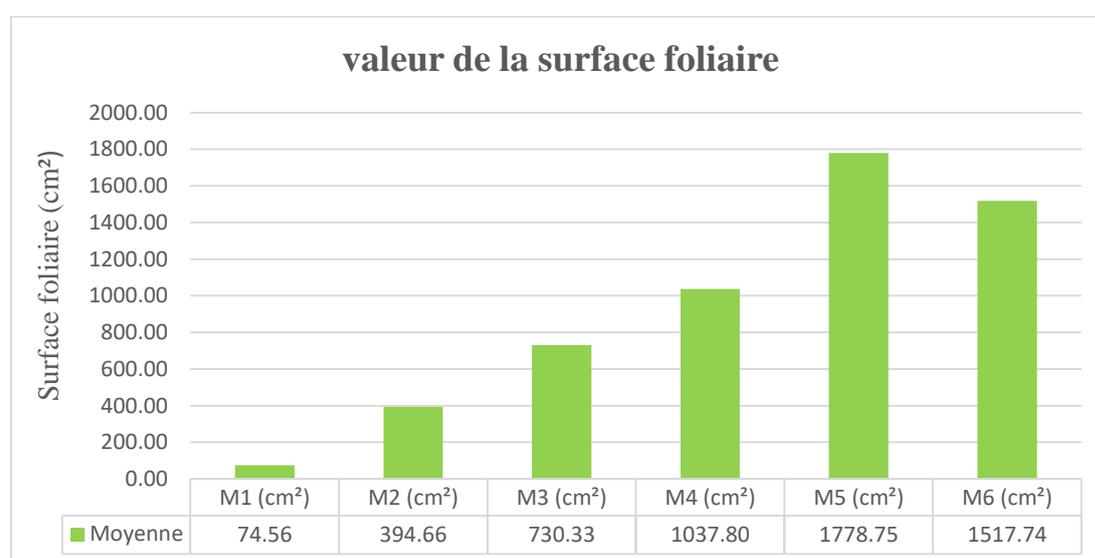


Figure 15: Evolution de la surface foliaire

Les résultats montrent des valeurs moyennes significatives évolutives dans les mesures de la surface foliaire. De la mesure (M1) à la mesure (M5) il y a une croissance nette de la surface foliaire, mais vers la récolte c'est-à-dire la mesure (M6) nous constatons une baisse, cela est dû à l'arrêt de la croissance et la maturité de la plante.

V.5.6 Biomasse humide – Biomasse sèche à la récolte

A la récolte, le poids de la biomasse humide a été mesuré. Après la récolte le *Corchorus Olitorius* a été séché à l'ombre pendant 5 jours et la biomasse sèche a été mesurée.



Photo 15: Biomasse humide (à gauche) et biomasse sèche (à droite)

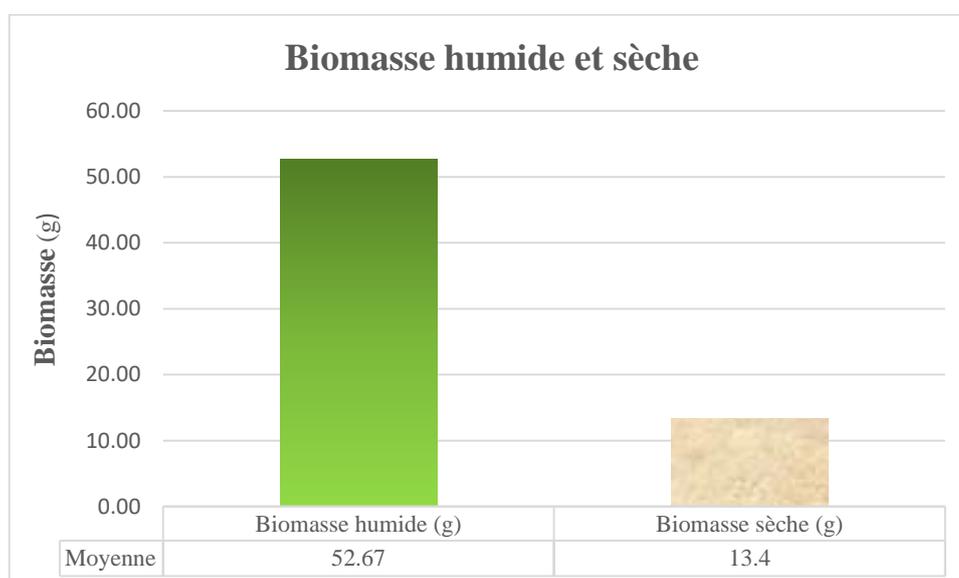


Figure 16: Quantité de biomasse humide et sèche

La quantité de biomasse humide est de $52,67 \pm 30,04$ g et celle de la biomasse sèche est de $13,4 \pm 6,85$.

Ainsi, pour une superficie d'environ 1m^2 la production moyenne par lysimètre est de 52,67g, approximativement à l'hectare, elle est environ de 52670 kg à peu près environ 55000 kg.

V.5.7 Poids de 1000 graines - Poids de fruits - Teneur en eau des graines du *Corchorus Olitorius*

Les graines du *Corchorus Olitorius* sont de très petites tailles d'où la valeur du poids des 1000 graines. Le tableau (14) suivant donne les valeurs de 1000 graines dans chaque lysimètre.

Tableau 14: Valeurs de 1000 graines du *Corchorus Olitorius*

Lysimètre	Poids de (1000) graines (g)
L1	2,5
L2	2,8
L3	2,4
L4	2,5
L5	2,5
L6	2,4
L7	2,4
Moyenne	2,5

Nous obtenons en moyenne une valeur de $2,5 \pm 0,14$ g pour 1000 graines du *Corchorus Olitorius*.

Tableau 15: Valeur de fruits du *Corchorus Olitorius*

Lysimètre	Poids de fruits (g)
L1	128,10
L2	141,50
L3	148,30
L4	125,00
L5	137,10
L6	141,30
L7	98,00
Moyenne	131,33

Le poids des fruits du *Corchorus Olitorius* est fonction la croissance de la plante et de la valeur nutritif apporté à la plante. Le tableau (15) de valeur de fruits du *Corchorus Olitorius* ci-dessus nous donne en moyenne un poids de $131,33 \pm 16,76$ g.

La teneur en eau des graines du *Corchorus Olitorius* est en moyenne de 7,9 % pour une quantité de 200g de graines et à une température de 32,7°C. En effet la teneur en eau des graines est inférieure à (<10%) par conséquent, les graines du *Corchorus Olitorius* sont de types orthodoxes c'est-à-dire qui supportent la dessiccation (conservation des semences sur une longue durée).



Photo 16:Graines de *Corchorus Olitorius*

V.5.8 Couverture végétale du sol (GC) et Paramètres des feuilles (surface, périmètre, longueur ; largeur, forme)

Le Ground Cover (GC) est le pourcentage de l'ensemble de végétaux recouvrant le sol de manière permanente ou temporaire. Il a été déterminé aux différents stades de croissance de la plante. En effet c'est le rapport entre la somme de toutes les surfaces foliaires individuelles et la surface maximale du couvert végétal donnée par le développement maximum du feuillage a été déterminé en prenant des photos de la surface du lysimètre pour saisir les surfaces foliaires.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau (16) suivant :

Tableau 16:Taux de la couverture végétale (%)

Stades végétatifs	GC(%)	$Kr = 0.1\sqrt{GC(\%)}$
Phase Initiale	7,30	0,27
Phase de Croissance	10,4	0,32
Phase de Maturité	17,8	0,42
Phase de Récolte	15,2	0,39

En ce qui concerne les paramètres des feuilles, nous avons récoltés une (1) fois par mois (en fin de mois) 8 feuilles provenant de lysimètres témoins, il s'agit des feuilles de forme la plus petite, la moyenne et la plus grande. Le logiciel Mesurim 2 nous a permis d'avoir les résultats ci-dessous consignés dans le tableau (17) suivant :

Tableau 17:Valeurs des paramètres de feuilles

Mesure (i)	M1	M2
Surface (cm ²)	13,47	11,45
Périmètre (cm)	19,61	16,70
Longueur (cm)	5,35	5,10
Largeur (cm)	3,82	3,47

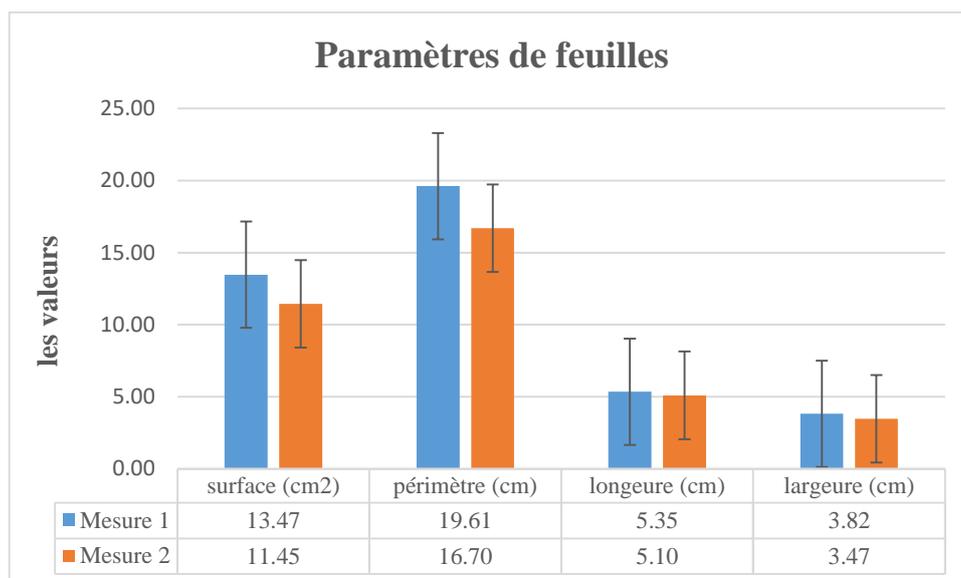


Figure 17: Variation des paramètres des feuilles

La figure ci-dessus nous donne la variation moyenne des paramètres de feuilles pour les deux mesures faites. Nous constatons une baisse au niveau de la deuxième (2) mesure, cela est dû au fait que la plante est en phase de récolte.

V.5.9 Attribut de croissance de la plante

Les attributs de croissance notamment la hauteur, le nombre de branches, le nombre de feuilles, le nombre de fleurs et de fruits sont consignés dans la figure (18) suivante :

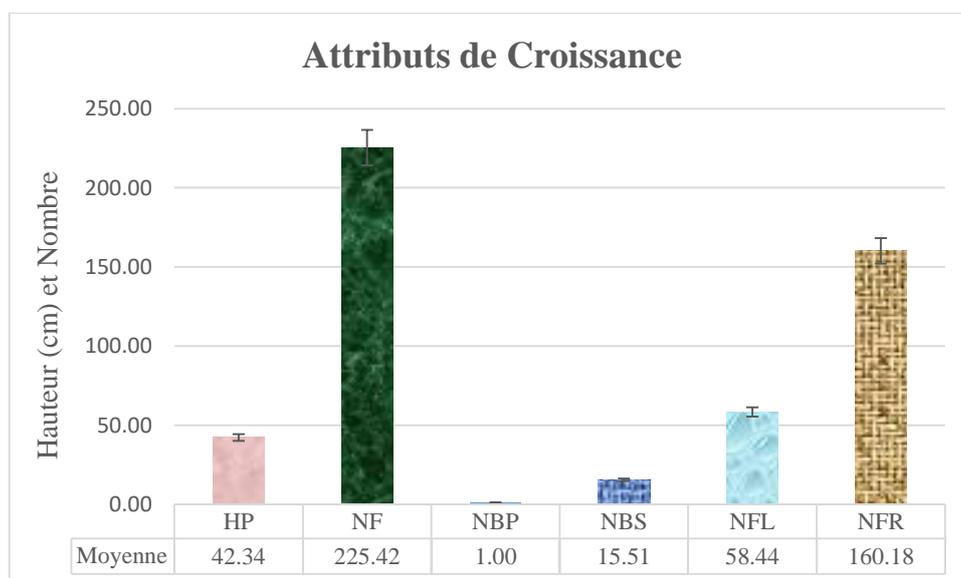


Figure 18: Attributs de croissance du *Corchorus Olitorius*

Légende : HP = hauteur de la tige principale ; NF = nombre de feuilles ; NBP = nombre de branche principal ; NBS = nombre de branche secondaire ; NFL = nombre de fleur ; NFR = nombre de fruits.

