



**DETERMINATION DES COEFFICIENTS CULTURAUX ET DES
PARAMETRES DE CROISSANCE DU *CHRYSANTHELLUM
INDICUM* VAR. *AFROAMERICANUM* B. L. TURNER AU
BURKINA-FASO**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE
L'ENVIRONNEMENT
OPTION : Infrastructures et Réseaux Hydrauliques**

Présenté et soutenu publiquement le 29 Septembre 2018 par :

Kelgysida Anissa Stéphanie KABORE

- Directeur de mémoire : **Patrice ZERBO**, Maître de Conférences–UO1
Université Ouaga 1 Pr Joseph KI-ZERBO
- Co-Directeur : **Amadou KEITA** Enseignant chercheur - 2iE
- Maitre de stage : **Lassina SANOU** - ASMA

Jury :

Président : Dr. Abdou LAWANE

Examineurs : Dr. FOWE TAZEN
M. Moussa FAYE

Promotion [2016/2017]

CITATION

« L'agriculture est une chance pour l'Afrique ! »

(Banque Africaine de Développement, 2017).

DEDICACE

Je dédie le fruit de ce modeste travail à mon père Pagnan Adama KABORE et à ma mère Kardiatou Joséphine KABORE/HEMA. Merci pour votre amour, votre soutien inconditionnel et vos précieux conseils !

REMERCIEMENTS

La réalisation du présent document est la résultante de plusieurs contributions et compétences de nature technique, intellectuelle, financière et morale. L'aboutissement de notre stage qui se concrétise par le présent mémoire a été possible grâce au concours d'un certain nombre de personnes qui, de près ou de loin, de façon directe ou indirecte ont été d'un soutien inestimable et indéfectible. Qu'elles sachent que les mots nous manquent pour leur exprimer tous nos vifs remerciements. Qu'elles trouvent néanmoins à travers ces lignes les symboles de notre profonde gratitude.

Nos remerciements vont particulièrement :

- A mon directeur de mémoire, Pr. Patrice ZERBO, Maître de Conférences – Université Ouaga 1 Pr. Joseph KI-ZERBO, merci pour votre disponibilité malgré votre emploi du temps chargé, merci pour vos précieux conseils scientifiques pour la conduite de l'étude ;
- A mon co-directeur, Dr. Amadou KEITA, qui m'a proposé ce thème de stage, et n'a ménagé aucun effort pour me guider dans les travaux ; merci pour votre disponibilité, les précieux conseils, et la patience ; merci pour l'encadrement de qualité dont j'ai bénéficié, soyez rassuré de ma reconnaissance ;
- A mon maître de stage, Dr. Lassina SANOU, Membre de l'association Au Secours Mon Arbre (ASMA), qui associé à mon co-directeur m'a proposé ce thème de recherche, merci pour votre disponibilité et les précieux conseils ;
- A Mr Emmanuel ZONGO le technicien qui m'a beaucoup aidé sur le terrain. Merci pour votre disponibilité, vos conseils, votre patience et votre gentillesse ;
- A Mr Roland YONABA et Mr Cheik ZOURE qui m'ont beaucoup soutenu dans mes travaux ;
- A mes frères et sœurs, merci pour votre soutien et vos conseils.

Nos remerciements vont également à :

- L'ensemble du corps professoral et administratif de la Fondation 2iE ;
- A tous mes amis et camarades de promotion pour les précieux échanges et la solidarité.

RESUME

Lutter contre la déforestation est une opération où la recherche peut apporter une contribution substantielle. La destruction des arbres, arbustes et herbes des forêts 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 forêts. Afin de contribuer à la pérennisation de ces forêts tout en permettant leur exploitation raisonnée, la présente étude s'est consacrée à la détermination du coefficient cultural et des paramètres de croissance du *Chrysanthellum indicum* var. *afroamericanum* B. L. Turner. Il s'agit d'une plante herbacée dont l'utilisation en phytothérapie 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 de surface et souterrain 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 ET₀, 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 le *C. indicum* de la famille des *Asteraceae* a une durée de 77 jours de cycle. Le coefficient cultural est de $0,5 \pm 0,03$ à 70% d'intervalle de confiance à la phase initiale ; $1,4 \pm 0,07$ à la phase de maturité et $1,09 \pm 0,04$ à la phase de récolte. La hauteur verticale moyenne du *C. indicum* est environ $5 \pm 0,57$ cm et la longueur des branches principale est en moyenne $9 \pm 1,3$ cm. Cette durée de vie de 77 jours est due à l'entretien, la fertilité du sol et aussi à l'irrigation apportée à la plante. Le développement du *C. indicum*, 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 en fin de saison pluvieuse, nous recommandons donc de faire une autre étude en pleine saison sèche pour identifier s'il y a lieu des différences significatives.

