



**DETERMINATION DES COEFFICIENTS CULTURAUX ET DES  
PARAMETRES DE CROISSANCE DE L'HIBISCUS  
SABDARIFFA (L)**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
MASTER EN GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE**

**OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 02-07-2019 par :

**FOFANA Haidatou**

Directeur de mémoire : **Drissa SEREME**, Maître de recherche, INERA/CNRST

Co-Directeur : **Amadou KEITA**, Enseignant chercheur - 2iE

Maitre de stage : **Lassina SANOU** Chercheur - ASMA

*Jury d'évaluation du stage :*

Président : Prof. Hamma YACOUBA

Membres et correcteurs : Dr Cheick Oumar ZOURE  
M Amadou SIMAL

**Promotion [2016/2017]**

## **DEDICACES**

*A FOFANA Hamiatou et KATANGA Kpacha pour avoir cru en moi tout au long de ma formation. Merci pour votre amour, votre soutien inconditionnel et vos précieux conseils !*

## **REMERCIEMENT**

« La fin d'une chose valant mieux que son commencement », nous tenons à exprimer ici notre reconnaissance à toutes ces personnes qui, de près ou de loin, ont contribué au bon déroulement de notre formation et à la création du produit final que représente ce mémoire de fin d'études.

Nous remercions particulièrement :

- A mon directeur de mémoire, Pr. Drissa SEREME, Maître de recherche, INERA/CNRST, merci pour votre disponibilité et les conseils scientifiques pour la conduite de l'étude
- Dr. Amadou KEITA, mon encadreur interne 2iE. Votre disponibilité, vos conseils et votre enthousiasme au travail m'ont vraiment marqué. Soyez assuré de ma reconnaissance.
- SANOU LASSINA, mon encadreur externe, Général forestier membre de l'association ASMA. Votre disponibilité, vos remarques et conseils ont beaucoup contribué à l'élaboration de ce document. Recevez ma profonde gratitude.
- M NIANG Dial, enseignant à 2iE en physique du sol et hydrologie.
- M Emmanuel ZONGO, le technicien qui m'a beaucoup aidée sur le terrain de par sa disponibilité et son appui pratique durant la phase de terrain.

Nos remerciements vont également à :

- A la fondation 2iE, pour m'avoir permis d'obtenir le financement de la BAD - CEDEAO en licence
- L'ensemble du corps professoral et administratif de la Fondation 2iE, plus particulièrement à tous ceux qui ont été mes enseignants.
- Toute la famille FOFANA pour son soutien durant toute ma formation
- La famille KATANGA spécialement à Paul Kpatcha KATANGA pour son soutien et ses conseils,
- Tous mes amis (es) et collègues de promotion pour les précieux échanges et la solidarité.

## RESUME

La lutte contre la déforestation est un processus dans lequel la recherche peut apporter une contribution fondamentale. La destruction des espèces de la foresterie telles que les arbres, arbustes et herbes de la zone intertropicale africaine pour produire du charbon de bois, du fagot de cuisine ou les produits pour la pharmacopée traditionnelle représente une menace grandissante pour la préservation de nos espèces végétales. Dans le but de contribuer à la pérennisation de ces forêts plus spécifiquement des arbustes à fleurs tout en permettant leur exploitation raisonnée, la présente étude s'est consacrée à la détermination du coefficient cultural qui est le paramètre clé dans la détermination du besoin en eau d'une plante et des paramètres de croissance de l'*Hibiscus Sabdariffa L.* *Hibiscus Sabdariffa (L)* est un arbuste à fleur de la famille des malvacées dont l'utilisation dans le domaine industriel et sanitaire a connu ces dernières années un essor extraordinaire, notamment en Afrique de l'Ouest. Pour effectuer les investigations, neuf répliques aussi fidèles que possible d'un lysimètre en béton équipés de tubes de drainage d'eau de surface et souterraine ont été utilisés. Chaque lysimètre a été rempli de terre végétale, 8% de matière organique pour prévenir tout déficit en engrais. Ces lysimètres ont servi à la détermination de l'évapotranspiration maximale ETM à partir du bilan hydrique durant le cycle cultural de la plante. Une station météorologique automatique WatchDog a permis de déterminer l'évapotranspiration de référence ET<sub>0</sub>, qui, combiné avec l'ETM a permis de calculer les coefficients culturaux. Les grandeurs de la biomasse ont été mesurées sur les lysimètres une fois par semaine. Il ressort de cette étude que l'*Hibiscus. Sabdariffa (L)* a un cycle végétatif de 112 jours de cycle. Le coefficient cultural est de  $0.3 \pm 0,03$  à 95% d'intervalle de confiance à la phase initiale ;  $1,0 \pm 0,14$  en phase de développement ;  $1,7 \pm 0,09$  à la phase de maturité et  $1,5 \pm 0,05$  à la phase de récolte. La hauteur verticale moyenne est environ  $123 \pm 6,91$ cm, le diamètre au collet de  $2,9 \pm 0,14$  cm, le nombre de branches par tige de  $20 \pm 1,06$  et le nombre de feuilles par branche de  $20 \pm 1,67$ . Cette durée de vie de 112 jours est due à l'entretien, la fertilité du sol et aussi à l'irrigation apportée à la plante. Le développement de l'*Hibiscus. Sabdariffa (L)*, et la mise sous irrigation sont donc possibles et contribueront non seulement à sa pérennisation mais aussi au développement de l'irrigation forestière. Vu que les résultats obtenus ont été mesurés durant la saison sèche, nous recommandons donc de faire une autre étude en saison pluvieuse pour identifier s'il y a lieu des différences significatives.

### Mots clés :

Irrigation forestière,

*Hibiscus. Sabdariffa (L)*,

Coefficient cultural

## ABSTRACT

The fight against deforestation is a process in which research can make a fundamental contribution. The destruction of forestry species such as trees, shrubs and herbs from the intertropical African zone to produce charcoal, kitchen bundle or products for the traditional pharmacopoeia represents a growing threat to the preservation of our plant species. In order to contribute to the sustainability of these forests, more specifically flowering shrubs, while allowing their rational exploitation, the present study was devoted to the determination of the cultural coefficient which is the key parameter in the determination of the water requirement of a plant and growth parameters of *Hibiscus Sabdariffa* L. *Hibiscus Sabdariffa* (L) is a flowering shrub of the family Malvaceae whose use in the industrial and sanitary field has experienced in recent years an extraordinary boom, including in west Africa.

To perform the investigations, nine as faithful replicas as possible of a concrete lysimeter equipped with surface and underground water drainage tubes were used. Each lysimeter was filled with topsoil, 8% organic matter to prevent any deficit in fertilizer. These lysimeters were used to determine the maximum ETM evapotranspiration from the water balance during the cropping cycle of the plant. A WatchDog automatic weather station was used to determine the ET<sub>0</sub> reference evapotranspiration, which, combined with the ETM, made it possible to calculate crop coefficients. Biomass quantities were measured on the lysimeters once a week. This study shows that *Hibiscus. Sabdariffa* (L) has a lifespan of 112 days of cycle. The cultural coefficient is  $0.3 \pm 0.03$  at 95% confidence interval at the initial phase;  $1.0 \pm 0.14$  in development phase;  $1.7 \pm 0.09$  at the stage of maturity and  $1.5 \pm 0.05$  at the harvest phase. The average vertical height is approximately  $123 \pm 6.91$  cm, the collar diameter is  $2.9 \pm 0.14$  cm, the number of branches per stem is  $20 \pm 1.06$  and the number of leaves per branch is  $20 \pm 1.67$ . This life of 112 days is due to the maintenance, the fertility of the soil and also the irrigation brought to the plant. The development of *Hibiscus. Sabdariffa* (L), and the placing under irrigation are possible and will contribute not only to its sustainability but also to the development of forest irrigation. Since the results obtained were measured during the dry season, we recommend that another study be done in the rainy season to identify any significant differences.

### Keywords:

Forest Irrigation,  
*Hibiscus. Sabdariffa* (L),  
Cropping coefficient.

## **LISTE D.ES ACRONYMS**

2iE :	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
ANOVA:	Analyse de Variance
ASMA:	Association au Secours Mon Arbre
DP :	Dose brute
ET0 :	Evapotranspiration de référence
ETM :	Evapotranspiration maximale
ETR :	Evapotranspiration réelle
FAO :	Food and Agriculture Organisation
INERA :	Institut National de la Recherche Agronomique
K <sub>C</sub> :	Coefficient cultural
RU :	Reserve utile

## Table des matières

DEDICACES .....	1
REMERCIEMENT .....	2
RESUME.....	3
ABSTRACT .....	4
LISTE D.ES ACRONYMS .....	5
LISTE DES TABLEAUX.....	8
LISTES DES FIGURES .....	9
LISTES DES PLANCHES .....	10
I. INTRODUCTION.....	11
I.1. Contexte et justification.....	11
I.2. Problématique .....	11
II. OBJECTIFS ET RESULTATS ATTENDUS .....	12
II.1. Objectifs du travail .....	12
II.2. Résultats attendus .....	12
II.3. Hypothèses de calcul .....	12
III. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	13
III.1. PRESENTATION DE <i>H. sabdariffa</i> .....	13
IV. MATERIEL ET METHODES .....	15
IV.1. Présentation de la zone d'étude .....	15
IV.2. Etude du climat .....	17
IV.3. Etude du sol .....	19
IV.4. ETUDE DU SUIVI DE L'EAU .....	23
IV.5. PARAMETRES LIES A LA BIOMASSE.....	25
IV.6. Traitement et analyse statistique des données .....	26
IV.7. Détermination de KC.....	26
V. RESULTATS ET DISCUSSIONS .....	28
V.1. Evapotranspiration de référence ET0 .....	28
V.2. Infiltration du Sol.....	29
V.3. Evapotranspiration Maximal ETM.....	32

V.4.	Paramètres Lies à la biomasse .....	34
VI.	LE COEFFICIENT CULTURAL KC .....	45
VII.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	47
VIII.	RECOMMANDATIONS .....	47
IX.	BIBLIOGRAPHIE.....	48
X.	ANNEXES.....	51
IX.1.	ANNEXE V : DEFINITION DE QUELQUES PARAMETRES .....	52
IX.2.	ANNEXE VI : INFILTRATON ET CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE KSAT60	
IX.3.	ANNEXE VII : RESULTAT DES MESURES DES PARAMETRES DE CROISSANCE.....	62
IX.4.	ANNEXE VIII : TESTS STATISTIQUES ET LEURS CONDITIONS D'UTILISATION .....	68
IX.5.	ANNEXE IX : RESULTATS DES MESURES/ CALCUL / DE ETM, ET KC ..	71

### LISTE DES TABLEAUX

Tableau i : Valeurs de l'ET0- Station météo Kamboinsé K4 (Année 2017-2018).....	28
Tableau ii: Comparaison ET0 (Station Ouagadougou et Station Kamboinsé) .....	29
Tableau iii ; Résultats des valeurs de la Matière Organique (MO%) et la Conductivité Hydraulique à saturation (Ksat mm/h) des 09 lysimètres.....	30
Tableau iv : Caractéristique du sol.....	31
Tableau v : Résultat des mesures de ETM par décade dans les neufs lysimètres.....	33
Tableau vi ; Découpage du cycle végétatif .....	36
Tableau vii ; Couverture Végétale(%) .....	36
Tableau x ; La valeur moyenne de 1000 graines de <i>H. sabdariffa</i> est de 31 ,65 g. ....	44
Tableau xi ; Résultat du test d'ANOVA sur les différents lysimètres .....	44
Tableau xii ; Valeurs de KC, GC et Kr en fonction du cycle végétatif (%) .....	45

## LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Carte de la répartition géographique du <i>H. sabdariffa</i> . Source : (Boulos, 2000) .....	13
Figure 2: Photo d'une plante de <i>H. sabdariffa</i> en maturité dans le bassin N° 6 .....	14
Figure 3 ; Carte de localisation de la zone d'Etude .Source ; (BNDT 2014).....	16
Figure 4 : Matérielles du double anneau pour les essais d'infiltrations Cette image montre les outils utilisés pour l'expérience du double anneau .....	22
Figure 5: Dispositif expérimental composé de 09 Lysimètres.....	23
Figure6 .....	25
Figure 7 : Texture du sol.....	31
Figure 8 : Photo du lysimètre 3 montrant quatre (04) pieds de <i>H. sabdariffa</i> durant la floraison .....	35
Figure 9: Evolution de la hauteur de tige du <i>H. sabdariffa</i> dans le temps .....	38
Figure 10 ; Diagramme en bâtonnet du diamètre au collet en fonction du temps .....	39
Figure 11 : Résultats, sous forme de diagramme en bâtonnet des mesures du nombre de branche par plan du <i>H. sabdariffa</i> des 9 lysimètres. ....	40
Figure 12 : Valeurs, sous forme de diagramme en bâtonnet du nombre de feuilles par moyen. <i>Sabdariffa</i> dans les neufs lysimètres. ....	41
Figure 13 : Evolution de la profondeur d'enracinement du <i>H. sabdariffa</i> en fonction du temps .....	42
Figure14 : Valeurs massique de la biomasse humide et séché .....	43
Figure 17 ; Courbe des valeurs de kc en fonction du cycle végétatif .....	46

## **LISTES DES PLANCHES**

Planche 1: Photos de la plateforme d'irrigation du site K4 de Kamboinsé. On observe sur les figures a et b, les lysimètres contenant les plantes d'oseilles en développement. ....	17
Planche 2: a : Station météo WatchDog – b : Matériels d'extraction des données climatiques .....	17
Planche 3 : a : Ajout de compost de volailles sur la terre- b : Mélange de la terre +compost.....	19
Planche 4: a : Mécanisme de détermination du taux de matières organiques à l'étuve.....	20
Planche 5: c lysimètre 8 enveloppé de sac pour atténuer l'effet du soleil, b : photos montrant les entonnoirs et les tuyaux flexibles pour recueillir les eaux de ruissèlement lors de la pluie dans les lysimètres, c : disposition dans le lysimètre. Ces eaux sont collectées et mesurées à l'aide d'un bidon de 5 litres.....	24
Planche 6 : Les photos a et b du <i>H. sabdariffa</i> en phase initial, Photo c et d, en phase de développement, Photo e et f, en phase de maturité.....	37

## I. INTRODUCTION

### I.1. Contexte et justification

L'Association Au Secours Mon Arbre (ASMA, une association à but non lucratif), dans son effort de soutien au développement de la foresterie et de la protection de l'environnement a entrepris de soutenir un chantier de recherche sur la détermination des paramètres culturaux des plantes de la flore de la zone tropicale africaine telles que *Hibiscus. Sabdariffa (L)*

*H. sabdariffa* de la famille des malvacées est connu sous différentes appellations: oseille de Guinée, Hibiscus au Sénégal, karkadé en Afrique du Nord, roselle, sorrel ou sour- tea en anglais (Cissé, et al., 2009). Au Sénégal par exemple plusieurs producteurs cultivent le *Hibiscus. Sabdariffa (L)* pour leur propre consommation et les surplus sont commercialisés aussi bien (Doorenbos et Pruitt, 1975) sur le marché local que vers ceux d'exportation et génère d'importantes sources de revenu à ces derniers. Il en est de même pour les pays de l'Afrique de l'ouest comme le Burkina-Faso.

### I.2. Problématique

L'exploitation excessive des ressources de la flore forestière notamment des arbustes à fleurs en zone intertropicale est une menace pour leur pérennisation. De nombreux pays sahéliens comme le Niger, le Burkina Faso, le Mali, la Mauritanie ou le Sénégal, connaissent une avancée inquiétante vers la désertification). La destruction des arbres, arbustes et herbes est aussi causée par l'usage de plus pressant de leurs sous-produits par l'industrie cosmétique et les entreprises nutritionnistes et phytothérapeutiques. Cette menace anthropique sur la flore est aussi plus insidieuse que le changement climatique car elle agit au niveau local mais simultanément en de multiples endroits.

Les données portant sur les paramètres de production des plantes forestières, bien qu'elles soient exploitées par l'homme, sont fragmentaires voire inexistantes. La connaissance des valeurs des coefficients culturaux (Kc) pour les différentes phases du cycle végétatif est indispensable pour connaître les besoins en eau de la plante et donc accompagner sa croissance par l'irrigation. La recherche a été intensifiée sur les actions pour la détermination de Kc pour de nombreuses cultures vivrières et céréalières (tomate, oignon, blé etc.), qui rentrent dans la consommation directe de l'homme. Malheureusement, pour des arbustes à fleurs aussi importantes comme *H. sabdariffa*, les recherches ont été très limitées.

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, 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 *H. sabdariffa*.

Le présent mémoire a pour objet de déterminer avec précision et à chaque phase du cycle végétatif de *H. sabdariffa*,

- Les coefficients culturaux  $K_c$
- La production de la biomasse.

## II. OBJECTIFS ET RESULTATS ATTENDUS

### II.1. Objectifs du travail

L'objectif général de cette étude est d'apporter une contribution au développement des cultures forestières.