La hauteur moyenne du *Corchorus Olitorius* est environ $42,34 \pm 22,57$ cm. Le nombre de branches principales sur chaque plante est de $1 \pm 0,0$; le nombre de branche secondaire est de $15,51 \pm 8,51$; le nombre moyenne feuilles, de fleurs et de fruits est également de $225,42 \pm 171,18$; $58,44 \pm 78,45$; $160,18 \pm 232,23$.

Les résultats des tests statistiques sur les attributs de croissance sont définis comme suit :

V.5.9.1 Comparaison des moyennes : Test d'ANOVA

En formulant comme hypothèses :

Hypothèse nulle H_0 : toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative H_a : toutes les moyennes ne sont pas égales

Seuil de signification $\alpha = 0,05$

Les variances ont été supposées égales pour l'analyse.

Tableau 18: Résultat du test d'ANOVA sur les différents lysimètres

Attributs de Croissance	Hauteur Verticale	Nombre de feuilles	Nombre de branche secondaire
<i>P-value</i>	0,615	0,417	0,971
<i>Hypothèse retenue</i>	H_0	H_0	H_0

Nous remarquons que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha = 0,05$ pour la hauteur verticale, le nombre de branches secondaire et le nombre de feuilles. Nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . De plus, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est respectivement de 61,5% ; 41,7% et 97,1%. Nous pouvons donc conclure que les lysimètres sont homogènes en matière de hauteur, nombre de branche secondaire et nombre de feuilles.

V.5.9.2 Comparaison des médianes : Test de Kruskal-Wallis

En considérant les hypothèses suivantes :

Hypothèse nulle H_0 : toutes les médianes sont égales

Hypothèse alternative H_a : toutes les médianes ne sont pas égales

Le seuil de signification $\alpha = 0,05$

Le test de *Kruskal-Wallis* présente le résultat suivant :

Tableau 19: Résultat du test de Kruskal-Wallis sur les différents lysimètres

<i>Attributs de Croissance</i>	<i>Nombre de fleurs</i>	<i>Nombre de fruits</i>
<i>P-value</i>	<i>0,900</i>	<i>0,989</i>
<i>Hypothèse retenue</i>	<i>H0</i>	<i>H0</i>

Nous remarquons également sur le test de Kruskal-Wallis que le p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha = 0,05$ pour le nombre de fleurs et le nombre de fruits. Ainsi nous pouvons dire qu'il n'y a pas des différences significatives en termes de nombre fleurs et de fruits sur les lysimètres.

V.6 Coefficient cultural (Kc) du *Corchorus Olitorius*.

Le tableau (20) donne les valeurs du coefficient cultural par phases du cycle végétatif avec un intervalle de confiance de 95%.

Tableau 20: Valeurs de Kc, Kr et Gc en fonction du cycle végétatif (%)

Phases	Initiale	Croissance	Maturité	Récolte
Période	06/12-29/12	29/12-06/01	06/01-23/01	23/01-10/02
Durée	24	9	18	19
Moyenne GC(%)	7,3	10,4	17,8	15,2
Moyenne Kr	0,27	0,32	0,42	0,39
Moyenne Kc	0,44	0,47	0,61	0,58
Ecart-type Kc	0,032	0,005	0,07	0,114
95% Conf.Interval	0,013	0,004	0,035	0,048

La variation et les valeurs caractéristiques du *Corchorus Olitorius* sont similaires à celle de nombreuses autres cultures. Le calcul de Kc du *Corchorus Olitorius* a été basé sur la procédure de calcul de Kc de la figure (6).

Les valeurs de Kc pour les quatre (4) stades ; initial, croissance, maturité et récolte sont respectivement $0,44 \pm 0,013$; $0,47 \pm 0,004$; $0,61 \pm 0,035$; $0,58 \pm 0,048$ avec des intervalles de confiance de 95%.

Les valeurs que nous avons déterminées avoisinent celles d'une étude menée au Nigeria sur le *Corchorus Olitorius* qui donne pour la phase initiale à 0,38, la phase de maturité à 0,98 et en fin la phase de récolte à 0,45 (Odojin et al. 2011). En effet, le coton a un Kc de 0,45 à la phase

initiale ; 0,75 à la phase de développement ; 1,15 à la phase de mi- saison et enfin 0,75 à la phase de récolte (Brouwer C. et Heidbloem M 1986).

En conclusion nous pouvons dire que les facteurs qui influent sur la valeur de Kc sont : les caractéristiques de la culture, les dates de plantation ou de semis, le rythme de son développement et la durée de son cycle végétatif, les conditions climatiques, en particulier au début de la croissance et la fréquence des pluies ou des irrigations (Weiss 1983).

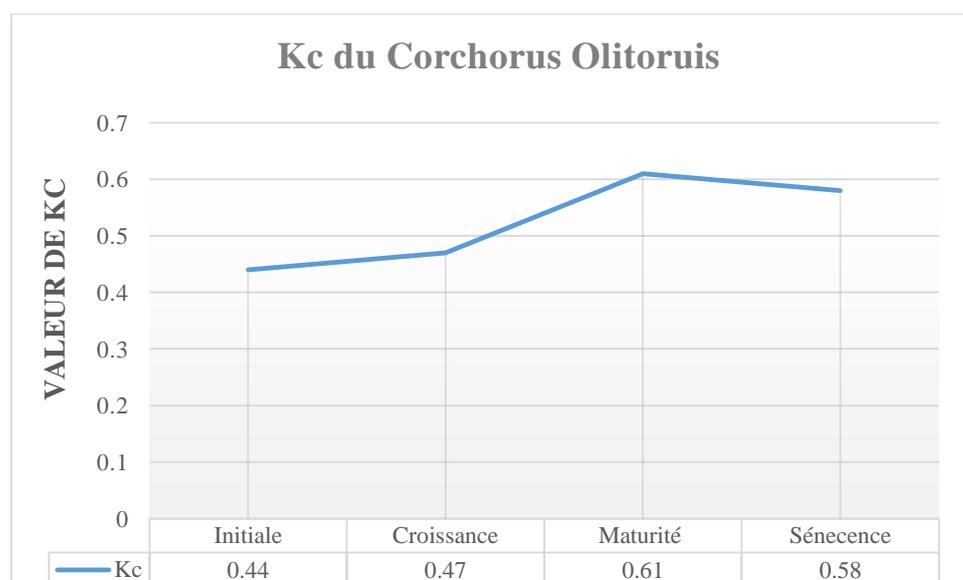


Figure 19: Evolution du coefficient cultural du *Corchorus Olitorius*

L'allure du coefficient cultural obtenu est la même que les autres cultures dont le coefficient cultural est connu. Cela explique ainsi le fait que les besoins en eau de la plante sont liés au stade d'évolution de la plante par conséquent, son coefficient cultural évolue en fonction du stade. La force du calcul de Kc réside au fait que ETM et ET₀ utilisés sont deux paramètres entièrement mesurés et non estimés sur le site expérimental.

VI. CONCLUSION

Cette étude développée dans le cadre du projet de recherche de l'irrigation forestière, a eu pour objectifs de déterminer les paramètres hydrodynamiques du sol des lysimètres, le coefficient cultural Kc et les paramètres de croissance de la biomasse du *Corchorus Olitorius*. Il a été constaté que, contrairement aux attentes courantes actuelles, il est possible de cultiver la plante en dehors de la saison des pluies et sous irrigation. La plante a été produite avec succès sur un sol bien drainé de décembre à février, pendant la saison froide du climat soudano-sahélien. Il ressort de notre étude que le *Corchorus Olitorius* a un cycle végétatif de 70 jours. Les valeurs clés de Kc déterminées par l'expérience sont respectivement de $0,44 \pm 0,013$ pour la phase initial, $0,47 \pm 0,004$ pour la phase de croissance, $0,61 \pm 0,035$ pour la phase de maturité et $0,58 \pm 0,048$ pour la phase de récolte avec des intervalles de confiance de 95%. La hauteur vertical moyenne du *Corchorus Olitorius* est environ de $42,34 \pm 22,57$ cm. le nombre de branche principales dans chaque plante est de $1 \pm 0,0$ et le nombre de branche secondaire est également de $15,51 \pm 8,51$. Concernant le nombre de feuilles, de fleurs et de fruits ils sont respectivement égale à : $225,42 \pm 171,18$; $58,44 \pm 78,45$; $160,18 \pm 232,23$. Le sol dans lequel la plante s'est développée (les lysimètres) est de type sableux argilo-limoneux avec une conductivité hydraulique à saturation Ksat de $21,51 \pm 2,01$ mm/h avec une légère basicité.

Les résultats de l'étude servent de plate-forme pour l'étude d'autres plantes naturelles utiles présentes dans la forêt et conduisent ainsi à ce que "l'irrigation des forêts", dont un impact positif serait le reboisement amélioration dans le cadre des actions visant à atténuer le changement climatique et à promouvoir la disponibilité des forêts tout au long de l'année dans les pays tropicaux.

VII. PERSPECTIVES

L'étude a été menée de décembre à février en saison sèche (mais avec un temps beaucoup plus froid), il est donc indispensable de recommander des études en plein saison sèche (mars à mai période pendant laquelle les jardiniers de là sous régions pratique cette culture sous irrigation) en saison pluvieuse afin de voir s'il y aura une différence significative entre les coefficients culturaux et la biomasse.

Nous recommandons également de faire des études similaires pour un certain nombre de plantes herbacées utiles telles que le *Ceratotheca Sesamoides*.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

- Allen-Richard, G, S Pereira-Luis, R Dirk, et S Martin. 1998. « FAO irrigation and drainage paper No. 56. Rome ». *Journal of Food and Agriculture Organization of the United Nations* 56: 97-156.
- Barranger Phillippe. 2002. « Synthèse des expériences de pilotage tensiométrique de l'irrigation en Jordanie, DDA ». *Agronomie Environnement de l'Institut National Agronomique, Paris, Grignon*.
- Baskin, Jerry M, et Carol C Baskin. 2004. « A classification system for seed dormancy ». *Seed science research* 14 (1): 1-16.
- Bliesner, Ron D., et Jack. Keller. 1990. *Sprinkle and Trickle Irrigation*. New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold.
- Boivin, Pascal. 1990. « Caractérisation de l'infiltrabilité d'un sol par la méthode Muntz: variabilité de la mesure ». *Bulletin-Réseau Erosion*, n° 10: 14-24.
- Brouwer C., et Heidbloem M. 1986. « Valeurs des coefficients culturaux en fonction des stades de développement de quelques cultures. Agricole de L'institut de Formation Supérieur En Agronomie de Mostaganem, » 1986.
- Chopart, Jean-Louis, et Nicou. 1974. « Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivables au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique », P35.
- Colombani, Jacques, Jean-Pierre Lamagat, et J Thiebaut. 1972. « Mesure de la perméabilité des sols en place: un nouvel appareil pour la méthode Muntz, une extension de la méthode Porchet aux sols hétérogènes ».
- « *Corchorus olitorius* (PROTA) — PlantUse Français ». s. d. Consulté le 9 juin 2021.
[https://uses.plantnet-project.org/fr/Corchorus_olitorius_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/fr/Corchorus_olitorius_(PROTA)).
- Doorenbos, Jan. 1977. « Guidelines for predicting crop water requirements ». *FAO irrigation and drainage paper* 24: 1-179.
- Gaméné, CS. 1987. « Contribution à la maîtrise des méthodes simples de prétraitements et de conservation des semences de quelques espèces ligneuses récoltées au Burkina Faso ». *Mémoire de fin d'études IDR/UO*. 96p.
- Huber, Gérald, et Christiane Schaub. 2011. « La fertilité des sols: L'importance de la matière organique ». *Agriculture et terroir, chambre d'agriculture Bas Rhin*.