Mots-Clés:-Irrigation forestière-*Chrysanthellum indicum* DC.- Coefficients culturaux

ABSTRACT

Fighting deforestation is an operation where research can make a substantial contribution. The destruction of trees, shrubs and grasses of the forests of the African inter-tropical zone to produce charcoal, cooking fagot or products for the traditional pharmacopoeia represents a growing threat to the preservation of our forests. In order to contribute to the sustainability of these forests while allowing their rational exploitation, the present study was dedicated to the determination of the crop coefficient and biomass parameters of *Chrysanthellum indicum* var. *afroamericanum* B. L. Turner. It is an herbaceous plant whose use in herbal medicine has experienced in recent years an extraordinary boom, especially in West Africa. To carry out the investigations, nine (9) replicas as faithful as possible of a concrete lysimeter equipped with surface and underground drainage tubes were used. Each lysimeter was filled with vegetable term 8% of organic matter to prevent any deficit in manure. These lysimeters were used to determine ETM from the water balance during the cropping cycle of the plant. A WatchDog automatic meteorological station permitted to determine the reference evapotranspiration ETO, which, combined with the ETM, allowed the calculation of crop coefficients. The biomass quantities were measured on the nine lysimeters at a time step of once a week. It appears from this study that *C. indicum* of the family of the *Asteraceae* has a duration of 77 days of cycle. The crop coefficient is 0.5 ± 0.03 at 70% of confidence interval at the initial phase, 1.4 ± 0.07 at the maturity phase and 1.09 ± 0.04 at the harvest phase. The average vertical height of the *C. indicum* is about $5\text{cm} \pm 0.57$ and the length of the main branches is on average $9\text{cm} \pm 1.3$. This lifespan of 77 days is due to the maintenance, fertility of the soil and also to the irrigation provided to the plant. The development of the *C. indicum* and the setting under irrigation are thus possible and will contribute not only for its perpetuation but also for the development of the forest irrigation. Since the results obtained were measured at the end of the rainy season, we recommend the carrying out of another study during the dry season to see if there are any significant differences.

Key words: -Forest irrigation - *Chrysanthellum indicum* DC.- Crop coefficients-

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE	:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
ASMA	:	Association au Secours Mon Arbre
ET₀	:	Evapotranspiration de référence
ETM	:	Evapotranspiration maximale
ETM. Loc	:	Evapotranspiration maximale localisée
I-D	:	Irrigation - Drainage
FAO	:	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et L'Agriculture
K_C	:	Coefficient cultural

SOMMAIRE

CITATION.....	i
DEDICACE	ii
RESUME	iv
ABSTRACT.....	v
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vi
SOMMAIRE.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES PLANCHES	x
I. INTRODUCTION GENERALE	1
1.1. Contexte	1
1.2. Problématique	1
II. OBJECTIFS DE L'ETUDE ET HYPOTHESES DE RECHERCHE	2
2.1. OBJECTIFS	2
2.2. RESULTATS ATTENDUS.....	2
2.3 RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	3
III. GENERALITES SUR LE CHRYSANTHELLUM INDICUM VAR.	
AFROAMERICANUM B. L. TURNER.....	3
3.1. HISTORIQUE.....	3
3.2. PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES.....	3
3.3. DISTRIBUTION, ECOLOGIE ET CYCLE DE DEVELOPPEMENT	5
3.4. UTILISATIONS ET IMPORTANCE SOCIO-ECONOMIQUE	7
IV. MATERIELS ET METHODES	8
4.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	8