### II.2. Résultats attendus

Aux termes de cette étude, l'on devra disposer de données et d'analyses statistiques détaillées de séries chronologiques portant au minimum sur les quantités suivantes :

- L'évapotranspiration de référence  $ET_0$  autour du dispositif de production
- L'évapotranspiration maximale  $ET_M$  dans les lysimètres de production
- La production de la biomasse
- Les coefficients culturaux  $K_c$

### II.3. Hypothèses de calcul

- L'hibiscus est une plante qui se développe en saison pluvieuse et dans de bonnes conditions d'humidité.
- Dans le cas de notre recherche les plantes sont repiquées dans neuf (09) lysimètres de même dimension, et toutes les conditions de culture sont identiques dans les lysimètres (Nombre de plante, sol de culture, quantité d'arrosage)

### III. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

#### III.1. PRESENTATION DE *H. sabdariffa*

##### III.1.1. Origine et répartition géographique de

*H. sabdariffa*, également appelé roselle est une plante herbacée de la famille des Malvacées qui pousse en zone tropicale. Il est probablement originaire d'Afrique, où il pourrait avoir été domestiqué au Soudan il y a environ 6000 ans. Puis, il atteint le nouveau monde au XV<sup>e</sup> siècle, emporté par les esclaves (HIEN , 2012). Il est le fruit d'un hibiscus buissonnant de 2 à 3 m de haut, aux tiges pourpre (FABRICE et VALERIE, 2004). Comme l'illustre la figure 1, la roselle est présente aujourd'hui dans toutes les régions tropicales. En Afrique tropicale, elle est commune en particulier dans les zones de savane d'Afrique occidentale et centrale. On la rencontre souvent comme plante échappée des cultures. Mais des spécimens d'apparence vraiment sauvage de *H. sabdariffa* ont été récoltés au Ghana, au Niger, au Nigeria et en Angola.

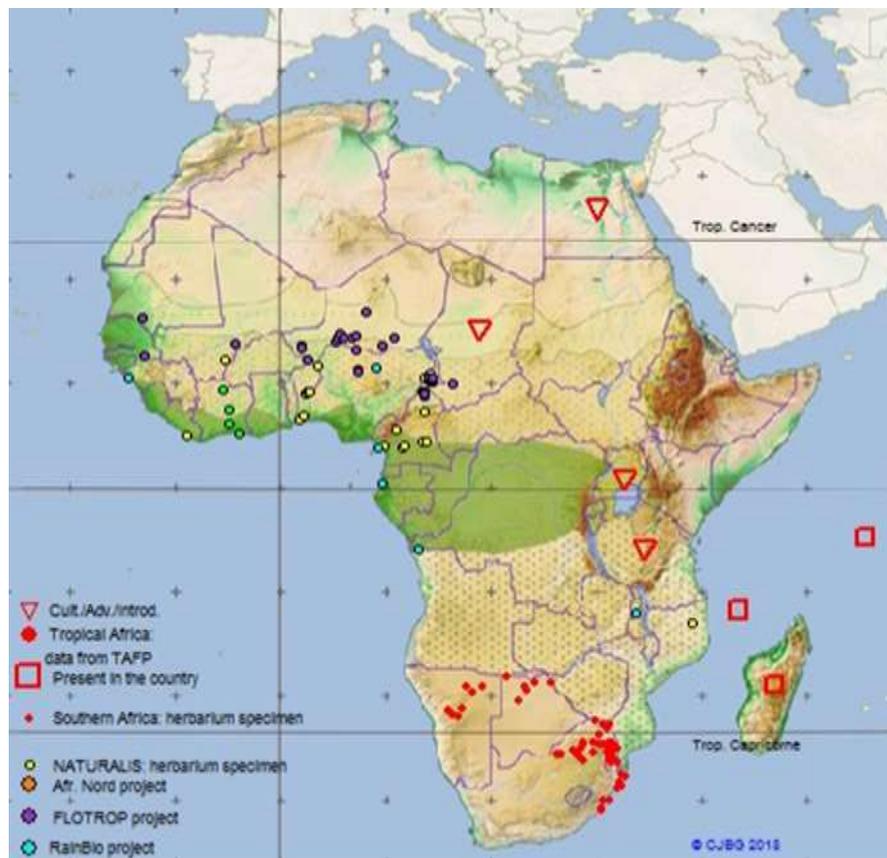


Figure 1 : Carte de la répartition géographique du *H. sabdariffa*. Source : (Boulos, 2000)

### III.1.2. Description de *H. sabdariffa*

Au Burkina Faso elle porte le nom de Wektere en langue Mossi. Le *H. sabdariffa* est cultivé en période d'hivernage sur un cycle de 120 à 165 jours, et peut être annuelle ou biennale selon qu'on la met dans les conditions d'humidité favorable. Elle est formée de tiges assez longues pouvant atteindre 2,0 m environ et de couleur rouge pourpre à l'exception des limbes et des feuilles. Les feuilles par contre sont digitées de couleur verdâtre et sont supportées par des bestioles de 6 à 7 cm de longueur. La figure 2 montre la photo d'une plante de *H. sabdariffa* en maturité dans le bassin N° 6, à ce stade, on peut y voir les fruits de couleur rouge pourpre.



Figure 2: Photo d'une plante de *H. sabdariffa* en maturité dans le bassin N° 6

### III.1.3. Propriété et vertus de *H. sabdariffa*

Presque toutes les parties de la roselle (calices, feuilles et graines) sont utilisées soit dans l'alimentation, soit dans la médecine traditionnelle, soit dans l'industrie. Cependant, du fait de leur concentration élevée en acides, en pectines, en vitamine C et surtout en anthocyanine, les calices constituent la partie de la plante la plus utilisée.

- Les Calices : du fait de leur concentration élevée en acides, pectines, vitamine C et surtout en anthocyanes, constituent la partie de la plante la plus utilisée. Ils interviennent dans la production de boissons désaltérantes et tonifiantes sans alcool (Cissé et al, 2009).
- Les feuilles : Elles sont utilisées au Cameroun, au Togo et au Congo Brazzaville par exemple comme légumes en purée ou en sauce. On peut ajouter du beurre d'arachide ou les aubergines en purée pour atténuer l'acidité de la sauce ou de la purée et ceci accompagne parfaitement le poisson ou la volaille grillé dont il relève le goût.
- Les graines du *H. sabdariffa* sont riches en protéines. Au Bénin, elles sont utilisées pour la fabrication de condiments traditionnels par cuisson puis fermentation. Elles contiennent également 20% de matière grasse et permettent la production d'huile de roselle.

La roselle aurait de nombreuses propriétés thérapeutiques. Elle est utilisée dans la plupart des médecines traditionnelles aussi bien dans les pays du Sud que dans les pays du Nord (Cissé et al, 2009). Les calices sont utilisés dans le traitement de furoncles, abcès, dermatoses. Elles permettent également de lutter contre les bronchites et les hémorroïdes.

#### **IV. MATERIEL ET METHODES**

Ce chapitre décrit le site expérimental, les équipements utilisés et les procédures suivies pour la mesure de l'évapotranspiration de référence  $ET_0$ , l'évapotranspiration maximale (ETM) et des coefficients cultureux KC. Les expérimentations se sont déroulées du 28 septembre 2017 au 16 janvier 2018, couvrant ainsi le cycle cultural de l'oseille. Pour atteindre les 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**

Les expérimentations se sont déroulées au Burkina Faso, à 20 km environ de Ouagadougou sur le site expérimental de 2iE Kamboinsé au K4. Ledit site a été conçu pour un projet d'aménagement hydro-agricole en 2013 sous la supervision du Docteur Amadou KEITA et de M Emmanuel ZONGO. Elle couvre une superficie de 0,5 ha avec une longueur de 100 m sur une largeur de 50 m. Dans cette parcelle on utilise deux types d'irrigation : l'irrigation par micro aspersion de 0,25 ha pour les maraichères et l'irrigation goutte à goutte de 0,25 ha pour les arboricultures. Il a été construit à proximité du site une série de lysimètres (19) servant aux travaux de recherche des étudiants et stagiaires en Génie civil et Hydraulique.

La figure 3 décrit illustre la situation géographique de la zone d'étude

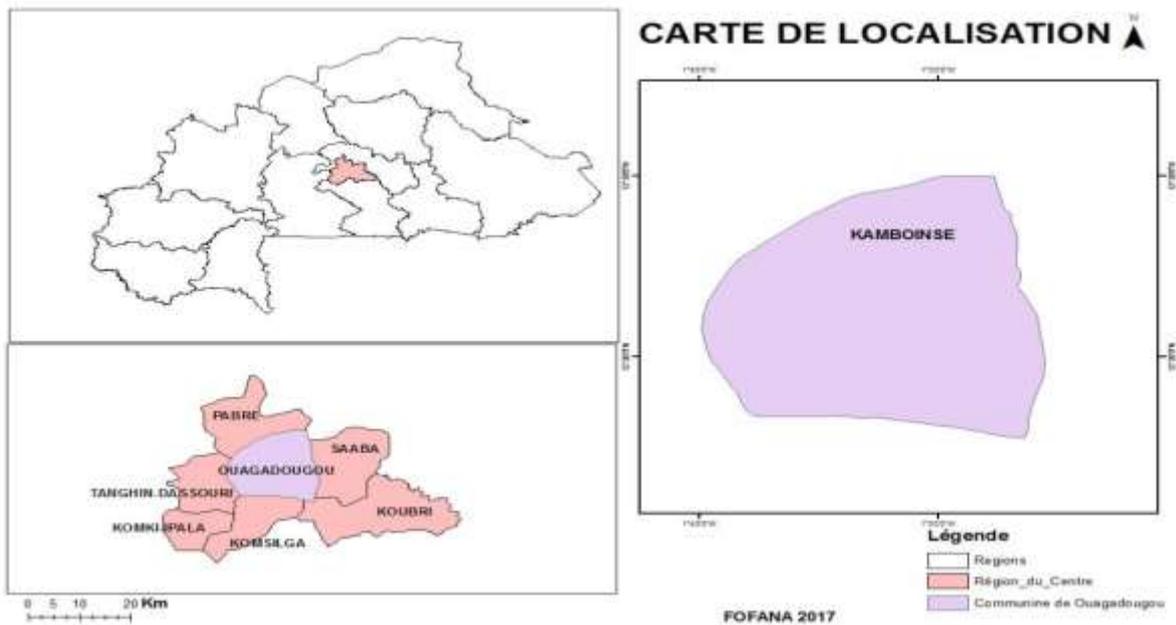


Figure 3 ; Carte de localisation de la zone d'Etude .Source ; (BNDT 2014)

#### ➤ *Source d'eau*

Le projet est alimenté en eau par un château d'eau d'une capacité de 20 m<sup>3</sup> avec une hauteur sous cuve de 10 m. Kamboinsé étant situé dans une zone de socle, il n'y a pas assez d'eau de surface pour alimenter le projet d'où la réalisation d'un forage dont les caractéristiques sont les suivantes : Profondeur forée = 60.04m ; Profondeur sommet crépine =32m ; diamètre tubes crépines = 112mm ; Niveau statique = 19.8 m ; Niveau dynamique = 40.25 m ; un débit de 3.1 m<sup>3</sup>/hr .

#### ➤ *Source d'énergie*

Le système est équipé d'un champ photovoltaïque d'une puissance totale du champ de 1315 WC. Il comprend 12 modules en série, soit 2 branches (de 12 modules en série) en parallèle. Les caractéristiques du module sont : Pmax = 55 Wc; Isc= 3.4 A; Vmp = 17.55 V; Voc = 21.25 A; Imp= 3.13 A.

La planche 4 ; montre deux photos du site expérimental de 2iE Kamboinsé au K4



Planche 1: Photos de la plateforme d'irrigation du site K4 de Kamboinsé. On observe sur les figures a et b, les lysimètres contenant les plantes d'oseilles en développement.

## IV.2. Etude du climat

### IV.2.1. Présentation de la station météo

L'outil principal utilisé pour déterminer les paramètres liés au calcul d'ET<sub>0</sub> est la station météo type Watch Dog série 2000. Elle est placée sur le site d'expérimentation à une hauteur de 2 m au-dessus du sol. Watch dog est une station météorologique professionnelle avec 5 capteurs incluant : Vitesse du vent à 2 m du sol (m/s), la Température (C°), Humidité relative (%), la pression de vapeur saturante (Kpa), Ensoleillement (w/m<sup>2</sup>), extensible à 6 capteurs enregistreurs de données internes pour 8800 valeurs.



Planche 2: – a : Station météo WatchDog – b : Matériels d'extraction des données climatiques

#### IV.2.2. Méthode de calcul de ET0

Les valeurs de ET0 sont obtenues après traitement des données brutes collectées sur la station par un programme de calcul sur Excel avec la formule de Penman-Montheih.(FAO, 1998)  
La station météo lit les données quotidiennement et par pas de temps d'une heure pendant les 24 heures. Ces données sont récupérées sur un ordinateur à l'aide d'un câble USB et le transfert se fait au moyen du logiciel **SpakWare 9 Professional**.

*Equation 1 : Formule de Penman-Montheih (FAO, 1998)*

$$ET0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + y \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + y(1 + 0.34u_2)}$$

Avec :

**ET0** :L'évapotranspiration de référence en mm/j

**R<sub>n</sub>**: Le rayonnement net à la surface de la culture MJ/m2/j

**T** : La température moyenne de l'aire à 2m de hauteur en °C

**G** : La densité de flux de chaleur du solen MJ/m2/j

**u<sub>2</sub>** : La vitesse du vent à 2 m au-dessus du sol en m/s

**e<sub>s</sub>** : La pression de vapeur de saturation en kPa

**e<sub>a</sub>** : La pression de vapeur réel

**e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>** : Un déficit de pression de vapeur saturante en kPa

**Δ** : Courbe de pression de vapeur en pente D kPa/°C

**y** : Constante psychrométrique.

### **IV.3. Etude du sol**

#### **IV.3.1. Dispositif de mesure**

La culture des plantes et les mesures sont faites sur 09 lysimètres identiques en béton de longueur 1.60 m de largeur 1.2 m, et d'épaisseur 10cm. A l'intérieur il y a respectivement du bas vers le haut du gravier, du sable et dans la partie supérieure le mélange de terre (Keïta, 2015)

➤ Préparation de la terre de culture (Le terreau)

Pour obtenir un rendement cultural maximal des plantes, nous avons effectué les semis sur un sol mélangé avec du fumier de volaille (compost) à 8 % dans chaque lysimètres soit 40 kg de fumier pour 0.3 m<sup>3</sup> de terre. Pour ce faire nous avons effectué l'analyse de la détermination du taux de matière organique au laboratoire de BIOMASE de 2iE Kamboinsé.

La planche 3 montre les photos du mélange de la terre végétale et du compost avant le remplissage des lysimètres. Cela permet d'obtenir un mélange homogène.



*Planche 3 : a : Ajout de compost de volailles sur la terre- b : Mélange de la terre + compost*

Après le mélange, une analyse permettant d'obtenir le taux de matières organiques a été effectuée dans le laboratoire de Biomasse Energie afin de prévenir tout déficit en engrais. La planche 4 montre le mécanisme et le matériel utilisé.



Planche 4: a : Mécanisme de détermination du taux de matières organiques à l'étuve

b : Mécanisme de détermination du taux de matières organiques au four (Laboratoire de biochimie 2iE du site de Kamboinsé)

➤ Matériels utilisés :

Creuset-Dessiccateur-Etuve-Four

➤ Mode Opérateur :

- Prélever 15 g d'échantillon de terre ;
- Nettoyer les creusets, les sécher à l'étuve pendant 20 minutes et les placer au dessiccateur pendant 5 à 10 minutes pour qu'ils se refroidissent ;
- Peser les creusets à vide et ensuite avec la terre pour obtenir la masse de terre ;
- Mettre les creusets contenant la terre à l'étuve à 105°C durant quatre (4) heures pour éliminer la masse de l'eau des terres ;
- Une fois refroidis, peser l'ensemble au dessiccateur puis replacer le tout au four à 900°C pendant 4 heures et laisser stabiliser pendant 3heures ;
- Peser de nouveau les creusets avec la cendre

➤ Méthodes de calcul :

$$\text{Taux d'humidité } W = \frac{(m2 - m3)}{(m2 - m1)} * 100$$

Ou :  $m_1$  = masse du récipient à vide (g),  $m_2$  = masse du récipient + échantillon avant séchage (g)  
 $m_3$  = masse du récipient + échantillon après séchage (g)

Taux de cendres B :  $B = \frac{A \cdot 100}{(100 + W)}$ , avec  $A = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} * 100$

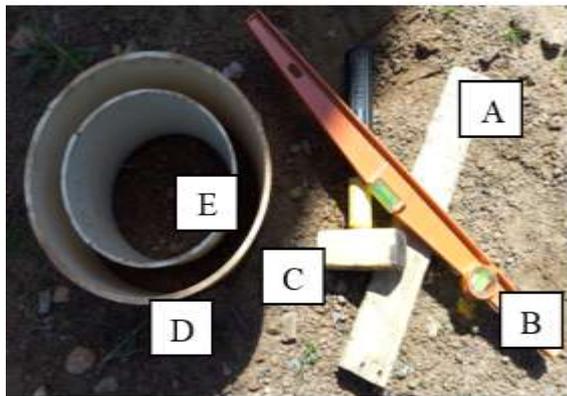
Taux de matière organique (%) = 100 - Taux de cendres (%)

#### **IV.3.2. Essais d'infiltration par le principe du double anneau de Muntz**

Le principe de la méthode de Muntz (Colombani, & Thiebaut, 1972) également appelé double-anneaux, consiste à mesurer l'évolution de l'infiltration au cours du temps d'une lame d'eau sous charge constante, s'infiltrant verticalement dans le sol (Garnier, 1990)

Les matériels utilisés pour faire les mesures sont : le double anneau, une planchette, un marteau, un niveau, une règle, un sceau et un chronomètre. Les deux anneaux sont de diamètres respectifs 16mm et 21mm. Ils sont disposés de façon concentrique sur le sol, puis enfoncés de 5 cm dans le sol en utilisant la planchette et le marteau ces éléments sont illustrés sur la figure 3 ci-dessous. L'enfoncement est réalisé de façon lente et régulière pour éviter de perturber le sol au voisinage des anneaux. Les deux anneaux doivent être au même niveau et leur alignement horizontal est contrôlé à l'aide du niveau à bulle. L'anneau extérieur est appelé « anneau de garde » et a pour fonction de garantir une infiltration verticale dans l'anneau central. Le principe du double anneau est de suivre l'évolution du niveau d'eau en fonction du temps dans l'anneau interne pour connaître la vitesse d'infiltration sur chaque pas de temps. Les mesures sont arrêtées lorsque la vitesse d'infiltration se stabilise (Keita, 2009).