- « Humidimètre de sol TDR Sonde à tube Trime-IPH ». s. d. Consulté le 31 juillet 2021.
<https://agronomie.sdec-france.com/mesure-humidite-volumique-des-sols-sonde-tdr-trime-iph.html>.
- Jensen, DT, GH Hargreaves, B Temesgen, et RG Allen. 1997. « Computation of ETo under nonideal conditions ». *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 123 (5): 394-400.
- Karmeli, David, et Jack Keller. 1975. « Trickle irrigation design ». Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation Glendora, CA.
- Keita A. 2015. « Subsurface Drainage of Valley Bottom Irrigated Rice Schemes in Tropical Savannah: Case Studies of Tiefora and Moussodougou in Burkina Faso », 224.
- Keita, Amadou, Dial Niang, et Lassina Sanou. 2019. « Producing *Chrysanthellum Indicum* DC. (1836) on Organic Amended Soil in Dry-Season: Crop Coefficient Kc and Growing Stages Determination ». *INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE AND BIOLOGICAL SCIENCES* 3 (1): 37-50. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3483268>.
- Keita, Amadou, Lassina Sanou, et Dial Niang. 2019. « Finding *Hibiscus Sabdariffa* L. Crop Coefficients Kc under Irrigation in Tropical Savannah », juin.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3484257>.
- Mathews, Paul G. 2005. *Design of Experiments with MINITAB*. ASQ Quality Press Milwaukee, WI, USA:
- Montgomery, Douglas C, et George C Runger. 2010. *Applied statistics and probability for engineers*. John Wiley & Sons.
- Odofin, AJ, JA Oladiran, JA Oladipo, et EP Wuya. 2011. « Determination of evapotranspiration and crop coefficients for bush okra (*Corchorus olitorius*) in a sub-humid area of Nigeria ». *African Journal of Agricultural Research* 6 (17): 3949-53.
- Risto Seppälä, Alexander Buck, et Pia Katila, éd. 2009. « Préparer les forêts au changement climatique ». *MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES DE FIN LANDE UNI ON INTERNATI ONA L E DES INSTITUTS DE RECHERCHES F ORESTIÈRES*.
<http://formin.finland.fi>.
- Rumsey, Deborah J. 2009. *Statistics II for dummies*. John Wiley & Sons.
- Sangaré, S. 2002. « Evaluation des performances agro-écologiques des techniques de lutte contre la désertification dans les provinces du Passoré et du Yatenga ». *Cas du zaï, de la demi-lune et du tapis herbacé. Mémoire de fin d'étude IDR, 84p*.

Saxton, Keith E, et Walter J Rawls. 2006. « Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions ». *Soil science society of America Journal* 70 (5): 1569-78.

Some, Namwinyoh Antoine. 1996. « Les systèmes écologiques post-cultureaux de la zone soudanienne (Burkina-Faso): Structure spatio-temporelle des communautés végétales et évolution des caractères pédologiques ».

Tiercelin, JR, et A Vidal. 2006. « Traiteid'Irrigation ». *France, Paris*.

Weiss, Albert. 1983. « A quantitative approach to the Pruitt and Doorenbos version of the Penman equation ». *Irrigation Science* 4 (4): 267-75.

Sites internet consultés :

https://www.youtube.com/watch?v=aEq_EITCHyQ&t=10s

<https://prota4u.org/database/protav8.asp?fr=1&g=pe&p=Corchorus+olitorius+L.>

http://www.ethnopharmacologia.org/recherche-dans-prelude/?plant_id=1688

https://fr.wikipedia.org/wiki/Cor%C3%A8te_potag%C3%A8re

IX. ANNEXES

Annexe 1: Définitions de quelques paramètres	I
Annexe 2: Détermination de la conductivité hydraulique à saturation (ksat) et les variables d'état de l'eau dans le sol	X
Annexe 3: Résultats-mesures des paramètres de croissance de la plante	XIV
Annexe 4: Tests statistiques et leurs conditions d'utilisation.....	XVIII
Annexe 5: Résultats ETM – ETMloc –Kc.....	XXIII

Annexe 1: Définitions de quelques paramètres

L'objectif de l'étude étant de déterminer les besoins en eau du *Corchorus Olitorius*, plusieurs paramètres sont nécessaires à déterminer.

Dans un premier temps, la détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres concernant, aussi bien la plante elle-même que les données climatiques ou pédologiques de la région. Selon Doorenbos et Pruitt (Weiss 1983) le climat est l'un des facteurs qui influe le plus sur le volume d'eau que la culture perd par évapotranspiration.

Les pratiques agronomiques, les techniques d'irrigation, les engrais, les infestations dues aux insectes et aux maladies peuvent aussi influencer le taux d'évapotranspiration.

1. Pourquoi déterminer les besoins en eau des cultures ?

Connaître la valeur des besoins en eau des cultures est à la base de :

- Projet d'irrigation : conception des réseaux d'irrigation (calcul du débit de dimensionnement des ouvrages) ;
- Gestion des réseaux d'irrigation : prévision à court terme (programme des apports d'eau), pilotage des irrigations ;
- Planification de l'utilisation des ressources hydrauliques : volume d'eau nécessaire pour l'irrigation, surface irrigables au vu des ressources, etc.

2. Comment déterminer les besoins en eau des cultures ?

D'après Doorenbos et Pruit (Doorenbos 1977) l'estimation de l'évapotranspiration en vue de la programmation de l'irrigation doit se faire en se fondant sur le calcul de l'évapotranspiration maximale et de pluie efficace (P_e).

Besoin en eau d'irrigation

Le besoin d'irrigation, noté (BI) est défini comme étant le volume d'eau qui devra être apporté par irrigation en complément à la pluviométrie et éventuellement d'autres ressources telles que les remontées capillaires (l'apport d'une nappe phréatique), la réserve en eau initiale dans sol, et la fraction de lessivage (lorsque la salinité influe sur la disponibilité en eau pour les plantes). Le calcul de ces besoins d'irrigation repose sur un bilan hydrique, qui exprime la différence entre les besoins en eau de la culture et les apports d'eau d'origine naturelle.

Pour arriver à calculer les besoins d'irrigation il faut connaître d'abord les besoins en eau maximums des cultures (ETM).

Besoin en eau de culture (ETM)

En matière d'irrigation, on cherche à placer les plantes dans des conditions de production optimales et on base l'irrigation sur la valeur de l'évapotranspiration maximale (ETM) qui est une valeur ponctuelle liée à l' ET_0 qui est relative à une région par un coefficient cultural, donnée par la formule de base de l'approche climatique :

$$ETM = k_c * ET_0$$

ETM : évapotranspiration maximale d'une culture (mm/jr) ;

K_c : coefficient cultural ;

ET_0 : évapotranspiration de référence (mm/jr)

3. Evapotranspiration de référence ET_0

L' ET_0 est considérée comme une donnée climatique, ne dépend que des conditions atmosphériques, de l'énergie disponible à la surface évaporant et la résistance aérodynamique de couvert végétal. Il existe des méthodes expérimentales pour la mesure directe de ET_0 , basées sur le bilan hydrique, le bilan d'énergie et la méthode lysimétrique. Devant la difficulté de la mise en place de ces dispositifs, différentes formules avec des degrés d'empirisme variables ont été développées depuis ces 50 dernières années pour estimer indirectement cette grandeur à partir de données climatiques. Elles sont classées en 4 groupes selon les paramètres utilisés, parmi ces formules on peut citer :

Les formules combinées	Les formules basées sur la température	Les formules basées sur la radiation	Les formules basées sur l'humidité relative de l'air
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Penman originale (1963), ❖ FAO Penman-Monteith (1994). 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Blaney-Criddle (1950), ❖ Turc, ❖ Jensen-Haise ❖ Hargreaves, ❖ Blaney-Criddle (1950), 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ FAO-Radiation, ❖ Christiansen-Hargreaves (1969), ❖ Christiansen-Samani (1985). 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ivanov (1954), ❖ Eagleman (1967),-FAO Class A.

Selon Allen et al (1994) cité « in traité d'irrigation » (Allen-Richard et al. 1998), on définit l'ET₀ comme « l'évapotranspiration d'un couvert végétal 'hypothétique' de référence ayant une hauteur de 12 cm, une résistance du couvert de 70 s/m et un albédo de 23%.

❖ Formule de FAO Penman – Monteith

La formule de Penman – Monteith se distingue parmi les différentes formules par son origine théorique dérivée du bilan de flux énergétique à la surface de couvert végétal, dans un souci de normalisation, la FAO, à travers son groupe d'experts opérants dans différents contextes climatiques, a adapté la formule dérivée comme la nouvelle définition de l'évapotranspiration de référence.

L'évapotranspiration de référence peut s'écrire selon la formule (Allen et al, 1994) :

$$ET_0 = \frac{0.408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T + 273} * u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

The screenshot shows the 'ETo Penman-Monteith par mois' software interface. The title bar indicates the file path: C:\Program Files (x86)\CLIMWAT 2.0 for CROPWAT V2.0\OU... The interface includes input fields for 'Pays' (Location 5), 'Station' (OUAGADOUGOU), 'Altitude' (306 m), 'Latitude' (12.35 °N), and 'Longitude' (1.51 °O). Below these fields is a table with 8 columns: Mois, Temp Min, Temp Max, Humidité, Vent, Insolation, Ray., and ETo. The table contains monthly data from January to December, with a final row for the 'Moyenne' (average). The 'Ray.' and 'ETo' columns are highlighted in yellow.

Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	°C	°C	%	km/jour	heures	MJ/m²/jour	mm/jour
Janvier	16.1	33.3	32	199	8.2	18.9	5.77
Février	19.1	36.2	32	199	8.1	20.2	6.38
Mars	23.1	38.3	33	207	8.0	21.3	7.12
Avril	25.9	38.9	41	233	7.1	20.5	7.38
Mai	25.6	37.2	58	268	7.8	21.3	6.88
Juin	23.7	34.2	70	251	7.6	20.6	5.63
Juillet	22.4	31.8	87	225	6.8	19.6	4.29
Août	21.9	30.8	85	190	6.1	18.8	4.06
Septembre	21.9	32.0	79	164	6.5	19.1	4.33
Octobre	22.6	35.3	63	164	8.2	20.5	5.29
Novembre	19.3	35.8	47	156	8.6	19.6	5.38
Décembre	16.8	33.6	41	173	8.2	18.3	5.22
Moyenne	21.5	34.8	56	202	7.6	19.9	5.64

Figure : Valeurs d'ET₀ de la Station météorologique de Ouagadougou (source Climwat)

4. Evapotranspiration maximale d'une culture ETM

L'évapotranspiration maximale ETM est la somme de l'évaporation et de la transpiration.

L'évaporation directe provenant de la rosée, la pluie est déposée sur les plantes (feuilles) et la transpiration est l'eau qui sort des pores des feuilles provenant de l'intérieur du sol, de l'intérieur des racines.

L'évapotranspiration maximale (ETM) est la valeur maximale de l'évapotranspiration d'une culture donnée, à un stade végétatif, dans des conditions climatiques données, prise en compte par l' ET_p ou encore ET_0 . C'est une correction de l' ET_p en fonction du couvert végétal. $ETM = Kc * ET_p$; Kc étant le coefficient cultural.

Pour déterminer le coefficient cultural, Christian de Pescara propose la méthode suivante : il faut conduire la culture à l'ETM que l'on peut déterminer par un appareil calculant au-dessus de la parcelle l' ET_p ou par un lysimètre. Alors nous avons $ET_r \max = ETM$ et nous calculons : $Kc = ET_r \max / ET_p$. Ainsi nous pouvons calibrer les coefficients culturaux Kc. (Tiercelin et Vidal 2006).

5. Coefficients culturaux (Kc)

Par définition, le coefficient cultural (kc) est le rapport l'évapotranspiration de la culture (ET_c) et l'évapotranspiration potentielle (ET_0), il intègre les effets des 4 caractéristiques primaires qui distinguent une culture de la culture de référence qui sont : la hauteur de la culture, la résistance de surface sol-végétation, l'albédo, l'évaporation de sol (Allen-Richard et al. 1998).

Par ailleurs, le coefficient cultural Kc regroupe les réponses de la surface en termes d'évaporation et de transpiration.

Le coefficient cultural rend compte des effets des différents du couvert par rapport à la surface de référence en termes de Hauteur, d'Albédo et de Résistance Stomatique.

La valeur du coefficient cultural dépend ainsi :

- Du stade de développement ;
- Du type de culture ;
- Du type de sol et du climat !

Les facteurs qui influent sur la valeur de Kc sont : les caractéristiques de la culture, les dates de plantation ou de semis, le rythme de son développement et la durée de son cycle végétatif,

les conditions climatiques, en particulier au début de la croissance et la fréquence des pluies ou des irrigations. (Benoît DUCHEMIN.1998)(Allen-Richard et al. 1998)

Pour 1 cycle de culture, 4 phases (Initiale, Croissance, Maturité, Sénescence) et 03 valeurs 'limites' de Coefficient Cultureux : $K_cINI \rightarrow K_cMID \rightarrow K_cEND$.