4.2 PRESENTATION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL	9
4.3 ETUDE DES PARAMETRES DE CROISSANCE DE LA PLANTE	13
4.4 DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERNECE (ET ₀) .	14
4.5 DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION MAXIMALE (ETM)	16
4.6 DETERMINATION DE COEFFICIENT CULTURAL K _c	18
V. RESULTATS – DISCUSSION.....	19
5.1. RESULTATS DES MESURES D'INFILTRATION (SOL).....	19
5.2. PARAMETRES DE CROISSANCE DU <i>C. indicum</i>	22
5.3. EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE (ET ₀)	33
5.4. EVAPOTRANSPIRATION MAXIMALE (ETM)	34
5.5. COEFFICIENT CULTURAL K _c DU <i>C.AFROAMERICANUM</i>	36
VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	39
VII. RECOMMANDATIONS	39
VIII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	40
IX. ANNEXES.....	I
Annexe I : Définitions de Quelques paramètres	II
1.1. Evapotranspiration de référence ET ₀	III
1.2. Evapotranspiration maximale d'une culture ETM.....	VII
1.3. Coefficients culturaux (K _c).....	VII
1.4. Paramètres de croissance	IX
Annexe II : infiltration-détermination de la conductivité hydraulique k _{sat}	XIII
Annexe III : résultats-mesures des paramètres de croissance de la plante	XVIII
Annexe IV : Tests statistiques et leurs conditions d'utilisation.....	XXIII
Annexe V : RESULTATS (Feuilles de calcul) ET ₀ - ETM- K _c	XXX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs Conductivité Hydraulique(Ksat)	20
Tableau 2: Caractéristiques du Sol	21
Tableau 3: Résultats taux de matières organiques (%)	22
Tableau 4: Cycle végétatif-Durée de chaque phase	23
Tableau 5: Diamètre au collet des plantes	24
Tableau 6: Teneur en eau des graines du <i>C. afroamericanum</i>	28
Tableau 7: Couverture Végétale(%)	29
Tableau 8: Résultat du test d'ANOVA sur les différents lysimètres.....	32
Tableau 9: Résultat du test de <i>Kruskal-Wallis</i> sur les différents lysimètres.....	33
Tableau 10: Valeurs de ET0-Station météo Kamboinsin K4 (Année 2017)	33
Tableau 11: Comparaison ET0 (Station Ouagadougou et Station Kamboinsin)	34
Tableau 12: Bilan Hydrique Valeurs de ETM(mm/jr).....	34
Tableau 13: Coefficient cultural Kc par phase du cycle végétatif	36

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de répartition géographique de <i>Chrysanthellum indicum</i> DC. Var. <i>afroamericanum</i> (Turner, 1985)	7
Figure 2: Carte de localisation de la zone d'étude	9
Figure 3: Dispositif expérimental d'étude : 09 Lysimètres	16
Figure 4: Lysimètre équipés de tubes de drainage de surface et souterrain.....	16
Figure 5: Courbe d'infiltration du lysimètre P30	19
Figure 6: Conductivité Hydraulique à saturation.....	20
Figure 7: Profil/structure du mélange de terre	21
Figure 8: Evolution du diamètre au collet.....	25
Figure 9: Variation de la profondeur racinaire	26
Figure 10: Quantité de Biomasse Humide et Sèche.....	27
Figure 11: Evolution de la couverture végétale (GC).....	29
Figure 12: Attributs de croissance du <i>C. afroamericanum</i>	31
Figure 13: Evapotranspiration maximale du <i>C. afroamericanum</i>	35
Figure 14: Variation de ETM du <i>C. afroamericanum</i>	35
Figure 15: Evolution de ETM du <i>C. afroamericanum</i>	36
Figure 16: Variation par phases du Coefficient cultural du <i>C. afroamericanum</i>	37
Figure 17: Evolution du Coefficient cultural du <i>C. afroamericanum</i>	38

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: <i>Chrysanthellum indicum</i> var. <i>afroamericanum</i> B. L. Turner.....	4
Photos 2: Mélange de la terre avec du compost de volailles	10
Photos 3: Détermination du taux de matières organiques à l'étuve puis au four.....	10
Photo 4: Mesures d'infiltrations (double anneau de Muntz)	12
Photos 5: Station météo WatchDog -Extraction des données climatiques	15
Photos 6: Dispositif en place : Lysimètres recouverts	23
Photos 7: Quatre Pieds du <i>C. indicum</i> var. <i>afroamericanum</i> dans le lysimètre	17
Planche 1: Evolution Profondeur racinaire par phases	25
Photos 8: Biomasse humide & sèche	27
Photos 9: Graines du <i>C. indicum</i> var. <i>afroamericanum</i>	28
Planche 2: Evolution du <i>C. afroamericanum</i> en fonction du temps.....	30

I. INTRODUCTION GENERALE

1.1. CONTEXTE

Dans un effort de soutien au développement de la foresterie et de la protection de l'environnement, l'Association Au Secours Mon Arbre (ASMA, 2015), une association à but non lucratif, envisage d'enclencher un chantier de recherche sur la détermination des paramètres culturaux de plantes de la flore de la zone tropicale africaine. A terme, la connaissance de ces paramètres devrait permettre aux entrepreneurs qui le désirent d'entreprendre ce qu'on appelle « l'Irrigation Forestière » dans des plantes les plus prometteuses sur les plans cosmétique, nutritionnel, phytothérapeutique et protection environnementale.