Les mesures ont été faites sur les neuf (09) lysimètres et des calculs statistiques ont été faits pour vérifier l'homogénéité des sols. Les analyses statistiques des données et la génération des courbes d'infiltration ont été faites à l'aide des logiciels Minitab et Spaw.



A : Planchette
B : Niveau
C : Marteau
D : anneau externe de diamètre 21 mm
E : anneau interne de diamètre 16 mm

Figure 4 : Matérielles du double anneau pour les essais d'infiltrations Cette image montre les outils utilisés pour l'expérience du double anneau

Les analyses statistiques commencent d'abord par chercher le meilleur modèle de régression, avec des paramètres physiques ayant un sens physique réel (Keita et al, 2014). Le choix s'est fait entre deux modèles de régression non-linéaire à savoir : l'équation quadratique et l'équation exponentielle (exponentiel one-phase decay).

$$I_t = B_0 + B_1 t + B_2 t^2 \text{ (Équation quadratique)}$$

$$I_t = (Y_0 - P t) \exp(-k t) + p t \text{ (Équation exponentielle)}$$

Avec :  $B_0$  (mm/h),  $B_1$  (mm/h<sup>2</sup>),  $B_2$  (mm/h<sup>3</sup>) coefficients de l'équation quadratique ;  $t$  (h) est le temps,  $I_t$  (mm/h) est l'infiltration à l'instant  $t$  ;  $Y_0$  (mm/h),  $P t$  (mm/h) et  $(h-1)$  sont les coefficients de l'équation exponentielle.

L'insertion de la valeur de  $K_{sat}$  obtenue à travers les essais d'infiltrations et le taux de matières organiques dans le logiciel Soil Water Characteristics donne le type de sol et les humidités caractéristiques.

#### IV.3.3. Détermination de la RU

Il est important de satisfaire la demande en eau des cultures selon les espèces et le stade végétatif de la culture. L'eau est un facteur limitant que ce soit par excès ou par manque (Euskal, 2011). C'est un facteur de production qui permet d'économiser tout le reste (fertilisant, semences, etc.). Des cultures correctement irriguées offrent de meilleurs rendements (Exemple de la courgette : rendement 3 fois supérieure) ; à l'inverse si la plante ne reçoit pas assez d'eau le calibre et le rendement seront limités.

La Réserve Utile du sol (RU) correspond à la capacité de rétention du sol c'est-à-dire au volume d'eau que le sol peut absorber, elle dépend donc directement de la nature du sol et est exprimée en

mm. La réserve utile RU dépend des humidités à la capacité au champ  $\theta_{FC}$  et au point de flétrissement  $\theta_{WP}$  (Keïta , 2015). Elle se calcule par la formule suivante :

$$RU = \theta_{FC} - \theta_{WP}$$

Avec :

$\theta_{FC}$ : L'humidité à la capacité au champ en %

$\theta_{WP}$  : L'humidité au point de flétrissement en %

#### IV.4. ETUDE DU SUIVI DE L'EAU

Pour ce qui est du suivi de l'eau, les études ont été menées sur plusieurs fronts en vue de l'établissement de ETM journalier à base de l'équation du bilan hydrique quotidien. Pour ce faire il a été mesuré simultanément sur les lysimètres l'irrigation et ou la pluie (apport d'eau), et la percolation profonde (drainage).

La figure 4 présente le dispositif mis en place c'est-à-dire les 09 lysimètres en béton équipés de tubes de drainage de surface et souterrain. Ces lysimètres sont nommés comme suite : L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9.

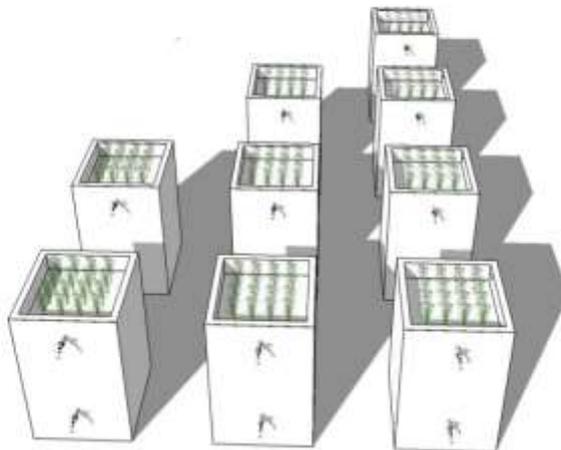


Figure 5: Dispositif expérimental composé de 09 Lysimètres

La planche 5 ci-dessous présente les petits outillages de prise de mesures dans les lysimètres. Un tube flexible et un entonnoir au milieu du lysimètre pour recueillir la lame d'eau lors des pluies (le ruissellement). Deux robinets à 20cm et à 120 cm respectivement pour recueillir ces eaux de ruissellement avec un bidon de 5 litres et les eaux de percolation profonde avec des bidons de 20 litres. L'évapotranspiration maximale ETM a été donc calculée par l'équation du bilan hydrique.

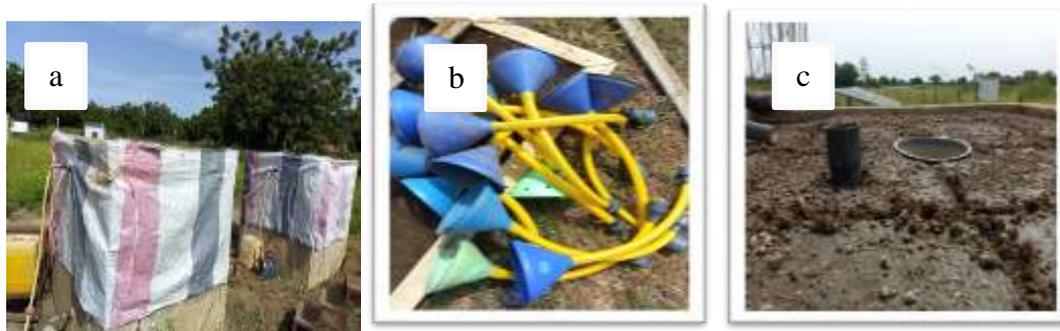


Planche 5: a lysimètre 8 enveloppé de sac pour atténuer l'effet du soleil, b : photos montrant les entonnoirs et les tuyaux flexibles pour recueillir les eaux de ruissèlement lors de la pluie dans les lysimètres, c : disposition dans le lysimètre. Ces eaux sont collectées et mesurées à l'aide d'un bidon de 5 litres.

➤ Bilan hydrique

D'après Hamma (2014), ETM est la valeur maximum de l'évapotranspiration réelle. Elle correspond à la valeur de l'évaporation du sol et de la transpiration de la plante mise dans les bonnes conditions d'alimentation hydrique, climatique et en bon état sanitaire. Cette valeur de ETM correspond également aux besoins en eau de la plante. Sa connaissance précise est indispensable pour le suivi des bilans hydriques de la surface et des cultures (à des fins variées telles que la gestion de l'irrigation ou la prévision de la production par exemple).

L'équation du bilan hydrique utilisée dans le calcul de l'ETM se présente comme suit : Pluie+ Irrigation =Ruissellement+ Drainage+ ETM+ Variation de Stock

Equation 2: Equation du bilan hydrique

$$P + I = R + ETR + D + \Delta s$$

Avec : P : La pluie, I : L'irrigation : Le ruissellement ETR: L'évapotranspiration de référence ; drainage,  $\Delta S$  ; Variation de stock .L'irrigation apportée à la plante tous les deux jours est ramenée toujours au même niveau et l'humidité du sol est vérifiée dans un piézomètre installé dans les lysimètres. Cependant une variation de stock a été pris en compte dans le bilan.

Compte tenu du fait que les plantes couvrent une portion du sol, un facteur de réduction de la couverture végétale ( $K_r$ ) est introduit.

Ainsi,  $ETM_{Loc} = K_r * ETM$  (Keita, 2009)

Avec,  $K_r = 0.1\sqrt{GC\%}$  (Keller & Bliesner, 1990)

Equation 3 : Formule d'Evapotranspiration maximale

$$ETM_{Loc} = K_r * ETM = K_c * ET_0$$

#### IV.5. PARAMETRES LIES A LA BIOMASSE

Les graines de *H. sabdariffa* sont semées dans un gerموir à ciel ouvert dans de la terre le jeudi 28 septembre 2017 comme le présente la figure 4. Elles ont poussé trois jours plus tard soit le 30 septembre avec une taille de 1cm environ. Elles ont été repiquées dans les lysimètres après cinq jours.



Figure 6 : Germination des graines de *H. Sabdariffa*

##### IV.5.1. Démariages

Le démariage est nécessaire quel que soit le mode de semis. Il a consisté à laisser deux ou trois plantes par poquet. (Goule et al, 2012). L'espacement entre les plantes dans le lysimètre est de **33.3cmx33.3cm** dans le sens de la longueur et de la largeur.

##### IV.5.2. Estimation du taux de germination

Le suivi de la germination a consisté à relever tous les deux jours, le nombre de semences ayant germées par répétition. Le pourcentage final de germination a été calculé en utilisant la formule suivante (ISTA, 2015)

$$G\% = \frac{\text{Total de semence germées}}{\text{Total de semences semées}}$$

##### IV.5.3. Suivi des paramètres de croissances de la plante

Le suivi de la croissance des plantes est effectué par pas de temps régulier en fonction des paramètres à mesurer une fois par semaine pour les paramètres comme la hauteur totale de la tige, le diamètre au collet, le nombre de feuilles par branches, le nombre de branches, et la couverture végétale. Quant à la profondeur d'enracinement elle est mesurée par pas de 20 jours pour des raisons écologiques. En effet pour mesurer la profondeur d'enracinement, on déterre la plante dans la terre précédemment humidifiée en évitant de couper les racines. On mesure alors avec le décimètre la partie racinaire déterrée.

#### **IV.5.4. Poids humides / sèche de la biomasse et Teneur en eau des graines**

L'objectif de ce test est de déterminer le niveau de séchage/déshydratation des graines avant leur utilisation. Après la récolte, les capsules qui ont été séchées à l'ombre ont éclos après 8 jours. La teneur des graines est mesurée à l'aide d'un appareil permettant de mesurer la teneur en eau et la température des graines ; le GREAN TESTEUR.

#### **IV.6. Traitement et analyse statistique des données**

Le tableur Microsoft Excel 2013 a servi pour la saisie des données, pour les différents calculs et pour l'élaboration des tableaux et graphiques. Les courbes et les graphiques ont été générés avec les moyennes par bassins et par paramètres mesurés avec un intervalle de confiance à 95%.

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) les tests de ANOVA (paramétrique) pour chaque attribut de croissance ont été appliqués.

#### **IV.7. Détermination de KC**

Le coefficient cultural notés KC, représentent les effets combinés de la disponibilité de l'eau dans le sol et des conditions morphologiques et physiologiques de la plante. Il représente le paramètre clé dans la détermination du besoin en eau de la plante et sont évalués en effectuant le rapport de l'évapo transpiration réelle ETR (ETM dans le cas de cette étude) sur L'évapotranspiration de référence ET0 résultant des mesures effectuées durant l'expérimentation.

*Équation 4 : Formule du coefficient cultural Kc*

$$KC = \frac{ETM}{ET0}$$

Les coefficients culturaux ne sont calculés que pour les valeurs mesurées de L'évapotranspiration réelle, c'est-à-dire l'ETM (Bilan).

## V. RESULTATS ET DISCUSSIONS

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 plan.

### V.1. Evapotranspiration de référence ET<sub>0</sub>

Dans le cadre de nos expérimentations, les résultats obtenus avec la station météorologique Wacthdog sur le site expérimental de Kamboinsé sont résumés dans le tableau i ci-dessous. Les mesures s'étendent du mois d'octobre 2017 à janvier 2018.

*Tableau i : Valeurs de l'ET<sub>0</sub>- Station météo Kamboinsé K4 (Année 2017-2018)*

Mois	Octobre			Novembre			Decembre			Janvier
<b>Début</b>	06/10	10/10	21/10	31/10	10/11	29/11	10/12	21/12	30/12	10/01
<b>Fin</b>	09/10	20/10	31/10	10/11	20/11	10/12	21/12	30/12	10/01	16/01
<b>ET<sub>0</sub>(mm·jr<sup>-1</sup>)</b>	4,7	4,7	4,0	3,8	3,0	3,7	3,5	3,6	3,5	3,5
<b>Ecart type</b>	0,8	0,2	1,0	0,4	0,9	0,5	0,9	0,0	0,0	0,1
<b>95% Conf. Interval</b>	0,66	0,20	0,81	0,37	0,78	0,45	0,77	0,03	0,04	0,12

Le climat est l'un des facteurs qui influent le plus sur le volume d'eau que la culture perd par évapotranspiration selon (Doorenbos and Pruitt, 1975) C'est un des paramètres clé entrant dans la détermination du coefficient cultural (Kc).

Les valeurs de l'évapotranspiration de référence ET<sub>0</sub> déterminées sont pour le mois d'octobre  $4.4 \pm 0.30$  mm/jr, le mois de novembre  $3.50 \pm 0.30$  mm/jr, le mois de décembre  $3.60 \pm 0.30$  mm/jr, et le mois de janvier  $3.5 \pm 0.05$  mm/jr.

*Tableau ii: Comparaison ET0 (Station Ouagadougou et Station Kamboinsé)*

Mois	ET0 Station de Ouagadougou-Aéroport mm/jr	ET0 Station de Kamboinsin mm/jr	Différence
Octobre	5,5	4,4	1,1
Novembre	5,6	3,5	2,1
Décembre	5,8	3,6	2,2
Janvier	5,8	3,5	2,3

Les valeurs de ET0 de la station météo de Ouagadougou-aéroport correspondent à peu près à celles de Kamboinsé avec des différences de l'ordre de 1,1 mm/jr pour le mois d'octobre ; 2.1 mm/jr pour le mois de novembre 2.2 mm/jr pour le mois de décembre et 2.3 pour le mois de janvier.

Ces différences ramenées sur les valeurs de ET0 de la station de Ouagadougou donnent en moyenne un écart relatif de **0,30%**. Cet écart étant inférieur à **1%** c'est-à-dire négligeable alors les valeurs de ET0 sont approximativement proches les unes des autres.

## **V.2. Infiltration du Sol**

La collecte des données d'infiltration a été suivie par les analyses statistiques afin de tirer des conclusions valides sur la perméabilité du sol dans les lysimètres.

Contrairement au modèle quadratique (Keita et al, 2014), les coefficients du modèle exponentiel ont des sens physiques réels. Tout au plus, la fonction quadratique admet un extremum correspondant au point où la première dérivée est nulle. Il n'y a pas de limite à cette fonction lorsque le temps tend vers l'infini, et au temps zéro nous avons la valeur B0 qui n'a aucun sens physique. Par contre, tous les paramètres du modèle exponentiel ont un sens dans l'écoulement de l'eau dans le sol, ce qui a conduit à son choix dans cette étude. Au début des mesures,  $t=0$ , l'infiltration correspond à sa plus grande valeur qui est Y0. Sa valeur diminue progressivement pour atteindre le Plateau lorsque le temps  $t$  tend vers l'infini. Par définition, le plateau est une zone où une fonction mathématique est stationnaire, ni croissante, ni décroissante. Il correspond à la partie basse de la courbe d'infiltration. Dans l'équation exponentielle, il représente la perméabilité du sol, qui est la valeur recherchée par cette investigation.

Les résultats de la conductivité hydraulique sont consignés dans le tableau iii. Le coefficient de variation  $Cv < 10\%$  montre que les lysimètres sont homogènes avec en moyenne une valeur de  $22.7 \pm 2.0$  mm/hr de la conductivité hydraulique à saturation ( $K_{sat}$ ).

Tableau iii ; Résultats des valeurs de la Matière Organique (MO%) et la Conductivité Hydraulique à saturation ( $K_{sat}$  mm/h) des 09 lysimètres.

Lysimetre	MO (%)	$K_{sat}$ (mm/h)
L1	8,0	21,3
L2	10,0	23,8
L3	8,1	24,5
L4	8,2	18,1
L5	7,9	22,7
L6	8,1	23,1
L7	8,0	23,9
L8	7,9	23,8
L9	6,9	22,7
<b>Moyenne</b>	<b>8,1</b>	<b>22,7</b>
<b>Ecart-type <math>\sigma</math></b>	<b>0,8</b>	<b>2,0</b>
<b>Coef. de Var.</b>	<b>9,9%</b>	<b>8,7%</b>

Selon les résultats présentés dans le tableau iii ci-dessous, le taux de matières organiques apporté au sol dans les lysimètres est en moyenne de  $8.1\% \pm 0.8$ . Ce résultat explique la fertilité du sol. En effet, la matière organique est une source de vie microbienne assurant la fonction biologique du sol pour une meilleure fertilité. Il permet de relancer l'activité biologique en favorisant l'apparition de la faune du sol dont le rôle sur l'amélioration de la structure et de l'infiltration (Mietton, 1986; Mando, 1997). Les matières organiques améliorent la structure du sol, reconstitue son système poreux, améliorent sa capacité d'infiltration et de stockage de l'eau et des nutriments.

Les paramètres importants notamment l'humidité à la capacité au champ (thêta FC) et l'humidité au point de flétrissement (thêta WP) obtenus du traitement des données dans le logiciel Soil-Water-Characteristic sont définis dans le tableau 4 suivant :

Tableau iv : Caractéristique du sol

ksat( mm/jr)	22,71
$\theta_{WP}$ (%)	13,20
$\Theta_{FC}$ (%)	22,20

### V.2.1. Réserve utile (RU)

Par application de la formule avec les humidités caractéristiques déterminés, nous obtenons **RU = 9.00 (%)** Soit 9.00 cm/m ou 90mm/m

### V.2.2. Texture du sol

La connaissance de la conductivité hydraulique Ksat a permis d'identifier le type de sol et les différentes composantes qui la caractérisent (figure 7) à partir du logiciel Soil-water-characteristics. La figure 7 montre la texture du sol qui est de type limon-sableux. Il est composé de 14% de limon, 19% d'argile, et 67% de sable.