4 phases pour un cycle de culture :

- Initiale : du semis à un taux de couverture de 10% et une multiplication de branches.

$K_c = K_cINI$, généralement faible, mais variant fortement en fonction de la fréquence des apports d'eau (Pluie, irrigation) ;

- Croissance : jusqu'à couverture maximale (floraison, $LAI \approx 3$). $K_cINI < K_c < K_cMID$, fonction de la partition évaporation/transpiration ;
- Maturité : jusqu'au premier jaunissement/ chute des feuilles ? $K_c = K_cMID$ est maximum et constant (généralement > 1) ;
- Sénescence : jusqu'au jaunissement complet ou à la récolte $K_cMID < K_c < K_cEND$ (stade moins important en terme de besoin en eau et de pilotage de l'irrigation sauf dans le cas de cultures à récoltes multiples).

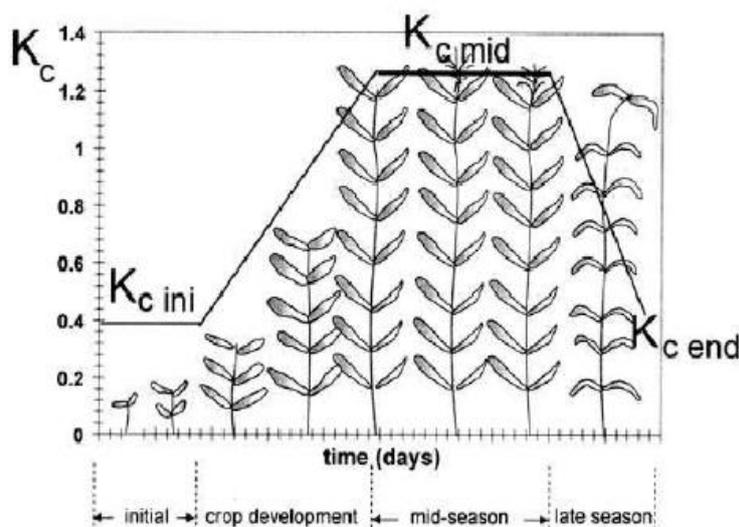


Figure : Courbe de coefficients cultureux et définition des phases

La courbe de k_c sur l'ensemble de la période de croissance a été présentée initialement par Doorenbos et Pruitt (1975). Elle permet de distinguer les 3 valeurs de k_c (initial, mi-saison, et

d'arrière-saison). Les valeurs les plus élevées du kc sont observées au printemps et en automne, lorsque le sol est encore humide. Les valeurs les plus basses sont notées en été (Allen et al, 1998 in traité d'irrigation)(Allen-Richard et al. 1998).

En choisissant le kc approprié pour une culture donnée et pour chaque mois du cycle végétatif, il faut tenir compte du rythme de son développement, l'époque de plantation ou de semis, les conditions climatiques notamment le vent et l'humidité.

Selon Tuzet et Perrier (1998) (in traité d'irrigation), le kc varie essentiellement avec les caractéristiques propres de la culture et seulement un peu avec le climat. Cela permet le transfert des valeurs standards de kc (comme celles proposées dans les Bulletins FAO-24 et 56) d'un endroit à l'autre entre les zones climatiques. Mais pour avoir plus de précision dans la détermination de l'ETc, il est toujours préférable d'utiliser les valeurs de kc déterminés expérimentalement dans la région elle-même.

Tableau : Kc de quelques cultures (Brouwer et al., 1986)

Culture	Kc ini	Kc mid	Kc end
<i>Courgette</i>	0,5	1	0,7
<i>H. Sabdariffa</i>	0,3	1,7	1,5
<i>Chrysanthellum indicum var</i>	0,7	1,4	0,7
<i>Oignon</i>	0,6	1	0,5
<i>Ail</i>	0,5	0,9	0,5

Ce tableau ci-dessus donne les valeurs moyennes du coefficient cultural à différents stades pour quelques cultures. En réalité, le coefficient cultural dépend aussi du climat et particulièrement de l'humidité relative et surtout de la vitesse du vent. Les valeurs indiquées dans le tableau doivent être réduites de 5 % si l'humidité relative est supérieure à 80 % et si le vent est calme ($U < 2$ m/s) et doivent être augmentées de 5 % si l'humidité relative est inférieure à 50 % et si la vitesse du vent est supérieure à 5 m/s (Brouwer C. et Heidbloem M 1986).

6. Paramètres de croissance

La croissance végétale, d'une plante est l'ensemble des changements quantitatifs irréversibles de la plante qui se produisent au cours du temps (FAO 2004). Elle comprend :

- La multiplication des cellules ;
- L'allongement des entrenœuds et des racines ;
- La ramification ;
- La multiplication et la croissance des feuilles ;
- La floraison
- La naissance de fruits

➤ **Stade végétatifs**

Le cycle végétatif du *Corchorus Olitorius* est d'environ 70 jours soit 02 mois 10 jours

Tableau : Cycle végétatif-Durée de chaque phase

Phases	Périodes	Nombre de jours
Phase Initiale	06 Décembre – 29 Décembre	24
Phase de Croissance	29 Décembre – 6 Janvier	9
Phase de Maturité	06 Janvier – 23 janvier	18
Phase de Récolte	23 Janvier – 10 février	19

➤ **La semence**

La semence, en elle-même, est une notion assez large désignant le fruit entier ou une partie, voir sous-partie de celui-ci (Some 1996). Elle est capable de rester à l'état de vie ralentie pendant des durées variables puis germer pour donner de nouvelles plantes. Selon l'Association Internationale de Test de Semences (ISTA, 2015), la semence est un produit biologique vivant dont le comportement ne peut être prédit avec la certitude qui caractérise les essais de matériel inerte ou non biologique. Pour l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE, 2012), les semences sont des cônes, fruits et graines destinés à la production de plantules.

Dans le cas de la présente étude, le terme semence désigne la graine dépourvue des enveloppes protectrices du fruit. (Jean Boussé SAM. 2017)

➤ **La germination des semences**

La germination est un ensemble de phénomènes qui fait que la semence passe de manière irréversible de l'état de vie ralentie à l'état de vie active (Somé, 1991). La complexité des 07 phénomènes qui ont lieu lors de l'entrée en activité d'une semence rend assez difficile la notion de germination (Somé, 1991). Pour les physiologistes, la germination est une série de réaction et d'évènement métabolique dans la graine imbibée et qui culminent à l'émergence de la plantule (Gaméné, 1987). Pour l'horticulteur ou l'agronome, la germination de semences placées dans un sol correspond à l'émergence de jeunes plantules issues de celles-ci au-dessus de ce sol (Somé, 1991). C'est le type de germination que nous retiendrons pour l'observation des phénomènes germinatifs dans la présente étude. Selon Côme (1970) :

- Le délai de germination se définit comme étant la période s'écoulant entre la date de semis et celle d'apparition des premières germinations.
- La durée de germination est le temps écoulé entre la première et la dernière germination observée.

➤ **La dormance des semences**

Il est fréquent que des semences, placées dans de bonnes conditions de germination, ne germent pas. On parle communément de dormance. Une semence dormante est une semence viable qui ne peut germer même si toutes les conditions favorables à la germination sont réunies. Beaucoup de semences entrent en dormance à la récolte. Cet état d'inactivation du métabolisme leur assure une grande longévité (Gaméné 1987) tandis que l'état de vie ralentie favorise la dissémination des semences (Baskin et Baskin 2004). On distingue trois principaux types de dormances (Baskin et Baskin, 2004):

- *les dormances endogènes (ou embryonnaires)* : les semences présentant ce type de dormance, même si elles sont débarrassées de leurs téguments, ne germent pas. Ce type de dormance peut être d'origine morphologique ou physiologique ;
- *Les dormances exogènes ou tégumentaires* : l'embryon des graines présentant ces types de dormances germe sans difficulté lorsqu'il est dénudé avec précautions, alors que la semence entière ne manifeste aucun signe de germination ;
- *Les dormances combinées* : elles résultent à la fois de dormances embryonnaires et de dormances tégumentaires.

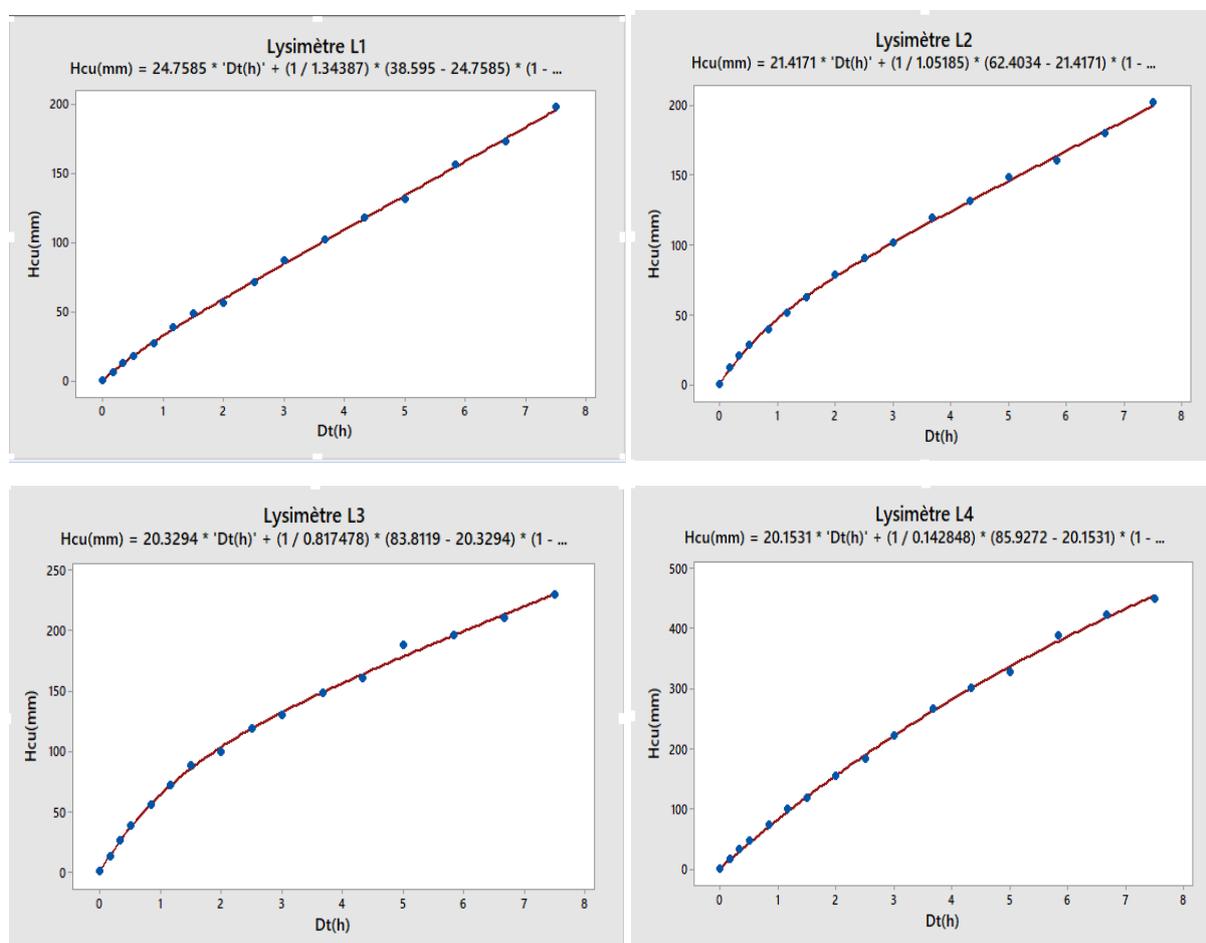
Les graines dormantes ont besoin d'un prétraitement pour germer. Le prétraitement est fonction du type de dormance. Les dormances liées au tégument peuvent être levées en

appliquant aux semences les traitements suivants avant les semis : le trempage dans l'eau, la scarification - 8 - manuelle, le décorticage, l'ébouillantage, la cuisson, le trempage à l'alcool, le trempage à l'acide sulfurique etc.

Annexe 2: Détermination de la conductivité hydraulique à saturation (ksat) et les variables d'état de l'eau dans le sol

La mesure de la conductivité hydraulique a été effectuée in situ par la méthode de Muntz qui est fondée sur le principe de l'infiltration de l'eau verticalement.