1.2. PROBLEMATIQUE

L'exploitation excessive des ressources de la flore ligneuse en zone intertropicale est une menace pour leur pérennisation. Aujourd'hui, les espèces telles que *Milicia excelsa* Welw., *Khaya senegalensis* Desr., *Azelia africana* Sm., *Pterocarpus erinaceus* Poir., ont été identifiées comme en voie de disparition et méritent une attention particulière (Agbahungba *et al.*, 1998). Le bois des espèces ligneuses trouve de multiples applications en menuiserie, dans la production de charbon ou tout simplement de bois de chauffe pour la cuisine. De nombreux pays sahéliens dont le Niger, le Burkina Faso, le Mali, la Mauritanie ou le Sénégal connaissent une avancée inquiétante vers la désertification (Cnued, 1992). Mais en dehors du bois, la destruction des arbres, arbustes et herbes est aussi causée par l'usage de plus en plus pressant de leurs sous-produits par l'industrie cosmétique et les entrepreneurs nutritionnistes et phytothérapeutes. Cette menace anthropique sur la flore est aussi sinon plus insidieuse que le changement climatique car elle agit au niveau local mais simultanément en de multiples endroits. Il existe un vide de connaissances étonnant quant aux paramètres de production des plantes de la flore forestière exploitée par l'homme. On crée d'une part le coefficient cultural (K_c) qui est une grandeur sensée transporter les attributs intrinsèques de la plante indépendants du climat contribuant à son évapotranspiration maximale (ETM), et d'autre part l'Evapotranspiration de référence (ET_o) qui concentre les attributs du climat indépendants de la plante contribuant à cette ETM.

La connaissance des valeurs de K_c 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. Après le développement de ces grandeurs, la recherche a intensifié les actions pour la détermination de Kc pour de nombreuses cultures vivrières et céréalières (tomate, oignon, blé, ...), qui rentrent dans la consommation directe de l'homme (FAO, 2004). Étonnamment, pour les plantes forestières que l'homme n'exploite pas moins, les efforts ont été très limités. C'est dans le but de contribuer à la réduction de ce vide scientifique et technologique qu'ASMA après avoir proposé plus d'une centaine de descriptions vidéo sur les plantes ; envisage d'ouvrir un axe de recherche visant la détermination des coefficients culturaux Kc pour les plantes forestières les plus utiles.

Cette étude se concentre sur le cas du *Chrysanthellum indicum* var. *afroamericanum* B. L. Turner (Asteraceae) une plante herbacée qui connaît actuellement une utilisation en plein essor, justifiant la détermination de ses paramètres de production pour aider à sa pérennisation dans notre écosystème.

II. OBJECTIFS DE L'ETUDE ET HYPOTHESES DE RECHERCHE

2.1. OBJECTIFS

Objectif général

L'objectif général de cette étude est de contribuer au développement des cultures forestières.

Objectif spécifiques

Il s'est agi de façon spécifique de déterminer aux différents stades végétatifs du *C. indicum* les coefficients culturaux Kc et les différents paramètres de croissance.

2.2. RESULTATS ATTENDUS

Aux termes de cette étude, nous devons disposer de données et d'analyses statistiques détaillées de séries chronologiques portant sur les quantités suivantes :

- ✓ L'évapotranspiration de référence ETo autour du dispositif de production ;
- ✓ L'évapotranspiration maximale ETM dans les lysimètres de production ;
- ✓ Les coefficients culturaux Kc ;

- ✓ La production de la biomasse.

2.3 RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

La recherche documentaire a permis de collecter les données secondaires relatives à l'étude. Pour ce faire, différents documents relatifs au *C. indicum* var. *afroamericanum*, à l'irrigation, au bilan hydrique, à l'évapotranspiration et aux coefficients cultureux, ont été consultés. Ils sont pour l'essentiel téléchargés sur le site internet de la FAO (www.fao.com).

Le mémoire s'articule autour de 6 points essentiels. Après avoir présenté les objectifs et la recherche bibliographique qui sous-tendent cette étude, la méthodologie employée pour atteindre ces objectifs sera détaillée et les résultats, exposés. Ensuite une discussion portant sur les principaux résultats sera effectuée. Enfin, une conclusion suivie de recommandations viendront conclure le document.