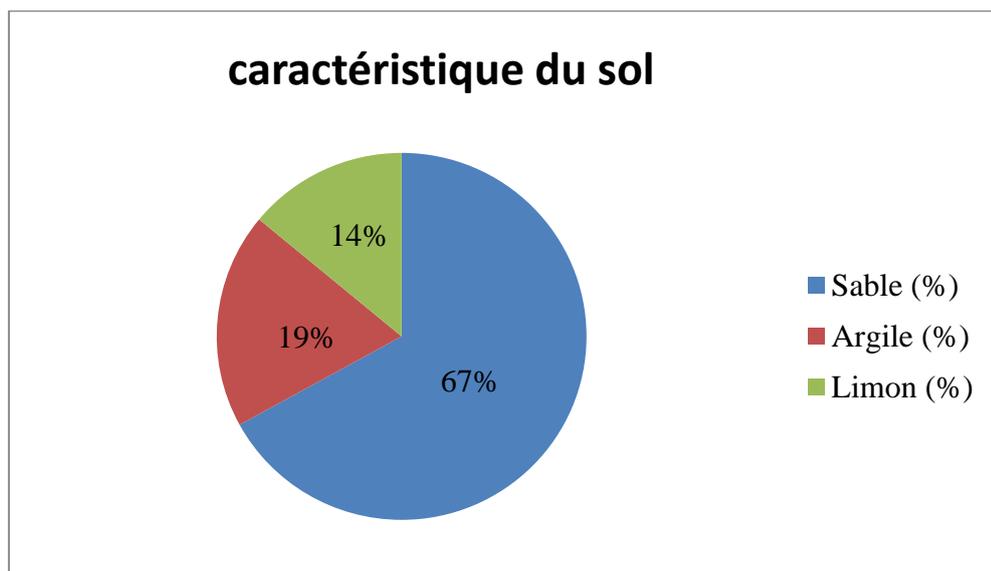


Figure 7 : Texture du sol

### **V.3. Evapotranspiration Maximal ETM**

Les résultats de l'évapotranspiration maximale ETM issue du bilan hydrique sont consignés dans le tableau v ci-dessous.

## Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de *H. sabdariffa*

Tableau v : Résultat des mesures de ETM par décade dans les neufs lysimètres

Décades	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
Dates	06/10-09/10	10/10-20/10	21/10-31/10	31/10-10/11	10/11-20/11	20/11-29/11	29/11-10/12	10/12-21/12	21/12-30/12	30/12-10/01	10/01-16/01
<b>L1</b>	3,7	4,4	6,8	8,8	11,6	13,4	8,9	10,2	9,4	11,5	11,1
<b>L2</b>	3,4	4,7	6,4	9,0	11,4	14,1	10,2	8,5	10,3	13,1	12,3
<b>L3</b>	4,1	4,7	7,2	9,0	11,2	14,9	10,2	9,2	11,6	11,6	12,3
<b>L4</b>	3,9	4,4	7,1	9,4	11,7	16,0	11,3	10,6	10,1	13,4	11,8
<b>L5</b>	4,3	4,5	7,2	8,6	12,4	15,4	10,8	9,5	11,4	12,3	11,1
<b>L6</b>	4,4	4,4	7,0	8,0	11,6	15,2	11,0	11,2	12,2	12,3	12,0
<b>L7</b>	4,4	4,9	7,1	9,2	11,7	16,0	12,2	11,1	11,6	12,4	12,0
<b>L8</b>	4,3	4,7	6,8	9,1	12,0	15,4	10,6	9,1	9,0	12,6	11,8
<b>L9</b>	4,2	4,8	7,1	9,4	12,3	16,0	11,3	11,2	10,7	11,9	12,3
<b>Moy ETM (mm·jour<sup>-1</sup>)</b>	<b>4,1</b>	<b>4,6</b>	<b>7,0</b>	<b>8,9</b>	<b>11,8</b>	<b>15,1</b>	<b>10,7</b>	<b>10,1</b>	<b>10,7</b>	<b>12,4</b>	<b>11,8</b>
<b>Ecart-type s</b>	0,3	0,2	0,2	0,4	0,4	0,9	0,9	1,0	1,1	0,6	0,5
<b>Variance</b>	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,8	0,9	1,0	1,2	0,4	0,2
<b>95% IC</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>
<b>Coefde Var.</b>	<b>8,3%</b>	<b>4,0%</b>	<b>3,5%</b>	<b>4,8%</b>	<b>3,5%</b>	<b>5,8%</b>	<b>8,7%</b>	<b>10,0%</b>	<b>10,2%</b>	<b>5,1%</b>	<b>3,9%</b>

Le calcul de ETM a été évalué à partir du bilan hydrique durant tout le cycle sur un pas temps de 10 jours. Ainsi, 11 valeurs moyennes ont été obtenues depuis la phase initiale jusqu'à la phase de récolte. Les résultats obtenus traduisent bien le comportement et les besoins en eau de la plante à chaque stade végétatif. En effet au début, la plante n'a pas beaucoup de feuilles ce qui implique que ses besoins en eau sont faibles. En phase de croissance, les besoins en eau augmentent ; ce besoin, rechute à la récolte à cause de l'assèchement des feuilles de la plante (Foster, 1988). Dans notre cas particulièrement ETM baisse et remonte entre la phase de maturité et la phase de récolte. Cela s'explique par un stress hydrique provoqué volontairement pour suspendre le développement de nouveaux fruits afin de procéder à la récolte.

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.4. Paramètres Lies à la biomasse**

Le taux de germination dans le cas de notre étude sur une semence de 100 graines est de **71%**.

La figure 8 Présente quatre (04) pieds de *H. sabdariffa* en phase de récolte dans le lysimètre. On observe un développement saisissant des branches et des fruits de couleurs rouge pourpre. Le *H. sabdariffa* est une plante qui se développe dans les régions tropicales sur un sol bien drainé.



Figure 8 : Photo du lysimètre 3 montrant quatre (04) pieds de *H. sabdariffa* durant la floraison

Durant son évolution, les changements physique lié aux différents attributs (hauteur de la tige, feuilles, branche, diamètre, fleurs etc...) ont permis d'identifier les différents stades de développement du *H. sabdariffa*.

#### V.4.1. Stade végétatifs

Le suivi de la croissance du *H. sabdariffa* s'étalant du 30 septembre 2017 au 20 janvier 2018, soit une durée totale de 112 jours de croissance dans les conditions optimum d'humidité et avec un taux de compost de 8%. Le découpage du cycle végétatif a été en fonction des changements observé sur la plante (nombre de branches, nombre de feuilles, apparition des fleurs et jaunissement des feuilles). Les résultats sont représentés dans le tableau vi.

*Tableau vi ; Découpage du cycle végétatif*

Stade	Durée ( jours)
Initial	30
Développement	37
Mi-saison	21
Fin de saison	22

La phase initiale dure 30 jours, la phase de développement 37 jours et de mi-saison 21 jours et 22 jours pour la phase de récolte. Le *H. sabdariffa* est cultivé en période d'hivernage sur un cycle de 120 à 165 jours. En effet, nos résultats seraient dus à l'entretien, l'irrigation apportée à la plante et aussi au sol riche en matières organiques.

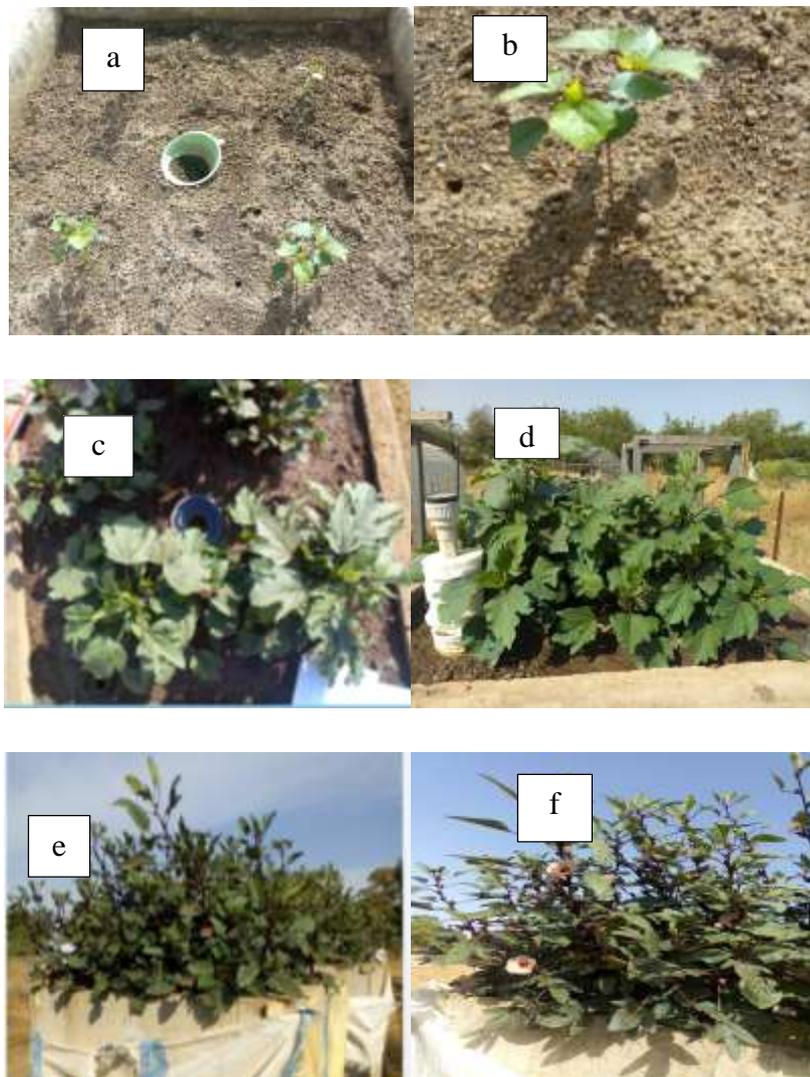
#### **V.4.2. Couverture végétale**

La couverture végétale (GC) représente le pourcentage de l'ensemble de végétaux recouvrant le sol de manière permanente ou temporaire. Il a été mesuré aux différents stades végétatifs de la plante à l'aide des mesures de la longueur et la largeur de la superficie recouverte par le feuillage; les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 10 suivant.

*Tableau vii ; Couverture Végétale(%)*

Stages	Initial	Development	Mi-saison	de saison
<b>Periode</b>	30/09-29/10	30/10-05/12	06/12-26/12	'12-16/01
<b>Durée (days)</b>	30	37	21	22
<b>Moyenne GC(%)</b>	5,0	20,7	31,5	20,7
<b>Moyenne Kr</b>	0,2	0,5	0,6	0,5

La planche 6 ; Montre à travers les photos a,b,c,d,e et f l'évolution du *H. sabdariffa* durant le cycle végétatif



*Planche 6 : Les photos a et b du H. sabdariffa en phase initial, Photo c et d, en phase de développement, Photo e et f, en phase de maturité*

#### **V.4.3. Hauteur de tige**

Les mesures des hauteurs de tige s'étendent du 04 octobre 2017 c'est-à-dire quatre JAS au 02 janvier 2018.

La figure 9 montre l'évolution de la hauteur de tige du *H. sabdariffa*. Neuf (09) mesures ont été enregistrées durant le cycle végétatif. La valeur de la hauteur des tiges moyenne en fin de cycle est de  $123 \pm 6.91$  cm.

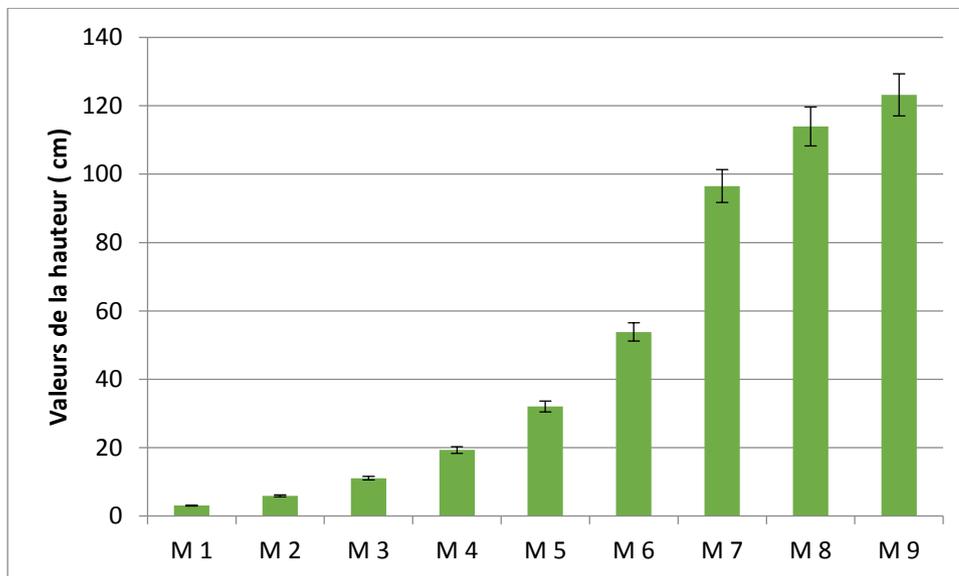


Figure 9: Evolution de la hauteur de tige du *H. sabdariffa* dans le temps

Légende : M = mesures

L'allure du graphique qui est croissante montre qu'au fur et à mesure que la plante croît, sa hauteur augmente également.

#### V.4.4. Variable diamètre au collet

À raison de la très petite taille des plantules, et pour ne pas risquer de les blesser voire couper avec le pied à coulisse, pour ce paramètre, les mesures ont commencé le 23 octobre 2017 soit 24 JAS (jours après semis).

La figure 10 montre l'évolution du diamètre au collet du *H. sabdariffa* durant le cycle végétatif. Huit (08) mesures ont été enregistrées durant le cycle de végétatif. La valeur de diamètre au collet moyen en fin de cycle est de  $2,9 \pm 0,14$  cm.

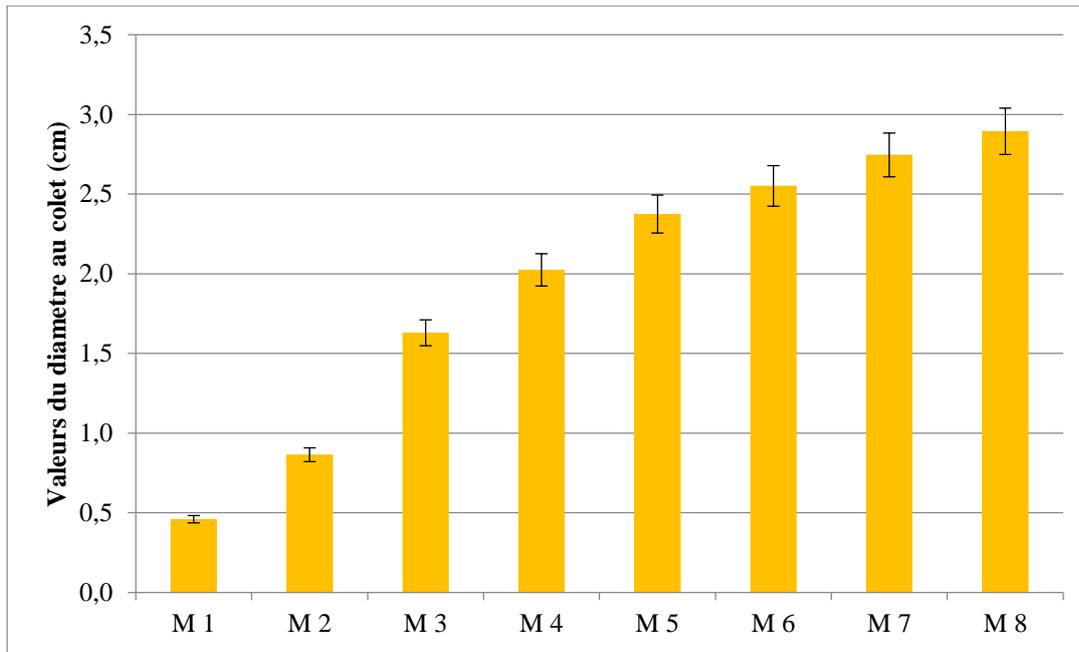


Figure 10 ; Diagramme en bâtonnet du diamètre au collet en fonction du temps

Légende : M = mesures

L'allure du graphique qui est croissante montre qu'au fur et à mesure que la plante croît, son diamètre au collet augmente également

#### V.4.5. Nombre de branches par tige

Les premières branches ont été observées à partir du six (6) JAS. On remarque une croissance remarquable de cette variable dans les neuf (09) lysimètres. Mais à partir de la mesure (6), elle se stabilise. La constance du nombre de branche montre que la plante a atteint sa maturité et donc les branches ne se multiplient plus.

La figure 11 montre le détail des résultats des mesures du nombre de branche par plan du *H. sabdariffa* des neuf (09) lysimètres.