Les mesures ont été effectuées dans les neuf (9) lysimètres. Ainsi, la variation du niveau d'eau (h) dans le cylindre centrale est mesurée en fonction du temps (t) jusqu'à l'obtention d'une variation du niveau d'eau stable. Pour l'ensemble des neuf (9) lysimètres les résultats analysés avec le logiciel Minitab 18 sont récapitulés ci-après :



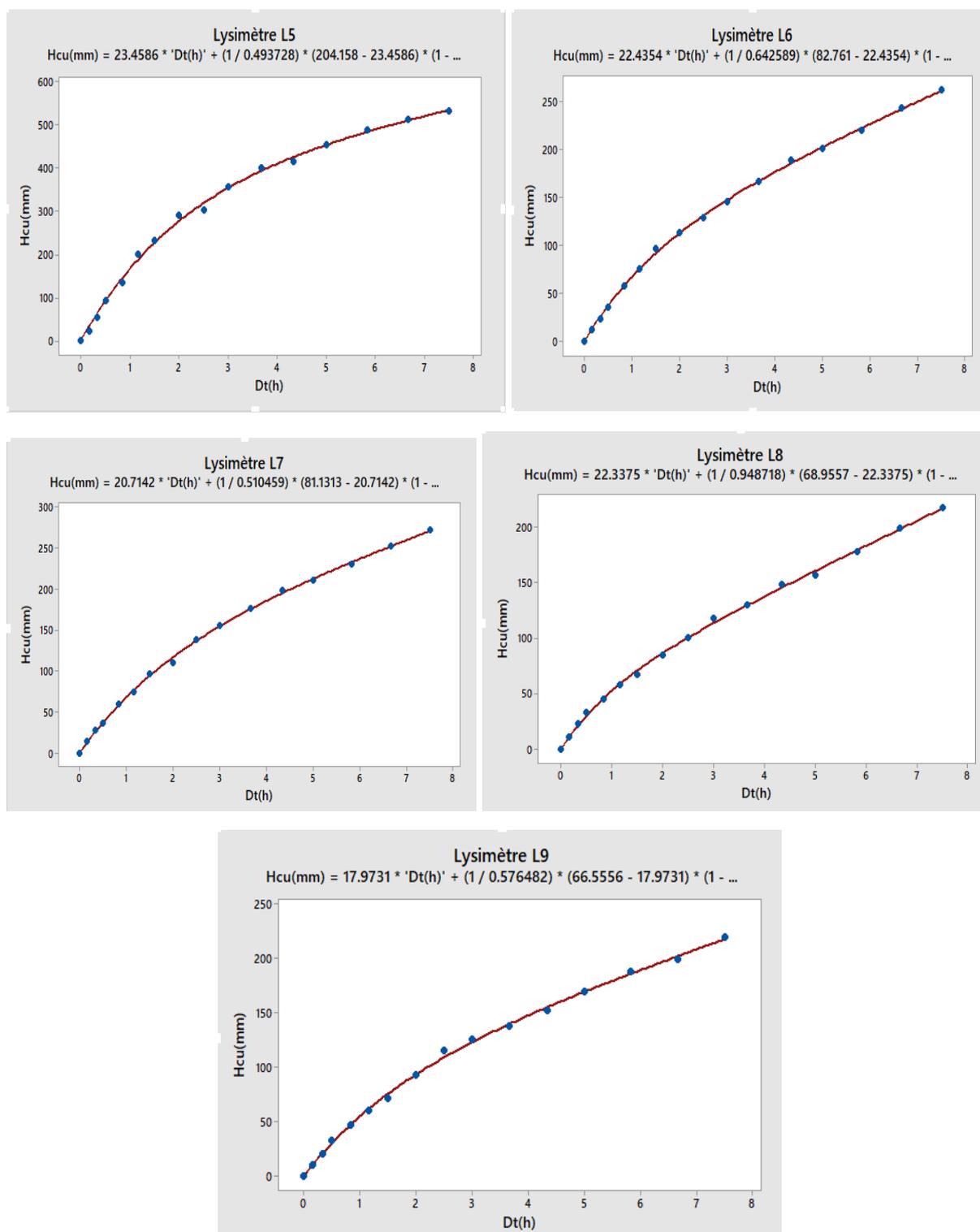


Figure : Résultats d'analyse de Ksat avec le logiciel Minitab 18

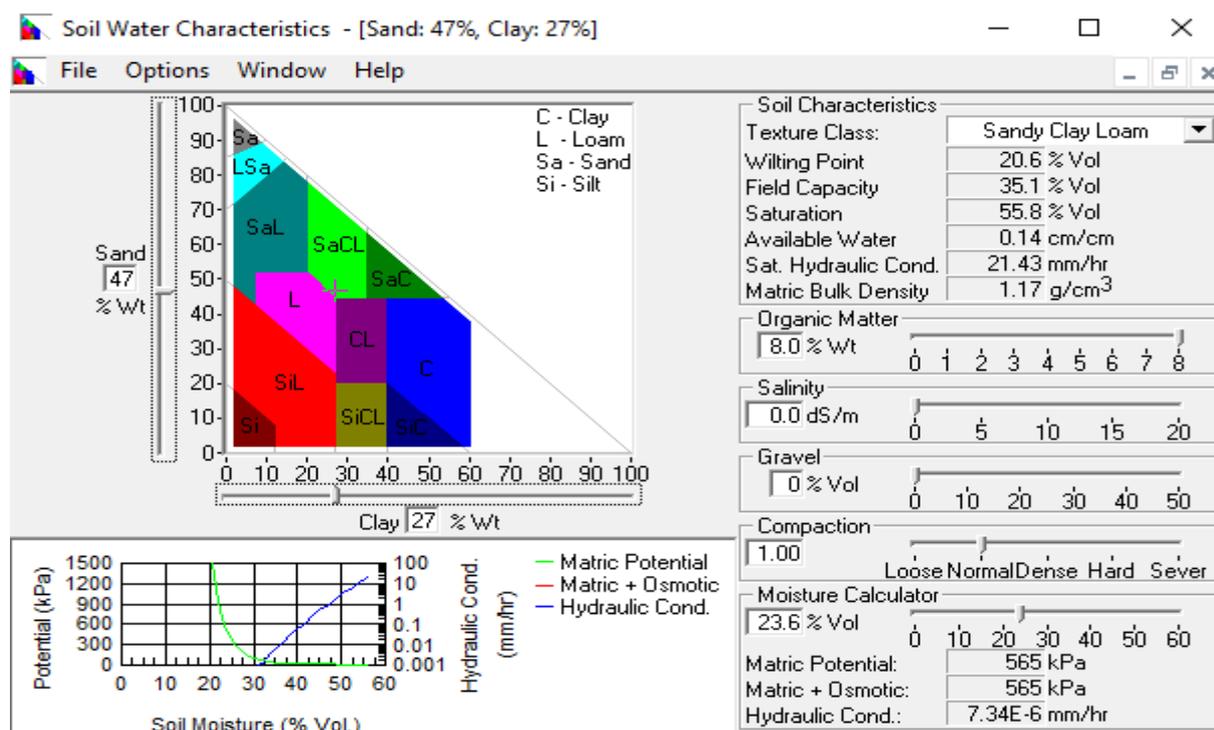


Figure : Caractéristiques du sol (Logiciel Soil Water Characteristics)

Tableau : Mesure de l'humidité volumique dans le sol du lysimètre 1 (L1)

Date	Arrosage (mm)	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	Stock d'eau à 50cm
08/12/2020	9.72	8.58	16.94	18.27	17.47	17.93	79.19
09/12/2020	0.00	4.90	16.02	17.35	17.44	19.16	74.87
10/12/2020	9.40	7.80	18.36	19.16	17.95	18.11	81.38
11/12/2020	0.00	3.08	15.10	17.31	17.96	18.43	71.88
12/12/2020	9.90	9.70	16.90	16.62	16.72	17.95	77.89
14/12/2020	9.50	11.89	16.53	16.61	16.55	17.75	79.33
15/12/2020	0.00	4.85	15.74	18.08	17.79	18.33	74.79
16/12/2020	9.50	8.90	15.98	16.25	16.74	17.54	75.41
17/12/2020	0.00	6.18	15.35	16.59	16.28	17.65	72.05
18/12/2020	9.70	6.20	15.82	17.18	17.41	18.40	75.01
19/12/2020	0.00	6.09	16.16	18.00	17.41	17.41	75.07
21/12/2020	0.00	4.17	15.94	15.00	14.38	16.97	66.46
22/12/2020	9.90	5.62	16.20	16.66	16.13	17.59	72.20
23/12/2020	0.00	4.20	15.72	17.45	16.50	17.22	71.09
24/12/2020	9.30	7.49	16.25	17.47	17.00	18.00	76.21
25/12/2020	0.00	3.36	15.63	17.56	17.11	17.62	71.28
26/12/2020	9.60	4.89	15.81	17.58	17.20	17.62	73.10
28/12/2020	9.80	6.79	15.62	16.61	17.00	17.57	73.59
30/12/2020	10.00	4.61	15.66	16.49	15.56	17.30	69.62

05/01/2021	10.20	11.04	17.52	16.48	16.52	17.84	79.40
06/01/2021	0.00	3.34	16.48	18.52	16.96	17.18	72.48
08/01/2021	0.00	4.73	15.02	16.75	16.30	17.20	70.00
09/01/2021	10.00	7.74	16.06	16.09	15.99	17.20	73.08
11/01/2021	10.35	6.42	16.41	16.28	14.63	17.22	70.96
13/01/2021	10.00	6.23	17.33	17.83	16.64	17.03	75.06
15/01/2021	10.35	5.58	17.15	17.83	17.32	17.70	75.58
16/01/2021	0.00	2.22	14.98	16.87	16.54	17.47	68.08
18/01/2021	0.00	2.43	15.03	15.99	15.73	17.35	66.53
20/01/2021	0.00	2.71	15.71	16.39	15.81	17.29	67.91
22/01/2021	0.00	2.76	15.43	17.47	16.82	16.96	69.44
23/01/2021	9.60	6.79	17.24	16.95	16.41	17.40	74.79
27/01/2021	9.60	5.30	18.20	19.10	17.48	17.13	77.21
29/01/2021	10.20	4.42	18.66	19.39	17.35	17.27	77.09
01/02/2021	0.00	1.05	16.16	18.04	16.16	16.97	68.38
02/02/2021	10.75	3.24	17.54	19.78	18.91	17.97	77.44
09/02/2021	0.00	2.33	15.39	17.27	16.21	16.70	67.90
10/02/2021	10.90	6.26	16.81	16.54	16.08	17.02	72.71
12/02/2021	11.30	6.12	16.13	15.24	14.53	16.32	68.34
15/02/2021	0.00	0.79	14.23	17.21	16.35	17.27	65.85

Annexe 3: Résultats-mesures des paramètres de croissance de la plante

➤ Mesures

Diamètre au collet (cm)						
Lysimètres	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Date de mesure	16/12/2020	26/12/2020	05/01/2021	15/01/2021	03/02/2021	16/02/2021
L1	0.80	1.45	2.10	3.00	4.05	4.25
L2	0.90	1.70	2.25	3.00	4.30	4.25
L3	0.55	1.35	2.10	3.00	4.35	4.60
L4	0.85	1.45	2.30	3.50	4.00	4.40
L5	0.70	1.30	1.90	2.90	4.45	4.45
L6	0.70	1.15	2.20	3.40	4.40	4.70
L7	0.70	1.00	1.95	2.95	3.85	3.95

Hauteur vertical tige principale (cm)						
Lysimètres	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Date de mesure	16/12/2020	26/12/2020	05/01/2021	15/01/2021	03/02/2021	16/02/2021
L1	9.00	25.75	51.00	69.50	86.00	88.00
L2	12.00	30.50	45.50	52.50	55.00	54.00
L3	6.00	17.50	36.50	50.00	56.00	57.00
L4	9.00	25.50	46.50	55.00	60.50	60.50
L5	7.50	19.50	38.00	47.00	51.50	52.00
L6	9.50	24.00	50.50	66.50	77.50	80.50
L7	7.00	15.00	30.50	43.00	50.00	50.00

Nombres de feuilles						
Date de mesure	16/12/2020	26/12/2020	05/01/2021	15/01/2021	03/02/2021	16/02/2021
L1	17	82	267	533	418	178
L2	34	181	357	713	598	238
L3	14	71	212	423	308	141
L4	27	134	275	550	435	183
L5	13	64	178	355	240	118
L6	18	94	237	474	359	158
L7	13	54	146	291	176	97