III. GENERALITES SUR LE *CHRYSANTHELLUM INDICUM* VAR. *AFROAMERICANUM* B. L. TURNER

3.1. HISTORIQUE

Le *C. indicum* var. *afroamericanum* est une plante commune dans les hauts plateaux d'Afrique, mais elle serait originaire d'Amérique du Sud (Pérou, Bolivie). Ce périple explique sa désignation actuelle de *C. indicum* var. *afroamericanum*. C'est une petite fleur couramment nommée la « **camomille d'or** », du grec *chrysos* ou or et *anthos* ou fleur qui commence tout juste à faire parler d'elle. Appelé communément « *Waltouko* » en mooré au Burkina-Faso, sa teneur en flavonoïdes est un véritable trésor de la nature (Akobundu et Agyakwa, 1989).

3.2. PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES

De la famille des Asteraceae, le *C. indicum* var. *afroamericanum* est une espèce annuelle qui se multiplie uniquement par graines. C'est une plante herbacée de 10 cm à 30 cm, à tiges grêles, de section ronde, portant des feuilles, alternes, généralement pennatilobées. Selon Berhaut (1967), le contour général du limbe est triangulaire, de 3 cm à 5 cm de long et d'une largeur équivalente. Les lobes sont mucronés au sommet et chacun porte une nervure médiane. Le pétiole varie de 2 cm à plus de 4 cm. Les inflorescences sont des capitules de

couleur jaune vif, axillaires et terminaux, de 3 mm à 5 mm de diamètre à la floraison et pouvant atteindre 8 mm à 10 mm à maturité. Les fleurs tubuleuses, nombreuses, possèdent 5 lobes égaux ; les fleurs ligulées sont au nombre de 8 à 12. Il y a 5 étamines égales, insérées sur le tube de la corolle.

La photo 1 ci-dessous présente le *C. indicum* var. *afroamericanum* en phase de maturité. Elle présente plusieurs feuilles étalées de couleur verte et des fleurs jaunes bien précises.



Photo 1: *C. indicum* var. *afroamericanum* / Source : Kaboré (2017)

Les cotylédons sont elliptiques, avec un sommet arrondi et une base atténuée en un court pétiole. Ils sont glabres et longs de 10 mm.

Les premières feuilles sont alternes et sessiles. Elles sont simples, mais le limbe est profondément divisé, presque jusqu'à la nervure médiane, en de nombreux segments latéraux. Le port général de la plante est dressé, bien qu'il soit souvent décombant car les nombreuses ramifications radiantes, partant de la base, donnent un aspect de touffe étalée sur le sol avant de se redresser aux extrémités. Elle dépasse rarement 10 à 25 cm de hauteur.

La racine est constituée d'un pivot pourvu de racines secondaires fines.

La tige est quadrangulaire et pleine. Elle est glabre et marquée de fines stries longitudinales.

Les feuilles sont simples et alternes. Elles sont sessiles, mais le limbe est atténué en un pseudo-pétiole plus ou moins long, qui fait paraître les feuilles pétiolées. Le limbe est divisé jusqu'à la nervure médiane en 3 segments. Chaque segment primaire peut être lui-même divisé en 3 segments au sommet. Les segments sont oblongs à lancéolés, apiculés au sommet. Les deux faces sont glabres.

Les fleurs sont assemblées en petits capitules terminaux, longuement pédonculés. Ces nombreux capitules mesurent 3 à 4 mm de diamètre. Ils sont entourés d'un involucre de bractées, disposées sur 1 ou 2 rangs. Les bractées, longues de 4 mm, sont lancéolées, au sommet arrondi et ont une marge papyracée, blanche. Les capitules comportent en périphérie 8 à 12 fleurs ligulées femelles, ayant une courte ligule trilobée, et au centre, de nombreuses fleurs tubulées bisexuées.

Les fruits sont des akènes plats, mesurant 3 mm de haut et 1 mm de large. Ils sont de couleur sombre, oblancéolés et tronqués au sommet. Ils ont une marge cartilagineuse, verte, bordée de poils raides.

En termes de particularité, c'est une plante dressée ou en touffe décombante. Elle est glabre et porte des feuilles alternes profondément divisées. Ces fleurs sont assemblées en nombreux capitules terminaux, longuement pédonculés et de couleur jaune. Les akènes sont plats, sans pointe au sommet, de couleur sombre avec une marge verte (Berhaut, 1967).

3.3. DISTRIBUTION, ECOLOGIE ET CYCLE DE DEVELOPPEMENT

Le *C. indicum* var. *afroamericanum* est une espèce largement répandue dans toute l'Afrique tropicale, bien que peu fréquente en bordure de mer.