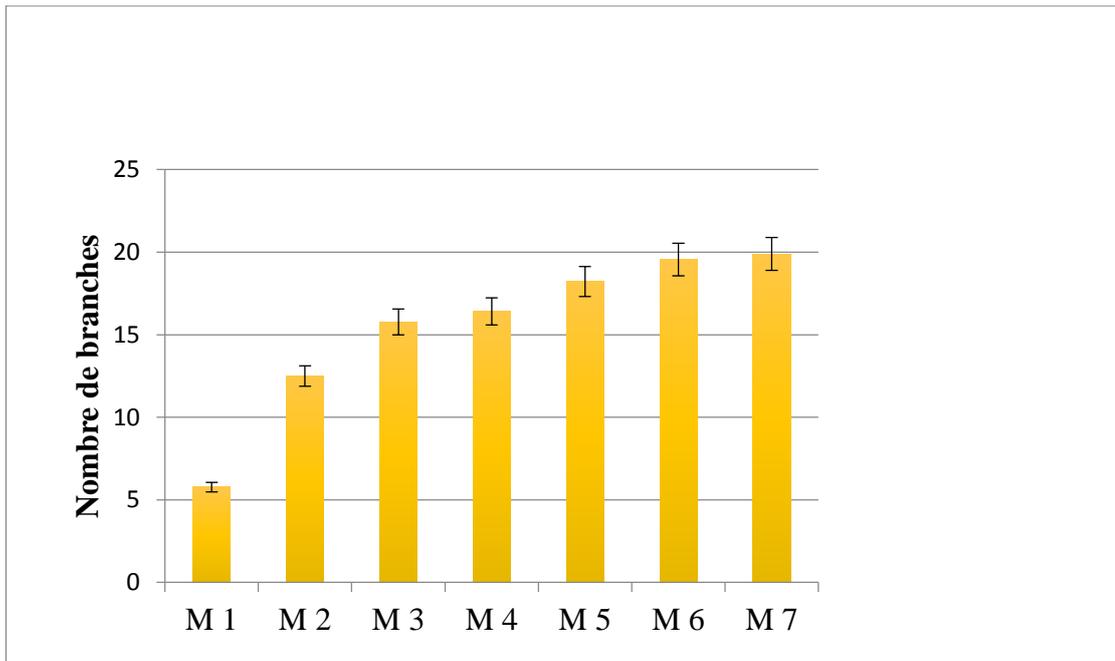


Figure 11 : Résultats, sous forme de diagramme en bâtonnet des mesures du nombre de branche par plan du *h sabdariffa* des 9 lysimètres.

Légende : M = mesures

Au total sept (07) mesures ont été prises et la valeur moyenne du nombre de branche par plante du *H. sabdariffa* est de  $20 \pm 1.06$  cm en fin de cycle.

#### V.4.6. Nombre de feuilles par branches

La figure 12, montre l'évolution des valeurs du nombre de feuilles par moyen du *H. sabdariffa* dans les neufs (09) lysimètres.

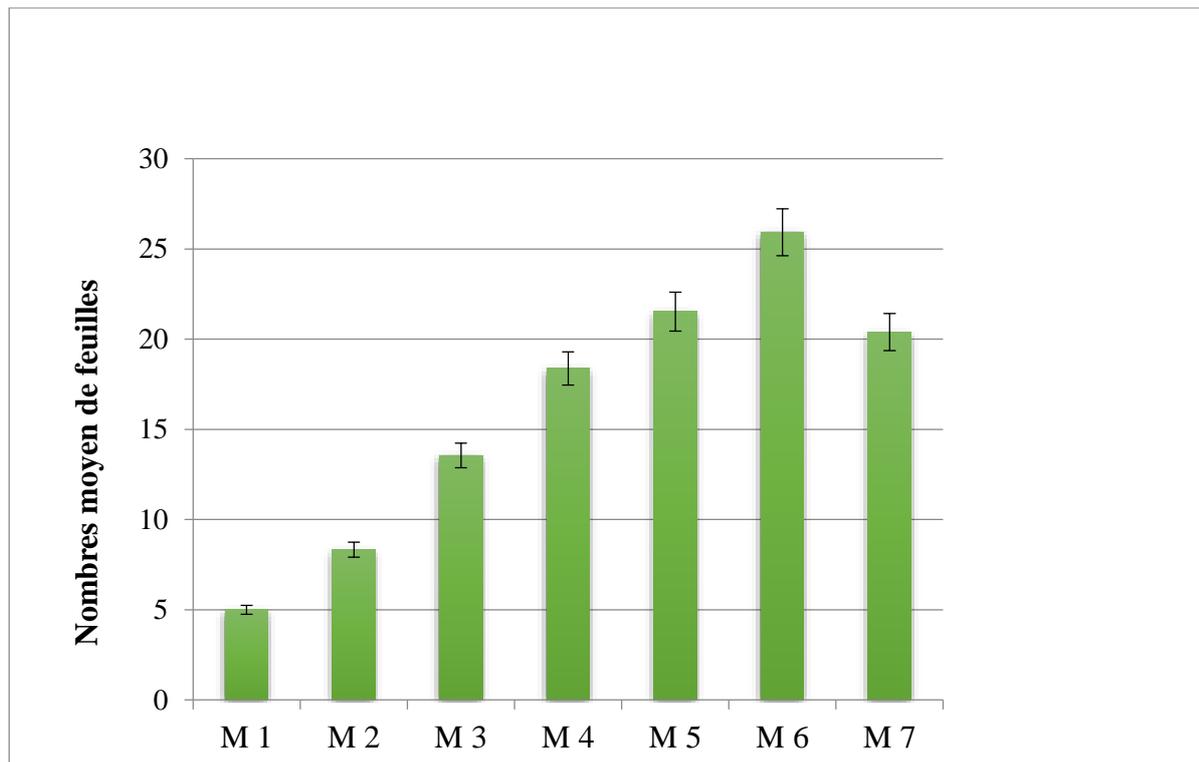


Figure 12 : Valeurs, sous forme de diagramme en bâtonnet du nombre de feuilles par moyen. *Sabdariffa* dans les neufs lysimètres.

Légende : M = mesures

Nous constatons comme pour les autres paramètres, que la courbe a une allure croissante. Elle est évolutive dans le temps. On remarque cependant que contrairement aux autres variables (hauteur, diamètre au collet et nombre de branches), le nombre de feuilles croît avec le temps mais à partir de la mesure neuf (6), elle baisse en nombre. Cette diminution s'explique par le jaunissement et la chute de ces dernières. En effet ces signes montrent que les plantes ont atteint la maturité et on note à ce stade l'apparition de jeunes fruits. La valeur moyenne de feuille par branche est de  $20 \pm 1.67$  après sept (07) mesures.

#### V.4.7. Profondeur d'enracinement

La profondeur d'enracinement du *H. sabdariffa* a été mesurée à chaque phase du cycle végétatif. Les résultats obtenus sont basés sur la mesure d'un seul groupe de plante (groupe de deux plantes) dans un bac hors lysimètre. En effet, le suivi de l'évolution de la profondeur d'enracinement s'étale depuis la phase initiale jusqu'à la récolte. Comme le montre la figure 13, elle évolue d'une profondeur de  $8.0 \pm 0.93$  cm à environ  $56.2 \pm 1.57$  cm à la récolte. *H. sabdariffa* est de type pivotant, assez ramifié, avec une profondeur pouvant atteindre 30 cm à 1 m ; ce qui lui confère une résistance aux poches de sécheresse prolongée.

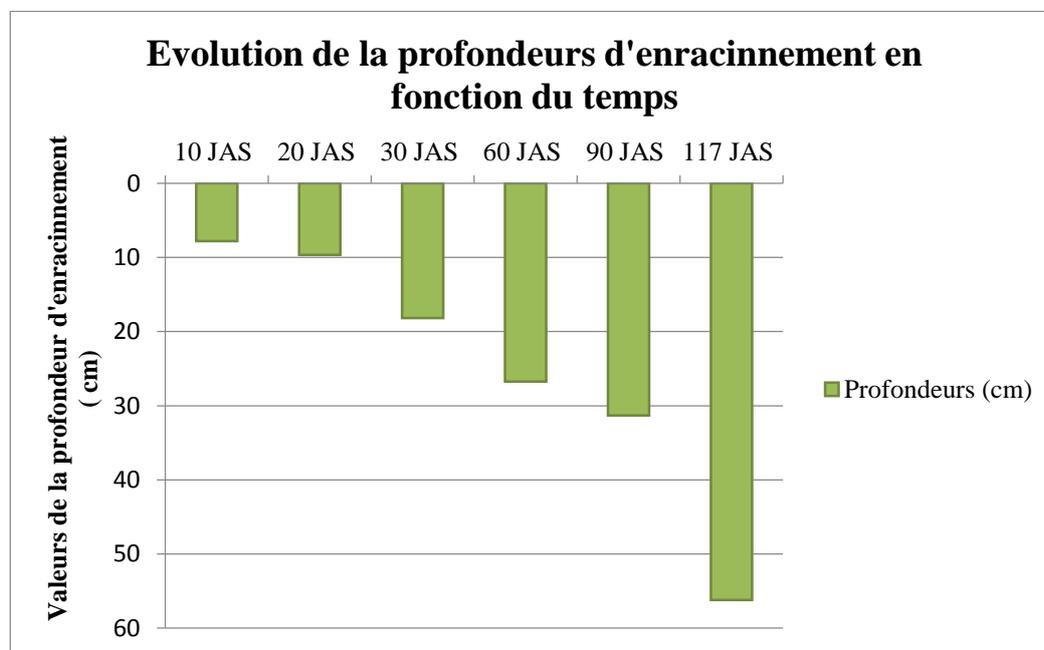


Figure 13 : Evolution de la profondeur d'enracinement du *H. sabdariffa* en fonction du temps

Les racines contribuent en particulier aux équilibres hormonaux qui contrôlent la croissance et le fonctionnement de la plante. Elle permet la fixation du végétal dans le sol tout en assurant son alimentation en eau et en sels minéraux. 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 , 1976) . Par conséquent, la profondeur racinaire est fonction de la culture et varie en fonction du sol.

#### V.4.8. Biomasse humide et sèche a la récolte

A la récolte, le poids de la biomasse humide des fruits du *H. sabdariffa* a été mesuré. Après la récolte ils ont a été séché à l'ombre pendant cinq (5) jours et la biomasse sèche a été mesurée à son tour. Les résultats de ces mesures sont présentés dans la figure 14.

Avec la figure 14. On peut bien voir la différence entre les valeurs de la biomasse sèche et humide.

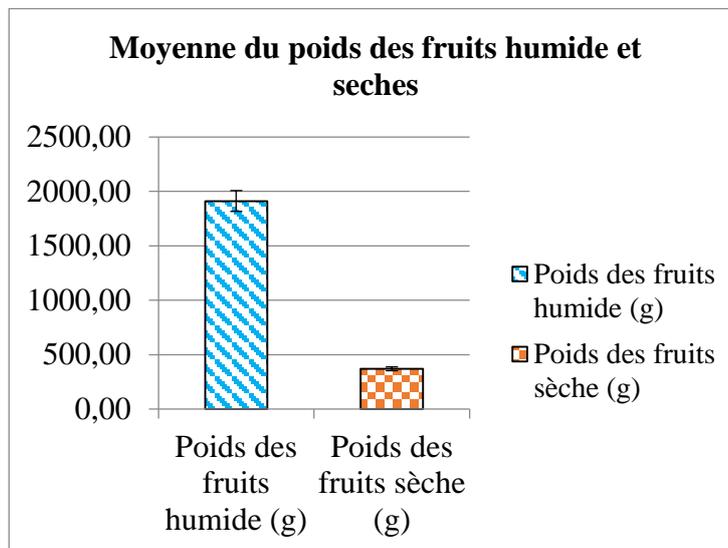


Figure14 : Valeurs massique de la biomasse humide et séché

La quantité de biomasse humide est de  $1910.19 \pm 333.70$  g et celle de la biomasse sèche est de  $369.54 \pm 56.08$  g.

#### V.4.9. Poids de 1000 graines et teneur en eau du *H. sabdariffa*

Les mesures sont faites sur deux échantillons de 1000 graines chacun. Les résultats sont consignés dans le tableau x.

Tableau viii ; La valeur moyenne de 1000 graines de *H. sabdariffa* est de 31 ,65 g.

<b>Poids de 1000 graines (g)</b>	
Echantillon 1	32.07
Echantillon 2	31.23
Moyenne	<b>31,65</b>
Ecart-type (%)	0,59

L'objectif de ce test est de déterminer le niveau de séchage/déshydratation des graines avant leur utilisation. Après la récolte les capsules qui ont été séchées à l'ombre ont éclos après huit (8) jours. La teneur en eau des graines mesurée avec 200g de graines est de de 2.6%

#### **V.4.10. Teste statistique sur les paramètres de croissances du *H. sabdariffa***

Le test statistique d'ANOVA sur les attributs de croissance utilisé est celui de la comparaison des moyennes, et il est défini comme suite

En formulant comme hypothèses :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Le seuil de signification est fixé à 0,05. Le test donne les résultats dans le tableau 11 suivant.

*Tableau ix ; Résultat du test d'ANOVA sur les différents lysimètres*

---

Paramètres de croissance	Hauteur de la tige	Diamètre au collet	Nombre de branches	Nombre de feuilles par branches
P-value	0.999	0.990	0.788	0.902
Hypothèses retenues	H0	H0	H0	H0

---

Nous remarquons que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil  $\alpha=0,05$  pour la hauteur verticale, le diamètre au collet, le nombre de branches et le

nombre de feuilles par branches. Dans notre cas d'étude nous, pouvons donc conclure qu'il n'existe pas de différence significative entre les différents lysimètres.

## **VI. LE COEFFICIENT CULTURAL KC**

Les stades de croissance ont été définis comme suit (Doorenbos, and Pruitt, 1975) ;i) Initial: de la plantation à une couverture végétale de 10% de la couverture du sol du feuillage; ii) Développement des cultures: de la couverture végétale 10% au maximum de la couverture végétale GCmax (pas nécessairement 100%); iii) mi-saison (maturation): de la couverture maximale du sol GCmax à l'apparition du début du jaunissement et de la chute des feuilles et; iv) fin de saison : du début du jaunissement des feuilles à la récolte. L'expérience implémentait ces observations visuelles dans les neuf lysimètres.

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

*Tableau x ; Valeurs de KC, GC et Kr en fonction du cycle végétatif (%)*

<b>Stages</b>	<b>Initial</b>	<b>Developement</b>	<b>Mi-saison</b>	<b>Fin de saison</b>
<b>Periode</b>	30/09-29/10	30/10-05/12	06/12-26/12	27/12-16/01
<b>Durée (days)</b>	30	37	21	22
<b>Moyenne GC(%)</b>	5,0	20,7	31,5	20,7
<b>Moyenne Kr</b>	0,2	0,5	0,6	0,5
<b>Moyenne Kc(%)</b>	<b>0,3</b>	<b>1,0</b>	<b>1,7</b>	<b>1,5</b>
<b>Ecart-type Kc</b>	0,2	1,3	0,6	0,5
<b>95% Conf. Interval</b>	0,03	0,14	0,09	0,05

Le coefficient cultural (Kc) de la phase initiale est de  $0,3 \pm 0,03$  et de la phase de développement à une valeur de  $1 \pm 0,14$ . Pour la phase de maturité (mi saison) et celle de la récolte, nous avons respectivement,  $1,7 \pm 0,09$  et  $1,5 \pm 0,05$ . Selon Boraie and Gaber (2009) cité dans (HIEN, 2012) , pour un cycle de 90 jours le kc de *H. sabdariffa* au Stade initial est de 0,35 , au stade de développement de 0,68 , au stade de mi- croissance de 1,06 et au stade fin croissance réajusté de 0,53. Nous pouvons retenir qu'il n'existe pas de différence significative entre ces valeurs de kc car l'écart relatif est en moyenne 0.70 % qui est inférieur à 1. Par ailleurs les valeurs que nous avons déterminées avoisinent celles d'autres cultures de la même nature. 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 & Heibloem, 1986).

En conclusion, nous pouvons dire que les facteurs qui influent sur la valeur de  $K_c$  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 (Benoit, 1998)

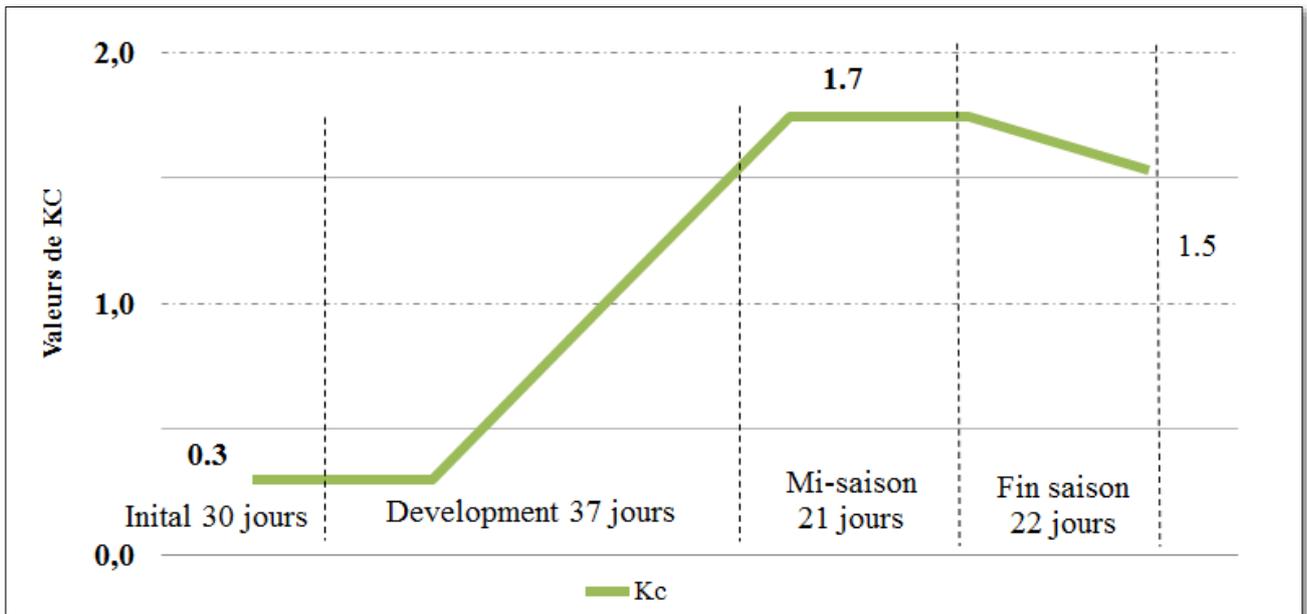


Figure 15 ; Courbe des valeurs de  $k_c$  en fonction du cycle végétatif

Le coefficient de culture  $K_c$  est sujet à des variations au cours des stades de croissance de la culture, dont la connaissance revêt une importance extrême. La courbe de variation de  $K_c$  est représentée par une courbe segmentée introduite initialement par (Doorenbos, and Pruitt, 1975) .Trois valeurs de  $K_c$  pour une culture cultivée dans des conditions standard (FAO,1998)correspondent à quatre segments de droite dans la période de croissance de la culture dans l'ordre suivant : horizontal au cours du stade initial ( $K_c$  est constant) ; ascendant au stade de développement de la culture ( $K_c$  augmente), horizontal à nouveau à la mi-saison ( $K_c$  est constant) et décroissant à la fin de la saison ( $K_c$  diminue). Par conséquent, en pratique, seules trois valeurs de  $K_c$  sont déterminées: les valeurs constantes à la saison initiale et intermédiaire et la valeur finale à la fin de la saison tardive

## VII. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les investigations menées sur le site de 2iE Kamboinsé avaient pour objectifs de déterminer le coefficient cultural  $K_c$  et les paramètres de croissance de la biomasse du *H. sabdariffa*. Il s'agit d'une plante tropicale dont le cycle végétatif de 112 jours. Les coefficients culturaux obtenus sont identifiés pour chaque phase. La phase initiale a un coefficient cultural de  $0,3 \pm 0,03$  et la phase de développement a une valeur de  $1,0 \pm 0,14$ . Pour ce qui est de la phase de mi-saison et celle de la récolte, nous avons respectivement,  $1,7 \pm 0,09$  et  $1,5 \pm 0,05$ . *H. sabdariffa* est une plante hivernale qui se développe dans un sol bien irrigué et riche en matières organiques. La hauteur verticale moyenne *H. sabdariffa* est environ  $123 \pm 6,91$  cm et le diamètre au collet moyen est en moyenne de  $2,9 \pm 0,14$  cm. Le nombre de branches principales sur chaque plante est de  $20 \pm 1,06$  et le nombre moyen de feuilles par est également de  $20 \pm 1,67$ .