Nombres de branches primaire						
Date de mesure	16/12/2020	26/12/2020	05/01/2021	15/01/2021	03/02/2021	16/02/2021
L1	1	1	1	1	1	1
L2	1	1	1	1	1	1
L3	1	1	1	1	1	1
L4	1	1	1	1	1	1
L5	1	1	1	1	1	1
L6	1	1	1	1	1	1
L7	1	1	1	1	1	1

Nombres de branches secondaire						
Date de mesure	16/12/2020	26/12/2020	05/01/2021	15/01/2021	03/02/2021	16/02/2021
L1	3	10	15	21	24	27
L2	4	13	17	23	23	25
L3	2	8	13	20	22	24
L4	4	9	16	22	24	24
L5	2	8	12	17	21	23
L6	2	11	17	22	24	27
L7	3	6	11	16	21	24

Nombres de fleurs						
Date de mesure	16/12/2020	26/12/2020	05/01/2021	15/01/2021	03/02/2021	16/02/2021
L1	1	12	29	192	96	3
L2	4	14	70	290	145	5
L3	1	5	45	209	105	2
L4	3	10	56	298	149	4
L5	1	9	35	192	96	1
L6	1	4	20	122	61	3
L7	0	6	16	92	46	2

Nombres de fruits						
Date de mesure	16/12/2020	26/12/2020	05/01/2021	15/01/2021	03/02/2021	05/03/2021
L1	0	2	6	83	244	581
L2	0	7	30	161	532	727
L3	0	2	6	81	239	565
L4	0	2	14	110	487	646
L5	0	4	9	79	201	576
L6	0	1	6	71	198	551
L7	0	2	11	49	98	351

➤ **Analyses descriptives**

Statistiques Descriptives : Hauteur vertical tige principale (cm)										
Variable	Total (N)	Moyenne	Ecart-type	Variance	VarCoeff	Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
L1	6	54.88	32.40	1049.54	59.04	9.00	32.06	60.25	81.88	88.00
L2	6	41.58	17.13	293.34	41.19	12.00	34.25	49.00	53.63	55.00
L3	6	37.17	21.31	454.27	57.35	6.00	22.25	43.25	54.50	57.00
L4	6	42.83	21.12	446.17	49.31	9.00	30.75	50.75	59.13	60.50
L5	6	35.92	18.47	341.14	51.42	7.50	24.13	42.50	50.38	52.00
L6	6	51.42	29.20	852.64	56.79	9.50	30.63	58.50	74.75	80.50
L7	6	32.58	18.35	336.64	56.31	7.00	18.88	36.75	48.25	50.00
Moyenne	6.00	42.34	22.57	539.11	53.06	8.57	27.56	48.71	60.36	63.29

Statistiques Descriptives : Nombre de feuilles										
Variable	Total (N)	Moyenne	Ecart-type	Variance	VarCoeff	Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
L1	6	249	198.24	39298.39	79.63	17	105.54	222	380.13	533
L2	6	353	258.76	66955.06	73.26	34	194.79	297	537.63	713
L3	6	195	152.49	23251.77	78.33	14	88.50	176	283.88	423
L4	6	267	195.35	38159.76	73.08	27	145.96	229	395.00	550
L5	6	161	124.32	15456.43	77.07	13	77.58	148	224.38	355
L6	6	223	170.25	28983.67	76.29	18	109.63	198	328.50	474
L7	6	129	98.90	9780.97	76.47	13	64.38	121	168.38	291
Moyenne	6.00	225.42	171.18	31698.00	76.30	19.21	112.34	198.75	331.13	477.00

Statistiques Descriptives : Nombre de branches primaire										
Variable	Total (N)	Moyenne	Ecart-type	Variance	VarCoeff	Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
L1	6	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
L2	6	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
L3	6	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
L4	6	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
L5	6	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
L6	6	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
L7	6	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Moyenne	6.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Statistiques Descriptives : Nombre de branche secondaire										
Variable	Total (N)	Moyenne	Ecart-type	Variance	VarCoeff	Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
L1	6	16.42	9.01	81.14	54.87	3.00	10.88	17.75	23.13	26.50
L2	6	17.17	8.08	65.37	47.10	3.50	13.63	19.75	22.50	25.00
L3	6	14.75	8.58	73.58	58.15	2.00	9.25	16.50	21.50	23.50
L4	6	16.50	8.43	71.10	51.10	4.00	10.75	19.00	23.50	24.00
L5	6	13.58	7.96	63.34	58.59	2.00	8.63	14.25	19.88	22.50
L6	6	16.83	9.16	83.97	54.44	2.00	12.13	19.25	23.00	26.50
L7	6	13.33	8.35	69.77	62.64	2.50	7.25	13.50	19.38	24.00
Moyenne	6.00	15.51	8.51	72.61	55.27	2.71	10.36	17.14	21.84	24.57

Statistiques Descriptives : Nombre de fleurs										
Variable	Total (N)	Moyenne	Ecart-type	Variance	VarCoeff	Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
L1	6	55.50	75.62	5718.70	136.26	1.00	5.25	20.50	79.25	192.00
L2	6	88.00	112.96	12759.60	128.36	4.00	7.25	42.00	126.25	290.00
L3	6	61.08	82.79	6853.84	135.53	1.00	2.75	25.00	89.63	209.00
L4	6	86.67	117.64	13839.87	135.74	3.00	5.50	33.00	125.75	298.00
L5	6	55.67	75.89	5759.07	136.33	1.00	3.00	22.00	80.75	192.00
L6	6	35.17	48.19	2322.17	137.03	1.00	3.25	12.00	50.75	122.00
L7	6	27.00	36.06	1300.40	133.56	0.00	3.00	11.00	38.50	92.00
Moyenne	6.00	58.44	78.45	6936.23	134.69	1.57	4.29	23.64	84.41	199.29

Statistiques Descriptives : Nombre de fruits

Variable	Total (N)	Moyenne	Ecart-type	Variance	VarCoeff	Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
L1	6	152.67	229.86	52836.67	150.56	0.00	3.00	44.50	203.75	581.00
L2	6	242.67	311.42	96981.97	128.33	0.00	12.63	95.00	439.13	727.00
L3	6	148.58	223.78	50079.34	150.61	0.00	2.50	43.00	199.38	565.00
L4	6	209.75	283.83	80560.18	135.32	0.00	4.88	61.75	392.75	646.00
L5	6	144.75	224.85	50559.18	155.34	0.00	4.88	44.00	170.50	576.00
L6	6	137.75	216.32	46792.38	157.03	0.00	2.25	38.25	166.13	551.00
L7	6	85.08	135.56	18377.04	159.33	0.00	4.13	29.75	85.75	351.00
Moyenne	6.00	160.18	232.23	56598.11	148.08	0.00	4.89	50.89	236.77	571.00

Annexe 4: Tests statistiques et leurs conditions d'utilisation

✚ ANOVA et ses conditions d'utilisation

Bien qu'ANOVA se définisse comme une analyse des variances, elle utilise un seul test statistique pour comparer simultanément toutes les moyennes afin de vérifier s'il existe une différence entre elles (Mathews 2005). En effet, la procédure d'ANOVA est basée sur un test hypothétique appelé F-test, qui compare combien les populations différentes entre elles comparativement à la variabilité dans chaque population (Rumsey 2009). Si toutes les conditions de la limite centrale sont réunies, tous les échantillons proviennent d'une même population (Montgomery et Runger 2010), le ratio F est égal à 1. Par contre, si une ou plusieurs moyennes sont différentes des autres, le ratio F sera plus grand que 1. La conclusion sur la différence des moyennes peut aussi se baser sur le niveau de signification (P-value).

Les conditions requises pour valider l'utilisation d'ANOVA sont (Rumsey 2009 ; Montgomery 2008, Matthews 2005) :

- Les populations échantillonnées suivent une distribution normale ;
- Les populations échantillonnées sont homoscédastique (même variance)
- Les observations sont indépendantes.

Bien qu'ANOVA indique s'il y existe ou pas une différence significative entre les moyennes des populations comparées, elle n'indique pas quelle paire de moyennes sont différents. Des méthodes d'analyse post-ANOVA existe, permettant d'identifier la différence significative entre chaque paire de moyennes (Rumsey 2009 ; Montgomery 2008). Le test post-ANOVA adopté dans cette étude est le test de Tukey. Ce test a été choisi car il implique peu de calculs, est facile à rapporter et est assez populaire (Paul G. Matthews 2005).

✚ Les tests non-paramétrique et leurs conditions d'application

Les tests non-paramétriques testent les médianes. Exceptés les tests d'une seule médiane, comme le test des signes, les autres tests, comparant deux ou plusieurs médianes, exigent que (Keita, 2016a) :

- Les échantillons aléatoires proviennent des populations indépendantes ;
- Toutes les populations aient une même distribution ;
- Les variances des populations soient les mêmes.

Le test des signes compare la médiane d'une population à une certaine valeur, le test de Mann-Whitney compare les médianes de deux populations tandis que le test de Kruskal-Wallis compare les médianes de deux ou plusieurs populations.

Le test de Kruska-Wallis est similaire à ANOVA. Il indique seulement s'il existe ou pas une différence significative entre les médianes. Ainsi, pour identifier les médianes significativement différentes, nous avons fait recours au test de Mann-Whitney entre chaque paire de médianes (Rumsey 2009).

Ainsi pour chaque paramètre de croissance, un test bien approprié a été choisi.

ANOVA à un facteur contrôlé : variable en fonction de Lysimètre

Méthode

Hypothèse nulle : Toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative : Toutes les moyenne ne sont pas égales

Seuil de signification : $\alpha = 0.05$

Les variances ont été supposées égales pour l'analyse.

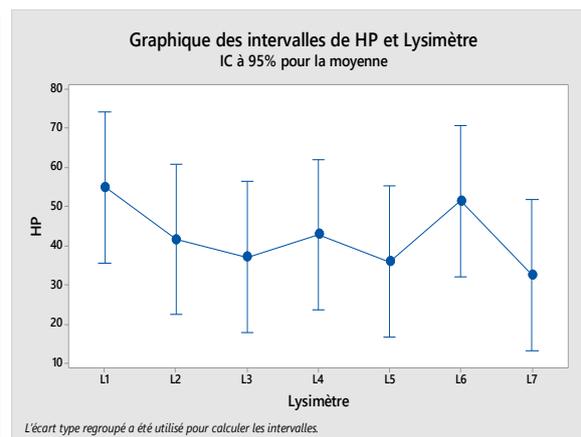
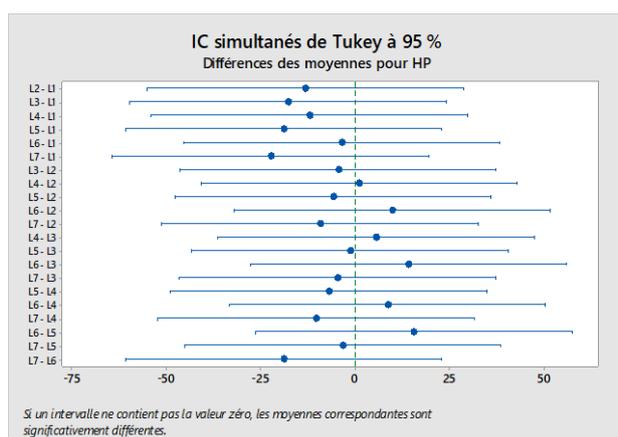
Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.