Dans les régions soudaniennes, où la pluviométrie annuelle est supérieure à 1300 mm, l'espèce est très fréquente sur les sols ferrugineux bien structurés, notamment dans les zones d'affleurement de cuirasse latéritique et sur les plano-sols. En revanche, en région plus sèche, elle se développe essentiellement sur les sols lourds, très argileux dont l'horizon superficiel est caillouteux, comme les sols fersialitiques ou sur les vertisols et les sols à tendance hydromorphe (Hutchinson *et al.*, 1958).

Elle est très rare sur les sols dont l'horizon superficiel est dégradé et sableux. C'est une bonne

espèce indicatrice de sol fertile. Au Nord-Cameroun, elle est présente dans 20% des parcelles cultivées. Elle est considérée comme une espèce régionale dont la présence est liée à la nature du sol. (Le Bourgeois, 1993).

L'espèce est présente durant toute la saison des pluies. La germination débute lors de l'arrivée des premières pluies importantes en mai. Cette phase dure deux à trois semaines. Après chaque opération de travail du sol, de nouvelles levées ont lieu, pendant une à deux semaines. Les premières floraisons interviennent très rapidement, après une à deux semaines de végétation. En quatre semaines, un cycle complet peut être accompli, de la germination à la production de graines. Cette rapidité de développement a lieu surtout en début de saison culturale et permet à la plante d'assurer sa reproduction, dans le cas de sarclages tardifs. En fin de saison hivernale, avec le raccourcissement de la photopériode, le cycle de la plante se déroule sur une période plus longue, de sept à huit semaines. La plante disparaît en octobre-novembre, après dessèchement en début de saison sèche. Elle peut se maintenir dans les bas-fonds humides, tant que la présence de la nappe assure l'alimentation en eau (Holm *et al.*, 1977).

La figure 1 ci-dessous indique la répartition géographique du *C. indicum* var. *afroamericanum*. D'après la légende, elle est répandue en Afrique tropicale, en Afrique du Sud et à Madagascar. Localement grégaire par endroit, la plante est connue en Ethiopie, au Ghana, au Mali, en Gambie, en Guinée, en Côte d'Ivoire, au Nigéria, au Sénégal, au Togo, au Bénin, au Burkina Faso et au Cameroun. Elle pousse spontanément sur des endroits rudéraux. L'espèce est indicatrice de sols bien structurés et fertiles et préfère généralement les sols à horizons supérieurs sableux (Turner, 1985).

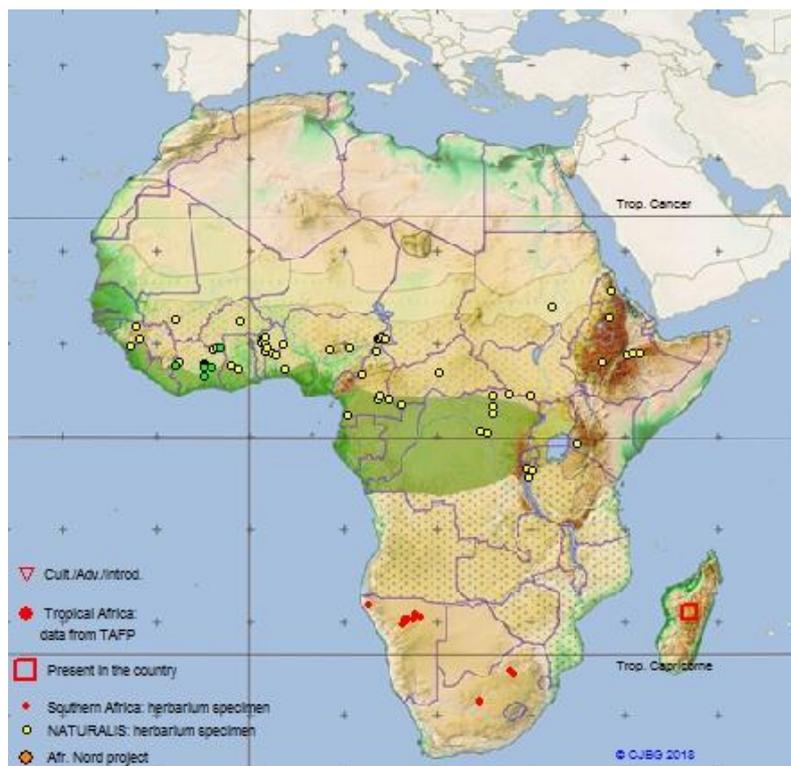


Figure 1: Carte de répartition géographique de *Chrysanthellum indicum* var. *afroamericanum*
Source : B. L. Turner. (1985)