Ces résultats obtenus permettront de contribuer au développement de cette culture. Du point de vue de son importance, elle pourra maintenant être produite en toute saison sous irrigation. La connaissance du cycle végétatif, les durées des différents stades et le coefficient cultural du *H. sabdariffa* sont des paramètres clés pour les entrepreneurs désirant cultiver cette plante prometteuse.

## VIII. RECOMMANDATIONS

L'étude a été menée en du mois d'Octobre à Janvier, c'est-à-dire en saison sèche, ainsi nous recommandons que l'étude soit menée également en saison pluvieuse afin de voir s'il y aura une différence significative entre les coefficients culturaux  $K_c$  et la biomasse.

Nous recommandons également de faire des études similaires pour un certain nombre de plantes moringacée utiles telles que le *Moringa Oleifera* LAM. Communément appelée « Le morin

## **IX. BIBLIOGRAPHIE**

- Adindu R. U., Igbokwe kelechi K, Chigbu Timothy O, Ike-Amadi C. A. (2014). *Application of Kostiaikov's Infiltration Model on the Soils of Umudike, Abia State - Nigeria.*
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome, 300(9)*, D05109.
- Allen, R. G., & Pruitt, W. O. (1991). FAO-24 reference evapotranspiration factors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 117(5)*, 758–773.
- Brouwer, C., & Heibloem, M. (1986). Irrigation water needs. *Irrigation Water Management. Training Manual (FAO).*
- Cisse, M., Dornier, M., Sakho, M., MarDiop, C., Reynes, M., & Sock, O. (2009). La production du bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.) au Sénégal. *Fruits, 64(2)*, 111–124.
- Cisse, M., Dornier, M., Sakho, M., Ndiaye, A., Reynes, M., & Sock, O. (2009). Le bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.): composition et principales utilisations. *Fruits, 64(3)*, 179–193.
- Colombani, J., Lamagat, J.-P., & Thiebaut, J. (1972). Mesure de la perméabilité des sols en place: un nouvel appareil pour la méthode MÛNTZ. Une extension de la méthode PORCHET aux sols hétérogènes. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol, 9(3)*, 15–46.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. (1975). *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome.*
- Euskal H. (2011). *La conduite de l'irrigation en maraîchage bio.*
- FABRICE, L.B. & VALERIE, L.B.,. (2004). *Fruits des Antilles-Groseille de Noe\*. PLB Edition, CIRAD ; 4p.
- FAO, Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., & others. (1998). Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome, 300(9)*, D05109.
- Feragen, K. B., Borge, A., & Rumsey, N. (2009). Social experience in 10-year-old children born with a cleft: exploring psychosocial resilience. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal, 46(1)*, 65–74.
- Foster, R. N. (1988). *Innovation: The attacker's advantage.* Summit books.

- Gaméné, C. S. (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.
- Garnier, P. (1990). *Caractérisation physique des sols sulfatés acides de la vallée de Katouré (basse Casamance-Sénégal)*.
- Goule G, Djibril D, Peter H. (2012). *Manuel de Formation sur le Bissap (Hibiscus sabdariffa)*.
- HIEN N. (2012). *ETUDE COMPAREE DE DEUX SYSTEMES DE CULTURE (pLUVIAL ET IRRIGUE) DE LA ROSELLE (Hibiscus sabdariffa L.) DANS LA PROVINCE DU IOBA : EVALUATION DU POTENTIEL DE PRODUCTION EN CALICES*.
- Holzkämper, A., Calanca, P., & Fuhrer, J. (2010). *Evaluating climate suitability for agriculture in Switzerland*.
- ISTA. (2015). *International Seed testing Association. Seed Sciences and Technology*.
- Keita A. (2009a, a). *Broad Area Irrigation: Pivot and Lateral Move Systems V1.18, 2iE, 156p*.
- Keita A. (2009b). *Irrigation Par Aspersion V2.18, 2iE, 180p*.
- Keita A. (2015). *Subsurface Drainage of Valley Bottom Irrigated Rice Schemes in Tropical Savannah: Case Studies of Tiefora and Moussodougou in Burkina Faso, 224p*.
- Keita A., Hamma Y., Laszlo G. et Schultz B.,. (2014). *Comparative Non-Linear Regression-Case of Infiltration Rate Increase from Upstream in Valley. International Agrophysics 28 (3): 303–10*.
- Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*.
- Mando, A. (1997). *The role of termites and mulch in the rehabilitation of crusted Sahelian soils*. Mando.
- Mathews, P. G. (2005). *Design of Experiments with MINITAB*. ASQ Quality Press.
- Mehari, A., Schultz, B., Depeweg, H., & Laat, P. (2008). Modelling soil moisture and assessing its impacts on water sharing and crop yield for the Wadi Laba spate irrigation system, Eritrea. *Irrigation and Drainage: The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 57(1), 41–56.
- Mietton, M. (1986). Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso. *Cah Orstom Ser Pedofil*, 22, 181–196.
- OCDE, E. (2012). *agir maintenant ou assumer les coûts élevés de l'inaction*. Technical Report of the " Organisation de coopération et de développement ....
- Roose, E, et B Smolikowski. (1997). *Comparaison de Trois Techniques de Mesure de L'infiltration Sur Fortes Pentes: Monocylindre et 2 Simulateurs de Pluies*.

*Application À Un Versant de La Vallée de Godim Au Cap Vert.” Bulletin Réseau Erosion (FRA),no. 17: 282–96.*

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 Zai, de La Demi-Lune et Du Tapis Herbacé. 120p.

Somé, H. P., & Gbangou, A. (1991). *Migrations et urbanisation au Burkina Faso.*

Somé s. (2006). *Effets de l'irrigation et de la fertilisation sur le rendement de la roselle (Hibiscus sabdariffa L.) dans le périmètre aménagé de Dano.Mémoire d'ingénieur du développement rural, IDRIUPB, Burkina Faso. 57p.*

Tiercelin, J. R., & Vidal, A. (2006). *Treaty of Irrigation.* Paris: Lavoisier.

Hamma Y . (2014). *Cours de bioclimatologie Mastrer 1:E CLIMAT ET LES BESOINS EN EAU DES PLANTES.*

## **X. ANNEXES**

**ANNEXE I** : DEFINITION DE QUELQUES PARAMETRES

**ANNEXE II** : INFILTRATION ET CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE K<sub>SAT</sub>

**ANNEXE II** : RESULTAT DES MESURES DES PARAMETRES DE CROISSANCE

**ANNEXE III** : TESTS STATISTIQUES ET LEURS CONDITIONS D'UTILISATION

**ANNEXE IV** : RESULTATS DES MESURES/ CALCUL / DE ETM, ET KC

## IX.1. ANNEXE V : DEFINITION DE QUELQUES PARAMETRES

### ✚ Besoin en eau d'une plante

Selon (Doorenbos and Pruitt, 1975) « Le besoin en eau d'une culture est la hauteur d'eau, en mm, nécessaire pour compenser l'évapotranspiration d'une culture en bon état sanitaire, établi dans un champ de grande superficie, dans des conditions de sol non militantes du point de vue de la disponibilité de l'eau et de la fertilité, et conduisant au rendement cultural potentiel dans des conditions climatiques données». Il est nécessaire de choisir une bonne définition des besoins en eau, car cette notion est à la base du projet d'irrigation.

L'estimation des besoins en eau d'une façon simple, réaliste et la plus précise possible, permet d'assurer un optimum de consommation en eau pour une production de qualité et une bonne rentabilité. Le besoin en eau des cultures dépend de plusieurs paramètres que l'on peut regrouper en trois catégories, chacune représentée par un paramètre global :

Paramètres	Composantes	Représenté/Synthétisé par
Climatiques	Température et humidité de l'air, vent ensoleillement	L'ETP
Pédologiques	Texture, structure (infiltrabilité) physico-chimique du sol, disponibilité de l'eau et surface (RU)	Le potentiel Hydrique
Biologiques	Caractéristiques propres au végétal	Le Coefficient de Culture (Kc)

Tableau récapitulant les paramètres dont dépend le calcul des besoins en eau des cultures

La **demande en eau** est fonction des données climatiques et météorologiques et exprimée à travers l'évaporation réelle (ETM) combinaison de l'ETP et des kc. Les **ressources en eau** sont la pluviométrie, la réserve en eau du sol et les doses d'irrigation. Pour évaluer la quantité d'eau à irriguer, il faut donc faire un **bilan hydrique**, égal à la différence ressource-demande

### ✚ Evapotranspiration de référence ET0

La valeur de la demande atmosphérique en eau est évaluée par le biais d'une évapotranspiration potentielle de référence, ET<sub>0</sub>. ET<sub>0</sub> est la consommation d'eau d'une couverture totale (Ground Cover GC= 100%) en gazon bien arrosé et sans restrictions agronomiques, de taille entre 8 et 15 cm (culture de référence)(Keita , 2009). Elle est considérée comme l'indicateur du développement optimal de la végétation et joue un rôle capital pour l'évaluation des aptitudes climatiques d'une région pour l'agriculture ( Calanca, & Fuhrer, 2010).

Il existe des méthodes expérimentales pour la mesure directe de l'ET<sub>0</sub>, basées sur le bilan hydrique, le bilan d'énergie et la méthode lysométrique. 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 :

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

➤ Estimation de ET<sub>0</sub>

La modélisation de Penman-Montheih est très utilisée et considérée comme le modèle offrant « les meilleurs résultats et le minimum d'erreurs » selon la FAO, 1998, et présentant des résultats « exacts et constants » pour les climats tempérés, humides arides. Avec ce modèle, la couverture végétale est considérée comme un ensemble et homogène et l'évapotranspiration est considérée de manière « verticale », comme une succession de résistances et régulations empêchant l'eau de s'évaporer : la résistance du sol, des racines, des stomates des feuilles, du couvert végétal(Allen & Pruitt, 1991)

## FAO Penman Monteith equation

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

<u>ET<sub>0</sub></u>	reference evapotranspiration [mm day <sup>-1</sup> ],
<u>R<sub>n</sub></u>	net radiation at the crop surface [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ],
<u>G</u>	soil heat flux density [MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ],
<u>T</u>	mean daily air temperature at 2 m height [°C],
<u>u<sub>2</sub></u>	wind speed at 2 m height [m s <sup>-1</sup> ],
<u>e<sub>s</sub></u>	saturation vapour pressure [kPa],
<u>e<sub>a</sub></u>	actual vapour pressure [kPa],
<u>e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub></u>	saturation vapour pressure deficit [kPa],
<u>Δ</u>	slope vapour pressure curve [kPa °C <sup>-1</sup> ],
<u>γ</u>	psychrometric constant [kPa °C <sup>-1</sup> ].

Avec :

ET<sub>0</sub> : évapotranspiration de référence journalière (mm/j),

R<sub>n</sub> : rayonnement net à la surface de culture (M J/m<sup>2</sup>/j),

G : flux de chaleur échangé avec le sol (M J/m<sup>2</sup>/j),

T : température moyenne journalière (°C),

U<sub>2</sub> : vitesse moyenne journalière du vent mesuré à 2 mètres (m/s),

e<sub>s</sub> et e<sub>a</sub> : 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 pour la culture de référence (kg K/ kJ) liées aux unités utilisées à la distribution de variables n̄, cp et ra,

0,34 : coefficient de vent pour la culture de référence (kg K/ kJ) résultant du rapport rs / ra,

0,408 inverse de ε = 2,45 MJ/ kg.

- ❖ Le logiciel Climwat-CropWat de la FAO donne des valeurs de ET<sub>0</sub> de la station de l'Ouagadougou. Ces résultats sont présentés dans la figure ci-dessous :

ETo Penman-Monteith par mois - C:\OUAGADOUGOU.pen

Pays Location 5 Station OUAGADOUGOU

Altitude 306 m. Latitude 12.35 °N Longitude 1.51 °O

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m <sup>2</sup> /jour	ETo 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

Valeurs de ET<sub>0</sub> de la station météorologique de Ouagadougou-CLIM WAT

❖ Les données de ET<sub>0</sub> de la station de Ouagadougou-aéroport de l'année 1991 à 2007 ont également été obtenues. Ces données sont encore plus récentes et peuvent servir notamment de comparaison et de discussion avec celles de la station installée sur le site de l'étude.

Tableau : ET0 Moyen/jr de l'année 1991 à 2007-Station Ouagadougou-Aéroport

Mois	ET0 Moyen/jr	Ecart-type
Janvier	5,8	0,24
Février	6,3	0,36
Mars	6,5	0,41
Avril	6,3	0,41
Mai	6,3	0,24
Juin	5,8	0,35
Juillet	4,9	0,19
Août	4,4	0,18
Septembre	4,8	0,17
Octobre	5,5	0,2
Novembre	5,6	0,26
Décembre	5,8	0,2

#### **Evapotranspiration maximal**

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.

C'est la valeur maximum de l'évapotranspiration réelle (ETR). Elle correspond à la valeur de l'ETR d'une plante mise dans les bonnes conditions d'alimentation hydrique, climatique et en bon état sanitaire. Cette valeur de l'ETM correspond également aux besoins en eau de la plante.( Hamma, 2014)

L'ETM dépend donc : de la culture considérée, du stade phénologique de cette culture, et des conditions météorologiques observées. Le rapport entre ETM et l'évapotranspiration

potentielle de référence (ET<sub>0</sub>) varie au cours du cycle de la culture, principalement en fonction de la biomasse et de la morphologie des cultures. Ces paramètres, dépendant de la fertilité du sol, de l'espèce et du cultivar utilisé, et d'une manière générale, de toutes les pratiques culturales, la demande en eau de la culture dépend également de tous ces facteurs. Dans le cas où aucun de ces facteurs n'est limitant pour la croissance, l'indice de surface foliaire suit une courbe temporelle qui ne dépend que du rayonnement et de la température, et l'évapotranspiration potentielle de la culture est maximale : c'est l'ETM.

#### **Le coefficient cultural kc**

Le coefficient cultural (kc) est par définition, le rapport entre l'évapotranspiration de la culture (ET<sub>c</sub>) et l'évapotranspiration potentielle (ET<sub>0</sub>), 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, et l'évaporation de sol (FAO, 1998). 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 (Benoit, 1998). Pour 1 cycle de culture, 4 phases (Initiale, Croissance, Maturité, Sénescence) et 03 valeurs 'limites' de Coefficients Cultureux: KcINI--> KcMID--> KcEND.

4 phases pour un cycle de culture :

- ❖ Initiale: du semis à un taux de couverture de 10%.  $Kc = KcINI$ , généralement faible, mais variant fortement en fonction de la fréquence des apports d'eau (pluie, irrigation) ;
- ❖ Croissance ou développement: jusqu'à couverture maximale (floraison, LAI ≈ 3).  $KcINI < Kc < KcMID$ , fonction de la partition évaporation/transpiration ;
- ❖ Maturité ou mi-saison: jusqu'au premier jaunissement/chute des feuilles ?  $Kc = KcMID$  est maximum et constant (généralement  $> 1$ ) ;
- ❖ Sénescence ou fin de saison: jusqu'au jaunissement complet ou à la récolte  $KcMID < Kc < KcEND$  (stade moins important en terme de besoin en eau et de pilotage de l'irrigation sauf dans le cas de cultures à récoltes multiples).