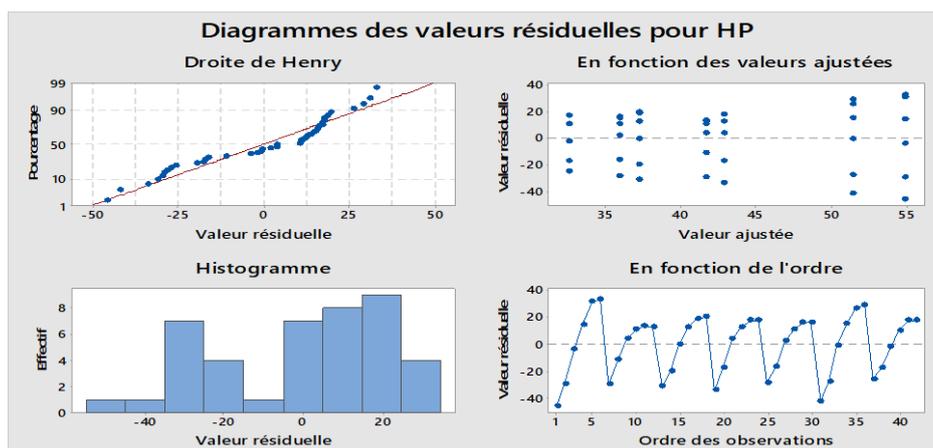
IC simultanés de Tukey à 95%

Graphique des intervalles de ... (variable)

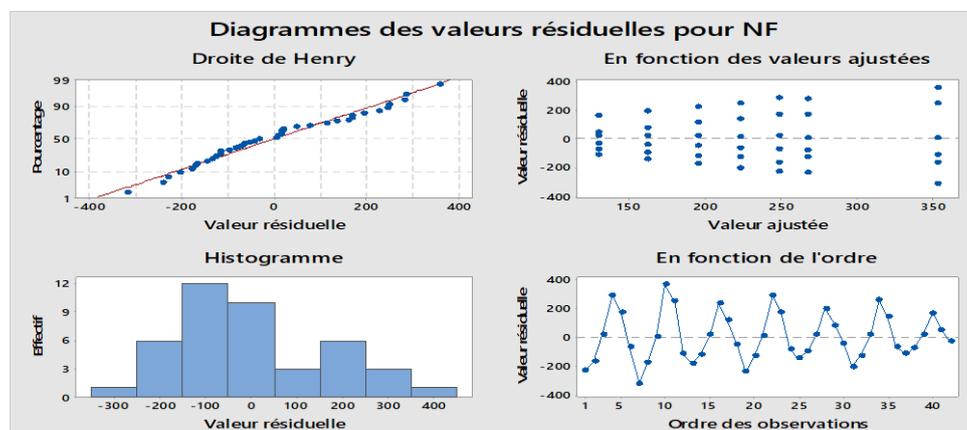
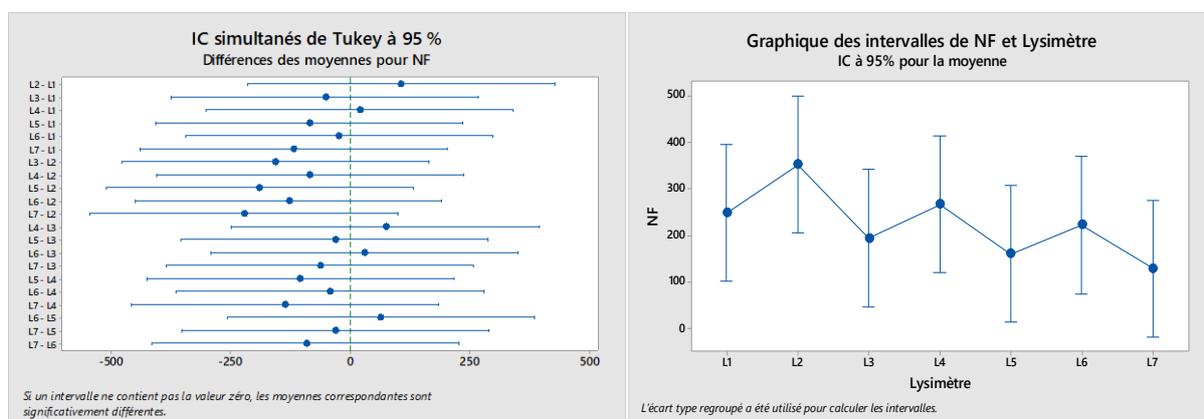
Diagrammes des valeurs résiduelles pour...(variable)

➤ *Test statistiques-ANOVA : Hauteur verticale des plantes*

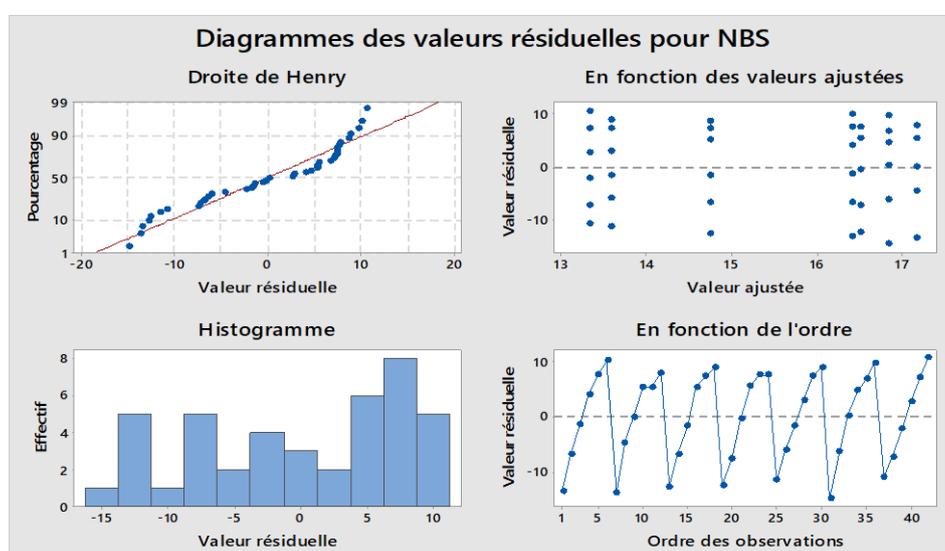
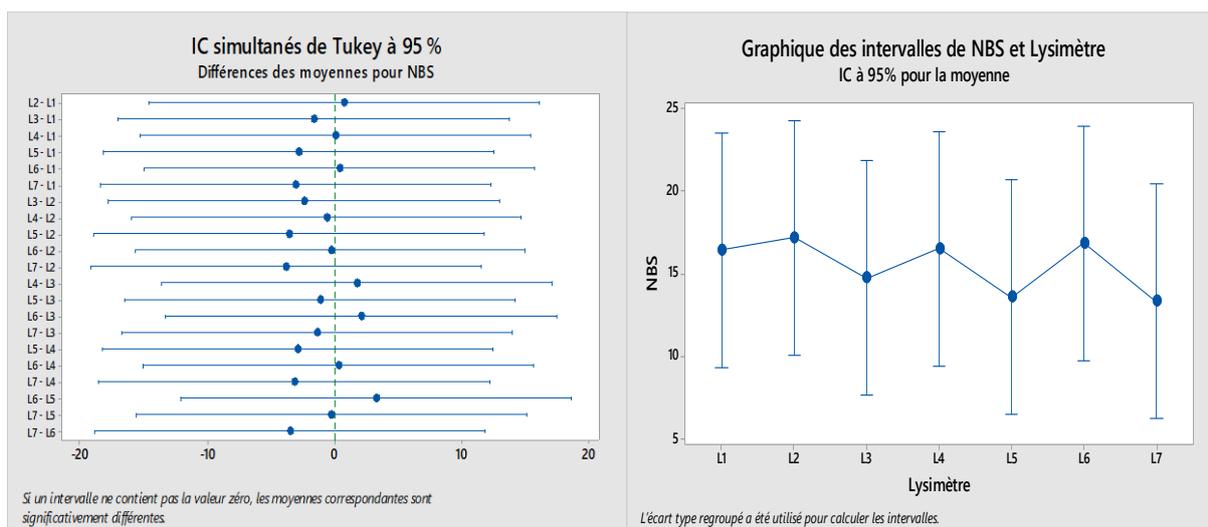




➤ *Test statistiques-ANOVA : Nombre de feuilles*



➤ *Test statistiques-ANOVA : Nombre de branches secondaire*



➤ Test de Kruskal-Wallis : NFL en fonction de Lysimètre

Lysimètre	N	Médiane	Rang de moyenne	Valeur de Z
L1	6	20.5	21.5	0.00
L2	6	42.0	26.1	0.99
L3	6	25.0	21.2	-0.07
L4	6	33.0	24.8	0.72
L5	6	22.0	20.3	-0.25
L6	6	12.0	19.0	-0.54
L7	6	11.0	17.6	-0.84
Global	42		21.5	

Test

Hypothèse nulle H_0 : toutes les médianes sont égales

Hypothèse alternative H_1 : au moins une médiane est différente

Méthode	DL	Valeur de H	Valeur de P
Non ajusté pour les nombres de même grandeur	6	2.20	0.900
Ajusté pour les nombres de même grandeur	6	2.21	0.900

➤ Test de Kruskal-Wallis : NFR en fonction de Lysimètre

Lysimètre	N	Médiane	Rang de moyenne	Valeur de Z
L1	6	44.50	21.4	-0.02
L2	6	95.50	24.8	0.72
L3	6	43.50	20.8	-0.16
L4	6	61.75	23.1	0.34
L5	6	44.00	21.5	0.00
L6	6	38.25	19.5	-0.43
L7	6	29.75	19.4	-0.45
Global	42		21.5	

Test

Hypothèse nulle H_0 : toutes les médianes sont égales

Hypothèse alternative H_1 : au moins une médiane est différente

Méthode	DL	Valeur de H	Valeur de P
Non ajusté pour les nombres de même grandeur	6	0.90	0.989
Ajusté pour les nombres de même grandeur	6	0.90	0.989

Commentaire : P value > 0,005 il n'y a donc pas de différence significatives entre les différentes médianes. Tous les bassins ont donc une croissance homogène en termes de nombre de fleurs et fruits.

Annexe 5: Résultats ETM – ETMloc –Kc

Les valeurs de l'ETM sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau : Valeurs de ETM

Dates	Opération	U	Lysimètres							Moy
			L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	
08/12/2020	Arrosage	mm	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	
	Drainage	mm	4	3.4	3.5	5.5	4.5	5.2	3	
	Ds	mm	-4.32	-3.60	-8.33	-3.28	-12.15	-7.78	-4.79	
	ETR	mm	10.04	9.92	14.55	7.50	17.37	12.30	11.51	
10/12/2020	Arrosage	mm	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	
	Drainage	mm	1.4	1.5	0.9	2.6	2.1	2.3	1	
	Ds	mm	-9.50	-7.86	-7.28	-3.57	-6.24	-5.72	-6.85	
	ETR	mm	17.50	15.76	15.78	10.37	13.54	12.82	15.25	
12/12/2020	Arrosage	mm	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	
	Drainage	mm	0.5	0.5	0	1	1	1.1	0	
	Ds	mm	1.44	-1.57	-2.86	4.68	0.46	-4.96	-0.05	
	ETR	mm	7.96	10.97	12.76	4.22	8.44	13.76	9.95	
14/12/2020	Arrosage	mm	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	
	Drainage	mm	0.5	0.5	0	1	1	1.1	0	
	Ds	mm	-4.54	-6.37	-6.66	-7.21	1.34	-2.13	-9.29	
	ETR	mm	13.54	15.37	16.16	15.71	7.16	10.53	18.79	
16/12/2020	Arrosage	mm	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	
	Drainage	mm	0	0.1	0	0.1	0.3	0.3	0	
	Ds	mm	-3.36	-4.97	-5.03	-2.77	-3.25	-2.03	-7.41	
	ETR	mm	12.86	14.37	14.53	12.17	12.45	11.23	16.91	
18/12/2020	Arrosage	mm	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	
	Drainage	mm	0	0	0	0.1	0.15	0	0	
	Ds	mm	0.06	-6.28	-6.44	-4.27	-3.21	-3.36	-4.71	
	ETR	mm	9.64	15.98	16.14	13.87	12.76	13.06	14.41	
ETM_1		mm/10jr	71.54	82.37	89.92	63.84	71.72	73.7	86.82	77.13
		mm/jr	7.154	8.237	8.992	6.384	7.172	7.37	8.682	7.71
20/12/2020	Arrosage	mm	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	
	Drainage	mm	0	0	0	0.1	0.15	0	0	
	Ds	mm	-8.61	2.22	0.29	-1.31	-1.03	2.73	2.24	
	ETR	mm	18.41	7.58	9.51	11.01	10.68	7.07	7.56	
22/12/2020	Arrosage	mm	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	
	Drainage	mm	0	0	0	0.2	0.1	0.09	0	
	Ds	mm	-1.11	-6.14	-5.58	-6.81	-6.8	0.76	-7.57	
	ETR	mm	11.01	16.04	15.48	16.51	16.6	9.05	17.47	
24/12/2020	Arrosage	mm	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	