3.4. UTILISATIONS ET IMPORTANCE SOCIO-ECONOMIQUE

Les vertus du *C. indicum* ont été découvertes en Europe depuis une vingtaine d'années suite aux observations des tradi-praticiens rapportées par les médecins et missionnaires. Sa richesse nutritionnelle en bio flavonoïdes lui confère une action bienfaisante sur le système circulatoire et sur le foie. Pratiquement inconnu il y a deux décennies, le *C. indicum* se présente aujourd'hui comme un remède hépato-vasculaire majeur, doté de propriétés anti-lithiasiques et anti-inflammatoires dues à une riche combinaison de bio flavonoïdes spécifiques (Zerbo *et al.*, 2011).

Selon (Turner et Honoré Thorez., 1985) Le *C. indicum* est traditionnellement indiqué dans :

- Les intoxications hépatiques d'origines diverses et plus particulièrement éthylique ;
- L'insuffisance de la sécrétion biliaire ;
- Les troubles digestifs dus aux excès alimentaires et à l'éthylisme, pré-cirrhose cirrhose compensée ;
- Les hyperlipidémies ;
- Les lithiases de toutes origines (notamment biliaires) ;

- Les affections rétiniennes d'origine vasculaire ;
- La fragilité et la perméabilité vasculaires.

Au Burkina Faso cette plante est beaucoup utilisée dans la pharmacopée traditionnelle par plusieurs personnes tradi-thérapeutes. Dans la zone de Banfora, elle est produite et transformée en thé pour la consommation par le laboratoire phytofla du Dr DAKYO et aussi par Mr DIARRA.

IV. MATERIELS ET METHODES

Les investigations se sont déroulés à 2iE-Kamboinsin-K4 à proximité de Ouagadougou et ont été menées simultanément sur le quadruple plan climat – sol – eau – plante.

Pour l'atteinte des 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.

4.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est située dans la région du centre du Burkina-Faso plus précisément dans la commune de Ouagadougou environ 20 km au Nord-Ouest de Ouagadougou.

Le site expérimental de cette étude choisi est la plateforme d'irrigation de 2iE sur K4. Un laboratoire en plein air constitué d'un périmètre irrigué d'environ 0,5 ha munis de divers systèmes d'irrigation plus précisément l'irrigation par aspersion et le goutte à goutte. Cette plate-forme est aussi dotée de systèmes de réutilisations des eaux usées, de station d'épuration et une unité de recherches lysimétriques pour des plantes vivrières et forestières.

La figure 2 ci-après décrit en détails la situation géographique de la zone d'étude.