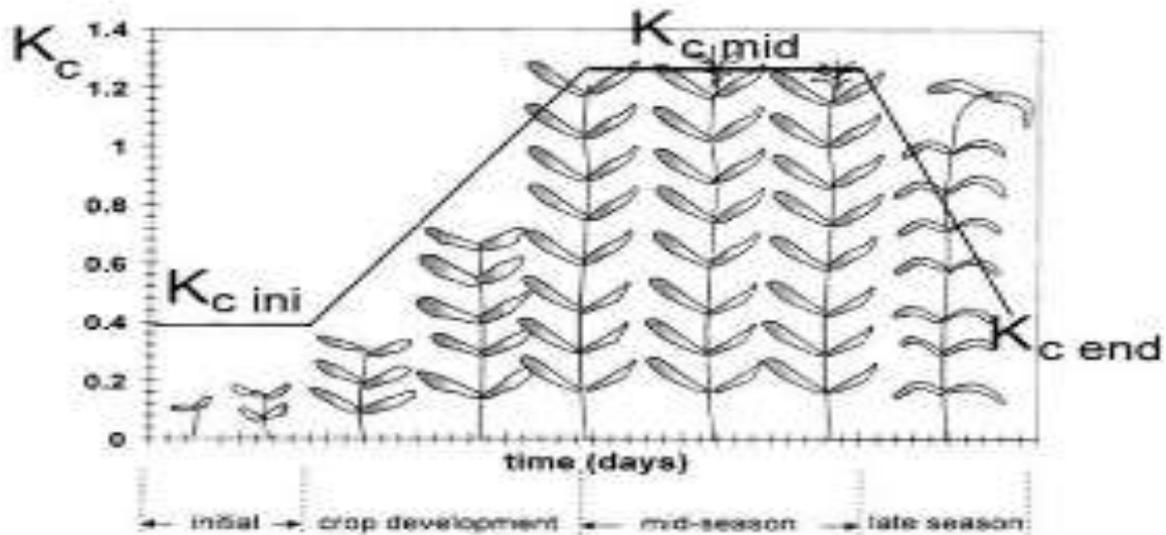


Figure: Courbe de coefficient culturaux et définition des plantes.

Source : (Doorenbos and Pruitt, 1975)

La courbe de  $k_c$  sur l'ensemble de la période de croissance a été présentée initialement par (Doorenbos and 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  $k_c$  sont observées au printemps et en automne, lorsque le sol est encore humide.

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

### ✚ 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 (Somé & Gbangou, 1991) Elle est capable de rester à l'état de vie ralenti 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.

### **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 & Gbangou, 1991). La complexité des phénomènes qui ont lieu lors de l'entrée en activité d'une semence rend assez difficile la notion de germination (Somé & Gbangou, 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 & Gbangou, 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 croissance**

La croissance est l'ensemble des phénomènes biologiques qui se traduisent par une augmentation irréversible des dimensions et du poids d'un individu ou des organes qui le composent (Nikiéma, 2016) Elle correspond à deux processus distincts : l'accroissement des parties existantes et la néoformation d'organes s'ajoutant aux précédents en même temps qu'il y'a spécialisation des cellules (Nikiéma, 2016).

## **IX.2. ANNEXE VI : INFILTRATION ET CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE K<sub>SAT</sub>**

L'infiltration d'eau dans le sol est une question très importante dans la gestion de l'eau du sol et dans les pratiques de conservation des ressources en eau. Le taux d'infiltration décrit la capacité d'un sol à absorber l'eau. Ses caractéristiques sont des variables clés d'analyse hydrologique et modélisation. Il est également utilisé dans agriculture (Adindu R. U., Igbokwe kelechi K, Chigbu Timothy O, Ike-Amadi C. A., 2014). Plusieurs méthodes de mesure d'infiltration existent, parmi lesquelles nous pouvons citer : la méthode de la tâche d'humidité laissée par un goutteur de débit connu, la méthode conventionnelle des doubles anneaux de Müntz, la méthode Pioger à double anneau, la méthode Porchet, le test d'infiltration au cylindre (surface = 100 cm<sup>2</sup>) et le test au simulateur de pluie mécanique ou manuel (Roose et Smolikowski, 1997).

Les données des différents points d'infiltration faites sur chaque lysimètre ont été mis dans un tableau Excel nommé « Données infiltration » où se trouvent les vitesses d'infiltration moyenne des différents points, le traitement des données sur le logiciel PRISME et les valeurs des K<sub>sat</sub> en synthèse.

Ces mesures nous donnent les courbes d'infiltration cumulées en fonction du temps, les courbes de la vitesse d'infiltration moyenne et instantanée.

La courbe d'infiltration est ajustée à nos données d'infiltration moyenne.

Cette courbe est de la forme  $C1 \times \exp(-K \cdot t) + C2$ , qui lorsque  $t$  tends vers l'infini, donne la perméabilité du sol  $K_{sat} = C2$  ;

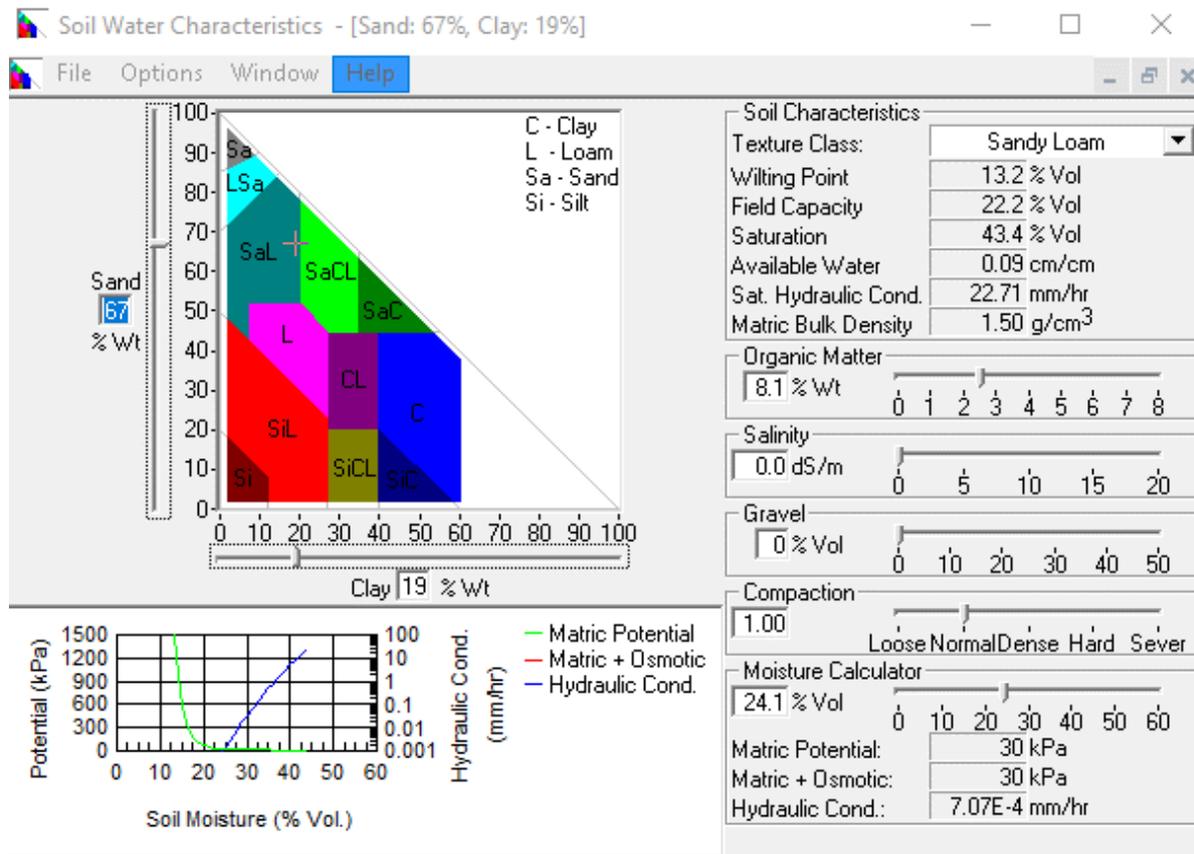
Ces ajustements ont été fait avec le logiciel PRISM de Graph Pad;

A présent, avec ce logiciel Soil Water Characteristics, nous avons déduit la valeur de K<sub>sat</sub>

Les paramètres importants suivant que nous avons tirés sont:

- l'humidité à la capacité au champ  $\theta_{FC}$  ;
- l'humidité au point de flétrissement  $\theta_{WP}$  .

## Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de *H. sabdariffa*



*Caractéristiques du sol (Mathews, 2005)*

### **IX.3. ANNEXE VII : RESULTAT DES MESURES DES PARAMETRES DE CROISSANCE**

#### **✚ Découpage du stade végétatif de l'Hibiscus**

La durée totale de croissance de l'Hibiscus dans le cadre de notre étude est de 112 jours. En fonction des changements observés sur la plante s durant leur croissance, on obtient 4 phases végétatives :

#### **✚ Phase Initiale**

La phase initiale débute du semis à un taux de couverture de 10% généralement faible, mais variant fortement en fonction de la fréquence des apports d'eau (pluie, irrigation).

#### **✚ Phase de Croissance**

La phase de croissance commence débute dès l'apparition des premières branches jusqu'à la couverture maximale.

#### **✚ Phase de Maturité**

La phase de maturité se définit des premiers jaunissements et chute des feuilles.

#### **✚ Phase de Sénescence**

La phase de sénescence jusqu' au jaunissement complet ou à la récolte (stade moins important en terme de besoin en eau et de pilotage de l'irrigation

➤ auteurs des plates par lysimètre

## Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de *H. sabdariffa*

N° des lysimètres	04/03/2017	13/10/2017	23/10/2017	02/11/2017	12/11/2017	23/11/2017	12/11/2017	22/12/2017	02/01/2018
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9
L1	2	5	7	15	21	35	70	91	112
L2	3	5	8	18	27	50	97	111	113
L3	4	7	12	18	30	50	91	108	115
L4	4	6	14	18	39	65	106	118	123
L5	3	6	11	22	36	56	98	113	124
L6	3	6	12	20	32	53	99	118	133
L7	3	7	12	22	37	63	105	129	140
L8	2	6	12	21	32	55	94	106	113
L9	3	5	11	21	35	59	110	133	138
Moyenne	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>19</b>	<b>32</b>	<b>54</b>	<b>97</b>	<b>114</b>	<b>123</b>
Ecart-type	0,6	0,7	2,1	2,4	5,3	8,3	10,9	11,8	10,6
I C 95 %	<b>0,37</b>	<b>0,49</b>	<b>1,37</b>	<b>1,57</b>	<b>3,49</b>	<b>5,45</b>	<b>7,12</b>	<b>7,68</b>	<b>6,91</b>

➤ Diamètre au collet

N° des lysimètres	23/10/17	02/11/17	12/11/17	22/11/17	02/12/17	12/12/17	22/12/17	02/01/18
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
L1	0,3	0,6	1,3	1,7	2,2	2,4	2,5	2,7
L2	0,4	0,8	1,4	1,7	2,2	2,3	2,5	2,7
L3	0,6	0,9	1,3	1,9	2,3	2,5	2,6	2,8
L4	0,5	0,9	1,8	2,2	2,3	2,8	3,0	3,1
L5	0,5	0,9	1,9	2,1	2,4	2,6	3,2	3,2
L6	0,5	0,8	1,7	2,0	2,5	2,6	2,6	2,8
L7	0,5	0,8	1,7	2,0	2,5	2,6	2,6	2,8
L8	0,5	1,1	1,9	2,2	2,5	2,8	2,9	3,0
L9	0,42	1,02	1,78	2,34	2,53	2,61	2,83	3,09
Moyenne	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>	<b>1,6</b>	<b>2,0</b>	<b>2,4</b>	<b>2,6</b>	<b>2,7</b>	<b>2,9</b>
Ecartype	0,09	0,15	0,23	0,22	0,13	0,16	0,22	0,21
Cof de variation	18,8	17,1	14,3	10,8	5,5	6,1	8,0	7,2
I C 95 %	<b>0,06</b>	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,14</b>	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>	<b>0,14</b>	<b>0,14</b>

## Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de *H. sabdariffa*

### ➤ Nombre de branche par tige

N° de lysimètres	20/10/17	02/11/17	12/11/17	22/11/17	02/12/17	12/12/17	23/12/17
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7
L 1	7	10	13	14	16	17	17
L 2	4	10	12	15	16	18	18
L 3	6	12	15	17	18	19	19
L 4	6	13	16	16	17	20	21
L 5	8	15	17	17	19	20	21
L 6	5	13	18	18	20	20	20
L 7	7	13	16	17	19	21	21
L 8	6	16	18	18	20	20	20
L 9	6	12	17	17	19	21	22
<b>Moyenne</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Ecart-type	1,23	1,85	2,13	1,35	1,56	1,33	1,62
<b>IC à 95%</b>	<b>0,80</b>	<b>1,21</b>	<b>1,39</b>	<b>0,88</b>	<b>1,02</b>	<b>0,87</b>	<b>1,06</b>

### ➤ Nombre de feuilles par branches

## Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de *H. sabdariffa*

N° de lysimètres	11/10/2017	20/10/2017	02/11/2017	12/11/2017	22/11/2017	02/12/2017	12/12/2017
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7
L 1	6	8	12	20	22	25	20
L 2	4	8	14	20	23	32	25
L 3	5	7	12	16	23	28	17
L 4	5	10	16	21	20	25	18
L 5	6	9	15	20	26	28	23
L 6	4	9	14	19	21	24	20
L 7	4	7	11	15	17	20	19
L 8	5	7	12	16	21	28	22
L 9	6	10	16	19	21	23	19
<b>Moyenne</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	<b>20</b>
Ecart-type	1	1	2	2	2	3	3
<b>I C à 95%</b>	<b>0,57</b>	<b>0,80</b>	<b>1,23</b>	<b>1,33</b>	<b>1,59</b>	<b>2,29</b>	<b>1,67</b>

➤ Analyse descriptives

N° des lysimètres	Statistiques descriptives; Hauteurs des tiges							
	N	Moyenne	Variance	Minimum	Quartile 1	Médiane	Quartile 3	Maximum
L1	9	40	1682	2	2	21	2	112
L2	9	48	2156	3	3	27	3	113
L3	9	48	1997	4	4	30	4	115
L4	9	55	2437	4	4	39	4	123
L5	9	52	2288	3	3	36	3	124
L6	9	53	2572	3	3	32	3	133
L7	9	58	2928	3	3	37	3	140
L8	9	49	1989	2	2	32	2	113
L9	9	57	3067	3	3	35	3	138

N° des lysimètres	Statistiques descriptives; Diamètres aux collets							
	N	Moyenne	Variance	Minimum	Quartile 1	Médiane	Quartile 3	Maximum
L1	8	1,7	0,8	0,3	0,3	1,9	0,3	2,7
L2	8	1,8	0,7	0,4	0,4	2,0	0,4	2,7
L3	8	1,9	0,7	0,6	0,6	2,1	0,6	2,8
L4	8	2,1	0,9	0,5	0,5	2,3	0,5	3,1
L5	8	2,1	0,9	0,5	0,5	2,3	0,5	3,2
L6	8	1,9	0,8	0,5	0,5	2,3	0,5	2,8
L7	8	1,9	0,8	0,5	0,5	2,3	0,5	2,8
L8	8	2,1	0,8	0,5	0,5	2,3	0,5	3,0
L9	8	2,1	0,9	0,4	0,4	2,4	0,4	3,1

N° des lysimètres	Statistiques descriptives; Nombre de branches par tiges							
	N	Moyenne	Variance	Minimum	Quartile 1	Médiane	Quartile 3	Maximum
L 1	7	13	14	7	7	14	7	17
L 2	7	13	27	4	4	15	4	18
L 3	7	15	24	6	6	17	6	19
L 4	7	15	27	6	6	16	6	21
L 5	7	17	21	8	8	17	8	21
L 6	7	16	33	5	5	18	5	20
L 7	7	16	26	7	7	17	7	21
L 8	7	17	25	6	6	18	6	20
L 9	7	16	31	6	6	17	6	22

*Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de H. sabdariffa*

N° des lysimètres	Statistiques descriptives; Nombre de feuilles par branches							
	N	Moyenne	Variance	Minimum	Quartile 1	Médiane	Quartile 3	Maximum
L 1	7	16	56	6	6	20	6	25
L 2	7	18	99	4	4	20	4	32
L 3	7	15	67	5	5	16	5	28
L 4	7	16	46	5	5	18	5	25
L 5	7	18	71	6	6	20	6	28
L 6	7	16	53	4	4	19	4	24
L 7	7	13	38	4	4	15	4	20
L 8	7	16	68	5	5	16	5	28
L 9	7	16	38	6	6	19	6	23

## **IX.4. ANNEXE VIII : 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 diffèrent entre elles comparativement à la variabilité dans chaque population (Feragen & Rumsey, 2009). Si toutes les conditions de la limite centrale sont réunies, tous les échantillons proviennent d'une même population); (Mathews, 2005), 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 ;

- ❖ 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 différentes. Des méthodes d'analyse post-ANOVA existent, permettant d'identifier la différence significative entre chaque paire de moyennes s. 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(Mathews, 2005).