	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	-4.93	-5.41	-3.49	-3.64	-1.73	-1.91	-4.08	
	ETR	mm	14.23	14.71	12.79	12.94	11.03	11.21	13.38	
26/12/2020	Arrosage	mm	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0.49	2.43	1.92	-1.11	0.81	-0.13	-2.32	
	ETR	mm	9.11	7.17	7.68	10.71	8.79	9.73	11.92	
28/12/2020	Arrosage	mm	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	-3.97	-0.94	-1.59	2.47	0.76	-0.53	-0.98	
	ETR	mm	13.77	10.74	11.39	7.33	9.04	10.33	10.78	
30/12/2020	Arrosage	mm	10	10	10	10	10	10	10	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	10	10	10	10	10	10	10	
ETM_2		mm/10jr	76.53	66.24	66.85	68.5	66.14	57.39	71.11	67.54
		mm/jr	7.653	6.624	6.685	6.85	6.614	5.739	7.111	6.75
01/01/2021	Arrosage	mm	10	10	10	10	10	10	10	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	10	10	10	10	10	10	10	
03/01/2021	Arrosage	mm	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	
05/01/2021	Arrosage	mm	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	-6.92	-5.67	-4.91	-0.72	-2.7	-8.49	-8.53	
	ETR	mm	17.12	15.87	15.11	10.92	12.9	18.69	18.73	
07/01/2021	Arrosage	mm	10.25	10.25	10.25	10.25	10.25	10.25	10.25	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	-2.48	-1.4	0.96	-1.47	-3.47	-1.35	1.53	
	ETR	mm	12.73	11.65	9.29	11.72	13.72	11.6	8.72	
09/01/2021	Arrosage	mm	10	10	10	10	10	10	10	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	-2.12	3.47	0.68	-0.66	2.37	-0.44	1.24	
	ETR	mm	12.12	6.53	9.32	10.66	7.63	10.44	8.76	
11/01/2021	Arrosage	mm	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	4.1	-3.94	-1.43	2.63	-2.08	-1.46	-1.11	
	ETR	mm	6.25	14.29	11.78	7.72	12.43	11.81	11.46	
ETM_3		mm/10jr	68.42	68.54	65.7	61.22	66.88	72.74	67.87	67.339

		mm/jr	6.842	6.854	6.57	6.122	6.688	7.274	6.787	6.7339
13/01/2021	Arrosage	mm	10	10	10	10	10	10	10	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0.52	1.63	-0.94	-2.72	-2.9	3.85	-1.7	
	ETR	mm	9.48	8.37	10.94	12.72	12.9	6.15	11.7	
15/01/2021	Arrosage	mm	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	-7.5	-8.14	-5.62	-3.87	-5.72	-6.11	-12.09	
	ETR	mm	17.85	18.49	15.97	14.22	16.07	16.46	22.44	
17/01/2021	Arrosage	mm	10	10	10	10	10	10	10	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	-1.55	1.5	0.3	0.45	-0.44	-3.29	3.56	
	ETR	mm	11.55	8.5	9.7	9.55	10.44	13.29	6.44	
19/01/2021	Arrosage	mm	10	10	10	10	10	10	10	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	1.38	-3.93	-3.73	-1.39	3.42	3.67	-0.31	
	ETR	mm	8.62	13.93	13.73	11.39	6.58	6.33	10.31	
21/01/2021	Arrosage	mm	10.25	10.25	10.25	10.25	10.25	10.25	10.25	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	1.53	2.99	0.08	-4.91	1.45	1.88	-3.36	
	ETR	mm	8.72	7.26	10.17	15.16	8.8	8.37	13.61	
23/01/2021	Arrosage	mm	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	
ETM 4		mm/10jr	66.82	67.15	71.11	73.64	65.39	61.2	75.1	68.63
		mm/jr	6.682	6.715	7.111	7.364	6.539	6.12	7.51	6.863
25/01/2021	Arrosage	mm	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	2.42	-2.84	2.65	0.39	-2.32	-2.53	-0.48	
	ETR	mm	8.08	13.34	7.85	10.11	12.82	13.03	10.98	
27/01/2021	Arrosage	mm	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	
29/01/2021	Arrosage	mm	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	
31/01/2021	Arrosage	mm	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	-8.71	-8.99	-12.09	-8.58	-7.92	-5.67	-7.12	

	ETR	mm	18.31	18.59	21.69	18.18	17.52	15.27	16.72	
02/02/2021	Arrosage	mm	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	
04/02/2021	Arrosage	mm	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	10.75	
ETM_5		mm/10jr	67.69	73.23	70.84	69.59	71.64	69.60	69.00	70.227
		mm/jr	6.77	7.32	7.08	6.96	7.16	6.96	6.90	7.0227
06/02/2021	Arrosage	mm	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	
08/02/2021	Arrosage	mm	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	-9.54	-3.62	-4.17	-14.34	-7.57	-6.61	-6.95	
	ETR	mm	18.84	12.92	13.47	23.64	16.87	15.91	16.25	
10/02/2021	Arrosage	mm	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	-4.37	-1.14	-3.09	1.98	-2.56	2.2	-0.81	
	ETR	mm	15.27	12.04	13.99	8.92	13.46	8.70	11.71	
12/02/2021	Arrosage	mm	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	11.40	11.40	11.40	11.40	11.40	11.40	11.40	
14/02/2021	Arrosage	mm	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	-2.49	-3.93	-4.37	-1.24	-4.71	-4.3	-9.12	
	ETR	mm	13.79	15.23	15.67	12.54	16.01	15.60	20.42	
16/02/2021	Arrosage	mm	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	
ETM_6		mm/10jr	81.2	73.49	76.43	78.4	79.64	73.51	81.68	77.764
		mm/jr	8.12	7.349	7.643	7.84	7.964	7.351	8.168	7.7764
18/02/2021	Arrosage	mm	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	
	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	
	ETR	mm	11.30	11.30	11.30	11.30	11.30	11.30	11.30	
20/02/2021	Arrosage	mm	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	

	Drainage	mm	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ds	mm	0	0	0	0	0	0	0	0
	ETR	mm	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35
ETM_7		mm/jr	21.65							
		mm/jr	4.33							

Tableau : Valeurs de ETM localisé

N° Lysimètres										
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	Moyenne	Ecart-type	IC (95%)
ETM_1 (mm/j)	7.15	8.24	8.99	6.38	7.17	7.37	8.68	7.71	0.94	0.87
ETM_loc1 (mm/jr)	1.93	2.22	2.43	1.72	1.94	1.99	2.34	2.08	0.25	0.24
ETM_2 (mm/j)	7.653	6.624	6.685	6.85	6.614	5.739	7.111	6.75	0.58	0.54
ETM_loc2 (mm/jr)	2.07	1.79	1.80	1.85	1.79	1.55	1.92	1.82	0.16	0.14
ETM_3 (mm/j)	6.84	6.85	6.57	6.12	6.69	7.27	6.79	6.73	0.35	0.32
ETM_loc3 (mm/jr)	2.19	2.19	2.10	1.96	2.14	2.33	2.17	2.15	0.11	0.10
ETM_4 (mm/j)	6.682	6.715	7.111	7.364	6.539	6.12	7.51	6.86	0.49	0.45
ETM_loc4 (mm/jr)	2.81	2.82	2.99	3.09	2.75	2.57	3.15	2.88	0.21	0.19
ETM_5 (mm/j)	6.769	7.323	7.084	6.959	7.164	6.96	6.9	7.02	0.18	0.17
ETM_loc5 (mm/jr)	2.84	3.08	2.98	2.92	3.01	2.92	2.90	2.95	0.08	0.07
ETM_6 (mm/j)	8.12	7.349	7.643	7.84	7.964	7.351	8.168	7.78	0.34	0.31
ETM_loc6 (mm/jr)	3.17	2.87	2.98	3.06	3.11	2.87	3.19	3.03	0.13	0.12
ETM_7 (mm/j)	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	0.00	0.00
ETM_loc7 (mm/jr)	1.69	0.00	0.00							

Tableau : Valeurs de Kc/jour et Kc/phase

Date	ETM	ETM_loc	ET0 (mm/jr)	Kc/jr	Moyenne Kc/Phase	Ecart-type	IC 95%
08/12/2020	7.71	2.08	4.42	0.47	0.44	0.032	0.013
09/12/2020	7.71	2.08	4.27	0.49			
10/12/2020	7.71	2.08	4.27	0.49			
11/12/2020	7.71	2.08	4.49	0.46			
12/12/2020	7.71	2.08	4.49	0.46			
13/12/2020	7.71	2.08	4.45	0.47			
14/12/2020	7.71	2.08	4.45	0.47			
15/12/2020	7.71	2.08	4.40	0.47			
16/12/2020	7.71	2.08	4.40	0.47			
17/12/2020	7.71	2.08	4.40	0.47			

18/12/2020	7.71	2.08	4.40	0.47			
19/12/2020	7.71	2.08	4.44	0.47			
20/12/2020	6.75	1.82	4.44	0.41			
21/12/2020	6.75	1.82	4.49	0.41			
22/12/2020	6.75	1.82	4.49	0.41			
23/12/2020	6.75	1.82	4.19	0.44			
24/12/2020	6.75	1.82	4.19	0.44			
25/12/2020	6.75	1.82	4.36	0.42			
26/12/2020	6.75	1.82	4.36	0.42			
27/12/2020	6.75	1.82	4.45	0.41			
28/12/2020	6.75	1.82	4.45	0.41			
29/12/2020	6.75	1.82	4.51	0.40			
30/12/2020	6.75	1.82	4.51	0.40			
31/12/2020	6.75	1.82	4.51	0.40			
01/01/2021	6.73	2.15	4.51	0.48			
02/01/2021	6.73	2.15	4.62	0.47			
03/01/2021	6.73	2.15	4.62	0.47			
04/01/2021	6.73	2.15	4.63	0.47			
05/01/2021	6.73	2.15	4.63	0.47	0.47	0.005	0.004
06/01/2021	6.73	2.15	4.66	0.46			
07/01/2021	6.73	2.15	4.66	0.46			
08/01/2021	6.73	2.15	4.57	0.47			
09/01/2021	6.73	2.15	4.57	0.47			
10/01/2021	6.73	2.15	4.70	0.46			
11/01/2021	6.73	2.15	4.70	0.46			
12/01/2021	6.73	2.15	4.58	0.47			
13/01/2021	6.86	2.88	4.58	0.63			
14/01/2021	6.86	2.88	4.69	0.61			
15/01/2021	6.86	2.88	4.69	0.61			
16/01/2021	6.86	2.88	4.50	0.64			
17/01/2021	6.86	2.88	4.50	0.64			
18/01/2021	6.86	2.88	4.50	0.64	0.61	0.070	0.035
19/01/2021	6.86	2.88	4.50	0.64			
20/01/2021	6.86	2.88	4.65	0.62			
21/01/2021	6.86	2.88	4.65	0.62			
22/01/2021	6.86	2.88	4.35	0.66			
23/01/2021	6.86	2.88	4.35	0.66			
24/01/2021	6.86	2.88	4.70	0.61			
25/01/2021	7.02	2.95	4.70	0.63			
26/01/2021	7.02	2.95	4.36	0.68			
27/01/2021	7.02	2.95	4.36	0.68			
28/01/2021	7.02	2.95	4.63	0.64	0.58	0.114	0.048

29/01/2021	7.02	2.95	4.63	0.64		
30/01/2021	7.02	2.95	4.36	0.68		
31/01/2021	7.02	2.95	4.36	0.68		
01/02/2021	7.02	2.95	4.88	0.60		
02/02/2021	7.02	2.95	4.88	0.60		
03/02/2021	7.02	2.95	4.88	0.60		
04/02/2021	7.02	2.95	4.88	0.60		
05/02/2021	7.02	2.95	4.71	0.63		
06/02/2021	7.78	3.03	4.71	0.64		
07/02/2021	7.78	3.03	4.19	0.72		
08/02/2021	7.78	3.03	4.19	0.72		
09/02/2021	7.78	3.03	4.95	0.61		
10/02/2021	7.78	3.03	4.95	0.61		
11/02/2021	7.78	3.03	5.16	0.59		
12/02/2021	7.78	3.03	5.16	0.59		
13/02/2021	7.78	3.03	5.24	0.58		
14/02/2021	7.78	3.03	5.24	0.58		
15/02/2021	7.78	3.03	5.04	0.60		
16/02/2021	7.78	3.03	5.04	0.60		
17/02/2021	4.33	1.69	5.12	0.33		
18/02/2021	4.33	1.69	5.12	0.33		
19/02/2021	4.33	1.69	4.70	0.36		
20/02/2021	4.33	1.69	4.70	0.36		