Ainsi pour les quatre (4) paramètres de croissances du les résultats du test ANOVA sont les suivante ;

Analysis of Variance (hauteur de tiges)					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
FACTEUR	8	2138	267,3	0,11	0,999
Error	72	168855	2345,2		
Total	80	170994			

Analysis of Variance (Diamètre au collet)					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
FACTEUR	8	1,237	0,1547	0,20	0,990
Error	63	48,569	0,7709		
Total	71	49,806			

Analysis of Variance (Nombre de branches)					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
FACTEUR	8	115,3	14,41	0,58	0,788
Error	54	1337,2	24,76		
Total	62	1452,5			

Analysis of Variance (Nombre de feuilles)					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
FACTEUR	9	234,0	26,01	0,45	0,902
Error	53	3077,9	58,07		
Total	62	3312,0			

**IX.5. ANNEXE IX : RESULTATS DES MESURES/ CALCUL / DE ETM, ET KC**

**✚ Mesure de ETM**

Date	Opération	unités	N°Lysimeter									Moy ETM · jour <sup>-1</sup>	95% ICI (mm jr <sup>-1</sup> )
			L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9		
04/10/2017	Irrigation	mm											
	Drainage	mm											
	ETM												
06/10/2017	Irrigation	mm	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66		
07/10/2017	Drainage	mm											
	ETM	(mm ·jr <sup>-1</sup> )	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33		
08/10/2017	Rainfall	mm	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50		
09/10/2017	Drainage	mm	8,25	9,50	7,32	7,30	6,65	5,90	5,80	6,30	5,80		
09/10/2017	Runoff	mm	1	1,00	0,35	1,30	0,18	0,75	0,75	0,75	1,50		
	ETM	(mm ·jr <sup>-1</sup> )	-0,9	-1,5	-0,1	-0,6	0,3	0,4	0,5	0,2	0,1		
	ETM 1(mm·d <sup>-1</sup> )		3,7	3,4	4,1	3,9	4,3	4,4	4,4	4,3	4,2	4	0,3
10/10/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
11/10/2017	Drainage	mm	7,00	7,30	6,50	7,30	6,50	8,00	6,50	6,80	6,00		
	ETM		6,50	6,35	6,75	6,35	6,75	6,00	6,75	6,60	7,00		

*Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de H. sabdariffa*

12/10/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
13/10/2017	Drainage	mm	10,87	11,75	10,00	11,30	10,90	9,50	10,50	11,40	10,20		
	ETM		4,57	4,13	5,00	4,35	4,55	5,25	4,75	4,30	4,90		
14/10/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
16/10/2017	Drainage	mm	17	17	16,5	16,5	17	16	16	15	17		
	ETM		3,00	3,00	3,50	3,50	3,00	4,00	4,00	5,00	3,00		
16/10/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
18/10/2017	Drainage	mm	9,3	7,75	9	9,2	7	9,75	5	7,75	6,5		
	ETM		3,57	4,08	3,67	3,60	4,33	3,42	5,00	4,08	4,50		
19/10/2017	Irrigation	mm	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
20/10/2017	Drainage	mm	7	5	5,8	7,3	9	8	7,8	7,3	7,75		
	ETM	(mm · jr-1)	6,50	7,50	7,10	6,35	5,50	6,00	6,10	6,35	6,13		
	ETM 2 (mm·j <sup>-1</sup> )		4,4	4,7	4,7	4,4	4,5	4,4	4,9	4,7	4,8	5	0,1
21/10/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
23/10/2017	Drainage	mm	6,00	9,30	7,75	7,00	8,00	6,50	8,00	8,50	8,50		
	ETM	(mm · jr-1)	4,67	3,57	4,08	4,33	4,00	4,50	4,00	3,83	3,83		
23/10/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
25/10/2017	Drainage	mm	4,30	6,80	3,50	3,50	3,00	6,00	4,00	5,00	5,00		
	ETM		5,23	4,40	5,50	5,50	5,67	4,67	5,33	5,00	5,00		
25/10/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
27/10/2017	Drainage	mm	4,5	3	3,5	4	4,7	5	3,75	5	3		
	ETM	(mm · jr-1)	5,17	5,67	5,50	5,33	5,10	5,00	5,42	5,00	5,67		

*Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de H. sabdariffa*

27/10/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
29/10/2017	Drainage	mm	5,2	5	3	3,5	2,8	3	3	3,2	2,7		
	ETM	(mm ·jr-1)	4,93	5,00	5,67	5,50	5,73	5,67	5,67	5,60	5,77		
29/10/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
31/10/2017	Drainage	mm	5,2	5	3	3,5	2,8	3	3	3,2	2,7		
	ETM	(mm ·jr-1)	4,93	5,00	5,67	5,50	5,73	5,67	5,67	5,60	5,77		
<b>ETM 3 (mm·j<sup>-1</sup>)</b>			<b>6,8</b>	<b>6,4</b>	<b>7,2</b>	<b>7,1</b>	<b>7,2</b>	<b>7,0</b>	<b>7,1</b>	<b>6,8</b>	<b>7,1</b>	7	0,2
31/10/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
01/11/2017	Drainage	mm	4,00	4,30	4,10	3,50	3,80	4,20	2,80	2,50	2,70		
	ETM	(mm ·jr-1)	8,00	7,85	7,95	8,25	8,10	7,90	8,60	8,75	8,65		
01/11/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
03/11/2017	Drainage	mm	4,60	3,25	4,25	4,50	8,50	12,25	5,80	2,30	4,50		
	ETM	(mm ·jr-1)	5,13	5,58	5,25	5,17	3,83	2,58	4,73	5,90	5,17		
03/11/2017	Irrigation	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
05/11/2017	Drainage	mm	7	4,8	5,8	5	6,8	7,3	3	6,4	5		
	ETM	(mm ·jr-1)	4,33	5,07	4,73	5,00	4,40	4,23	5,67	4,53	5,00		
06/11/2017	Irrigation	mm	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
08/11/2017	Drainage	mm	4,1	4	4	1,5	2,9	4	4	3,8	3		
	ETM	(mm ·jr-1)	5,30	5,33	5,33	6,17	5,70	5,33	5,33	5,40	5,67		
08/11/2017	Irrigation	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40		

*Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de H. sabdariffa*

10/11/2017	Drainage	mm	4	5	3,2	2,5	3,8	4	3,6	4,7	1,3		
	ETM	(mm ·jr-1)	12,00	11,67	12,27	12,50	12,07	12,00	12,13	11,77	12,90		
<b>ETM 4 (mm·j<sup>-1</sup>)</b>			<b>8,8</b>	<b>9,0</b>	<b>9,0</b>	<b>9,4</b>	<b>8,6</b>	<b>8,0</b>	<b>9,2</b>	<b>9,1</b>	<b>9,4</b>	9	0,3
10/11/2017	Irrigation	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
13/11/2017	Drainage	mm	6,00	7,75	7,75	7,20	7,00	9,00	9,00	7,00	6,00		
	ETM	(mm ·jr-1)	8,50	8,06	8,06	8,20	8,25	7,75	7,75	8,25	8,50		
13/11/2017	Irrigation	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
15/11/2017	Drainage	mm	12,25	12,5	12,3	10,5	7,75	10	12	10,25	10		
	ETM	(mm ·jr-1)	9,25	9,17	9,23	9,83	10,75	10,00	9,33	9,92	10,00		
15/11/2017	Irrigation	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
17/11/2017	Drainage	mm	7	7,25	11,25	12	7,3	11	8,5	9	7,3		
	ETM	(mm ·jr-1)	11,00	10,92	9,58	9,33	10,90	9,67	10,50	10,33	10,90		
17/11/2017	Irrigation	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
20/11/2017	Drainage	mm	7,6	7,6	6	1,5	1,45	2	1,3	2	1,5		
	ETM	(mm ·jr-1)	8,10	8,10	8,50	9,63	9,64	9,50	9,68	9,50	9,63		
<b>ETM 5 (mm·j<sup>-1</sup>)</b>			<b>11,6</b>	<b>11,4</b>	<b>11,2</b>	<b>11,7</b>	<b>12,4</b>	<b>11,6</b>	<b>11,7</b>	<b>12,0</b>	<b>12,3</b>	12	0,3
20/11/2017	Irrigation	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
22/11/2017	Drainage	mm	4,2	3,25	2,5	0	1	0,25	0	1,3	0		
	ETM	(mm ·jr-1)	11,93	12,25	12,50	13,33	13,00	13,25	13,33	12,90	13,33		

*Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de H. sabdariffa*

22/11/2017	Irrigation	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
24/11/2017	Drainage	mm	5	5	3,2	0	3,5	5	0	3,5	0		
	ETM	(mm ·jr-1)	11,67	11,67	12,27	13,33	12,17	11,67	13,33	12,17	13,33		
24/11/2017	Irrigation	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
27/11/2017	Drainage	mm	9,3	7	3	0	2	3	0,5	1	0,5		
	ETM	(mm ·jr-1)	7,68	8,25	9,25	10,00	9,50	9,25	9,88	9,75	9,88		
27/11/2017	Irrigation	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
29/11/2017	Drainage	mm	7,05	4	2,05	0	0	0	0	0	0		
	ETM	(mm ·jr-1)	10,98	12,00	12,65	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33		
ETM 6 (mm·j <sup>-1</sup> )			13,4	14,1	14,9	16,0	15,4	15,2	16,0	15,4	16,0	15	0,7
29/11/2017	Irrigation	mm	70	70	70	70	70	70	70	70	70		
02/12/2017	Drainage	mm	7,00	3,40	2,20	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50		
	Stock	mm	35	35	35	35	35	35	35	35	35		
	ETM	(mm ·jr-1)	7,00	7,90	8,20	8,63	8,63	8,63	8,63	8,63	8,63		
02/12/2017	Irrigation	mm	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00		
04/12/2017	Drainage	mm	11,5	10,75	9	8,75	6,25	6	5,75	9	5,75		
	Stock	mm	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
	ETM	(mm ·jr-1)	6,17	6,42	7,00	7,08	7,92	8,00	8,08	7,00	8,08		
04/12/2017	Irrigation	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
06/12/2017	Drainage	mm	9	3	4	0	5,25	2	0	0	0		
	Stock	mm	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
	ETM	(mm ·jr-1)	7,00	9,00	8,67	10,00	8,25	9,33	10,00	10,00	10,00		

*Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de H. sabdariffa*

06/12/2017	Irrigation	mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
08/12/2017	Drainage	mm	12,5	12	11,8	4,25	9	8	0	1,5	0		
	Stock	mm	70	70	70	70	70	70	70	70	70		
	ETM	(mm ·jr-1)	5,83	6,00	6,07	8,58	7,00	7,33	10,00	9,50	10,00		
08/12/2017	Irrigation	mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
10/12/2017	Drainage	mm	8,25	4	5,25	6	5	6	2	17	13		
	Stock	mm	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
	ETM	(mm ·jr-1)	7,25	8,67	8,25	8,00	8,33	8,00	9,33	4,33	5,67		
ETM 7 (mm·j <sup>-1</sup> )			8,9	10,2	10,2	11,3	10,8	11,0	12,2	10,6	11,3	11	0,7
10/12/2017	Irrigation	mm	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		
13/12/2017	Drainage	mm	7,0	3,0	3,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0		
	Stock	mm	70	70	70	70	70	70	70	70	70		
	ETM	(mm ·jr-1)	5,75	24,25	24,25	25,00	24,75	24,75	25,00	25,00	25,00		
13/12/2017	Irrigation	mm	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00		
15/12/2017	Drainage	mm	13,25	5	5	4,8	2	2,75	2	4,8	5		
	Stock	mm	7	20	20	20	20	20	20	20	20		
15/12/2017	ETM	(mm ·days-1)	9,92	8,33	8,33	8,40	9,33	9,08	9,33	8,40	8,33		
15/12/2017	Irrigation	mm	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00		
17/12/2017	Drainage	mm	7	5	2	2	2	0,5	0,5	1,5	0		
	Stock	mm	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
	ETM	(mm ·jr-1)	7,67	8,33	9,33	9,33	9,33	9,83	9,83	9,50	10,00		

*Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de H. sabdariffa*

17/12/2017	Irrigation	mm	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00		
19/12/2017	Drainage	mm	9	4	1,2	2	2,5	0,5	0,5	1,5	0		
	Stock	mm	7	20	20	20	20	20	20	20	20		
19/12/2017	ETM	(mm ·jr-1)	11,33	8,67	9,60	9,33	9,17	9,83	9,83	9,50	10,00		
	Irrigation	mm	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		
21/12/2017	Drainage	mm	7	20,55	18,5	4	18	1	4	23	1		
	Stock	mm	80	80	80	80	80	80	80	80	80		
	ETM	(mm ·jr-1)	27,22	23,59	23,97	28,89	24,28	29,72	28,72	22,50	29,67		
ETM 8 (mm·j <sup>-1</sup> )			10,2	8,5	9,2	10,6	9,5	11,2	11,1	9,1	11,2	10	0,8
21/12/2017	Irrigation	mm	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		
23/12/2017	Drainage	mm	9,00	7,00	3,50	9,00	4,00	3,25	5,00	14,25	9,00		
	Stock	mm	70	70	70	70	70	70	70	70	70		
	ETM	(mm ·jr-1)	7,00	7,67	8,83	7,00	8,67	8,92	8,33	5,25	7,00		
23/12/2017	Irrigation	mm	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00		
25/12/2017	Drainage	mm	9	7	3,5	4	4	0,5	0,5	6	1		
	Stock	mm	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
	ETM	(mm ·jr-1)	7,00	7,67	8,83	8,67	8,67	9,83	9,83	8,00	9,67		
25/12/2017	Irrigation	mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
27/12/2017	Drainage	mm	9	6	3,5	6	4	0	0,5	9	2		
	Stock	mm	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
	ETM	(mm ·jr-1)	7,00	8,00	8,83	8,00	8,67	10,00	9,83	7,00	9,33		
27/12/2017	Irrigation	mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100		

*Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de H. sabdariffa*

30/12/2017	Drainage	mm	9	7	3,5	10	4	4	8	11	11		
	Stock	mm	60	60	60	60	60	60	60	60	60		
	ETM	(mm ·jr-1)	7,75	8,25	9,13	7,50	9,00	9,00	8,00	7,25	7,25		
	ETM 9 (mm·j <sup>-1</sup> )		<b>9,4</b>	<b>10,3</b>	<b>11,6</b>	<b>10,1</b>	<b>11,4</b>	<b>12,2</b>	<b>11,6</b>	<b>9,0</b>	<b>10,7</b>	11	0,8
30/12/2017	Irrigation	mm	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
01/01/2018	Drainage	mm	23,00	16,50	18,00	10,00	22,00	21,50	20,00	22,00	20,00		
	Stock	mm	60	60	60	60	60	60	60	60	60		
	ETM	(mm ·jr-1)	5,67	7,83	7,33	10,00	6,00	6,17	6,67	6,00	6,67		
01/01/2018	Irrigation	mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
03/01/2018	Drainage	mm	28	25,5	37,5	36	33,75	38	34	31	42		
	ETM	(mm ·jr-1)	7,33	8,17	4,17	4,67	5,42	4,00	5,33	6,33	2,67		
03/01/2018	Irrigation	mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
05/01/2018	Drainage	mm	28,5	25,75	33,75	24,25	27	32	31	27	31,25		
	ETM	(mm ·jr-1)	<b>7,17</b>	<b>8,08</b>	<b>5,42</b>	<b>8,58</b>	<b>7,67</b>	<b>6,00</b>	<b>6,33</b>	<b>7,67</b>	<b>6,25</b>		
05/01/2018	Irrigation	mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
08/01/2018	Drainage	mm	12	8	4	1,25	3,75	0,5	1	4	3		
	ETM	(mm ·jr-1)	9,50	10,50	11,50	12,19	11,56	12,38	12,25	11,50	11,75		
08/01/2018	Irrigation	mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
10/01/2018	Drainage	mm	10,5	7	7	7,5	6	0,5	5	5	0,5		
	ETM	(mm ·jr-1)	13,17	14,33	14,33	14,17	14,67	16,50	15,00	15,00	16,50		
10/01/2018	Irrigation	mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
13/01/2018	Drainage	mm	11,25	3,00	3,00	6,00	11,00	5,00	4,50	6,00	3,00		

*Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de H. sabdariffa*

	ETM	(mm ·jr-1)	9,69	11,75	11,75	11,00	9,75	11,25	11,38	11,00	11,75		
13/01/2018	Irrigation	mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
16/01/2018	Drainage	mm	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25	11,25		
ETM 11 (mm·j <sup>-1</sup> )		(mm ·jr-1)	<b>11,1</b>	<b>12,3</b>	<b>12,3</b>	<b>11,8</b>	<b>11,1</b>	<b>12,0</b>	<b>12,0</b>	<b>11,8</b>	<b>12,3</b>	12	0,4

✚ Tableaux de calcul de Kc (exemple du premier décade)

<b>Decade Nb</b>								<b>D1</b>
<b>Jours No</b>	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Stades Nb</b>								1
Stades Nb								<b>Initial</b>
Période								<b>30/09-29/10</b>
Durées								<b>30</b>
Dates	02/10/2017	03/10/2017	04/10/2017	05/10/2017	06/10/2017	07/10/2017	08/10/2017	09/10/2017
<b>ETo (mm·j<sup>-1</sup>)</b>	4.3	4.1	6.0	4.6	3.3	4.8	5.0	5.0
<b>GC(%)</b>	0.0-10.0	0.0-10.0	0.0-10.0	0.0-10.0	0.0-10.0	0.0-10.0	0.0-10.0	0.0-10.0
<b>Moyenne GC(%)</b>	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
<b>Lysimètres Kr</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
L1	ETM (mm·j <sup>-1</sup> )	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
	ETMloc (mm·j <sup>-1</sup> )	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	Kc	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2
L2	ETM (mm·j <sup>-1</sup> )	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
	ETMloc (mm·j <sup>-1</sup> )	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	Kc	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
L3	ETM (mm·j <sup>-1</sup> )	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1

*Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de H. sabdariffa*

	ETMloc (mm·j <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	Kc	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
L4	ETM (mm·j <sup>-1</sup> )	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
	ETMloc (mm·j <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	Kc	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
L5	ETM (mm·j <sup>-1</sup> )	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
	ETMloc (mm·j <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Kc	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
L6	ETM (mm·j <sup>-1</sup> )	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
	ETMloc (mm·j <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Kc	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
L7	ETM (mm·j <sup>-1</sup> )	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
	ETMloc (mm·j <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Kc	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
L8	ETM (mm·j <sup>-1</sup> )	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
	ETMloc (mm·j <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Kc	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2

*Détermination des paramètres culturaux et la biomasse de H. sabdariffa*

L9	ETM (mm·j <sup>-1</sup> )	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
	ETMloc (mm·j <sup>-1</sup> )	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	Kc	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
	<b>Moyenne Kc</b>								0.3