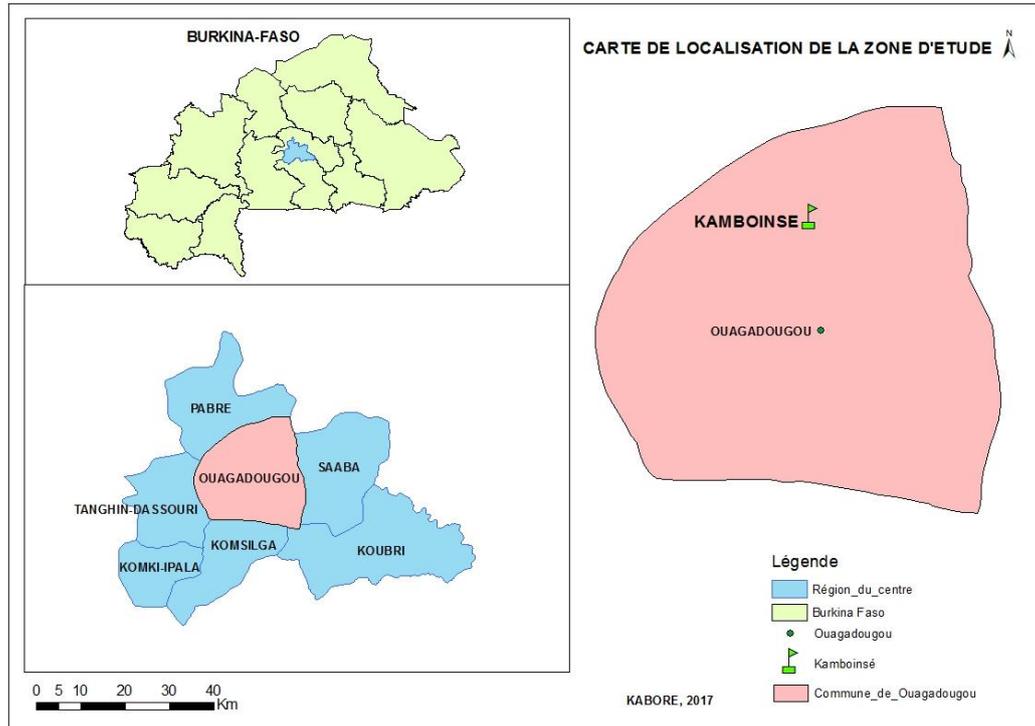


Figure 2: Carte de localisation de la zone d'étude - Source : Kaboré, 2017

4.2 PRESENTATION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental (méthode lysimétrique) est composé de neuf (09) lysimètres en béton de dimension chacun 1m^2 de superficie et de profondeur 1,60 m. Dans chaque lysimètre, il y a respectivement du bas vers le haut du gravier, du sable et dans la partie supérieure le mélange de terre (Keita, 2015). Afin d'augmenter le niveau de matières organiques, on a ajouté à la terre du compost de volailles 30 kg environ sur une superficie de 1m^2 d'une profondeur de 30 cm (volume de $0,3\text{ m}^3$).



Photos 2 : a : Ajout de compost de volailles sur la terre- **b :** Mélange de la terre +compost

Après le mélange, une analyse donnant un taux de matières organiques d'environ 8% a été effectuée dans le laboratoire de Biomasse Energie afin de prévenir tout déficit en engrais. La planche 3 montre le mécanisme et le matériel utilisé.



Photos 3 : a : Mécanisme de détermination du taux de matières organiques à l'étuve

b : Mécanisme de détermination du taux de matières organiques au four

Des creusets, un dessiccateur, une étuve et un four ont été les matériels utilisés pour la détermination du taux de matières organiques.

a.) Mode Opérateur

Prélever premièrement l'échantillon, environ 15 g. Nettoyer ensuite les creusets, les sécher à l'étuve pendant 20 minutes et les placer au dessiccateur pendant 5 à 10 mn pour qu'ils refroidissent. Selon la méthode par étuvage, après avoir pesé les creusets à vides et ensuite avec la terre pour obtenir la masse de terre, mettre les creusets à l'étuve à 105° durant quatre (4) heures pour éliminer la masse de l'eau. Enfin peser une fois refroidis au dessiccateur puis replacer au four à 900 degré pendant 4 heures et laisser stabiliser pendant 3heures. Peser de nouveau les creusets avec la cendre (méthode par calcination au four à moufle).

b.) Méthodes de calcul

La teneur en eau ou humidité totale rapportée à l'échantillon nommée W et exprimée en pourcentage est calculée à partir de la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité } W = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} * 100$$

Où m1 est la masse du récipient à vide (g) ; m2 la masse du récipient + échantillon avant séchage (g) et m3 la masse du récipient +échantillon après séchage (g)

Le taux de cendres nommé B et exprimé en pourcentage est calculé par la formule suivante :

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

Avec, m1 qui correspondant a la masse du creuset à vide (g) ; m2, la masse du creuset échantillon anhydre avant séchage (g) ; m3, la masse du creuset avec les cendres et W le taux d'humidité

Ainsi, la formule du taux de matières organiques est donnée comme suite :

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

Aussi, il a été déterminé pour les sols, la réserve utile RU à partir d'essais d'infiltration sur les neuf (09) lysimètres installés, conduisant à la conductivité hydraulique Ksat, puis aux deux humidités caractéristiques. Pour cela, les mesures d'infiltrations ont été effectuées par la méthode des doubles anneaux de Muntz. Le logiciel Graph pad Prisme et Soil-Water-Characteristics ont été utilisés pour l'analyse et l'interprétation des données. Une fois le Ksat

déterminé, sa valeur est rentrée dans le logiciel Soil-Water-Characteristics donnant ainsi les humidités caractéristiques et le type de sol.

c.) Mode opératoire infiltration double anneaux de Muntz

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

Tout d'abord, le cylindre central est enfoncé à la masse, en interposant un madrier de bois tout en contrôlant l'horizontalité avec un niveau à bulle. Ensuite, le cylindre extérieur est placé en se déplaçant le long de la circonférence pour le maintenir horizontal. Les anneaux sont enfoncés dans le sol à environ 3 cm, et sont remplis d'eau à une hauteur convenable. Le niveau d'eau de l'anneau extérieur doit être maintenu constamment égal au niveau d'eau de l'anneau intérieur. Les mesures de baisse de niveau se font dans le petit anneau et dans le temps. Les mesures sont arrêtées lorsque la vitesse d'infiltration se stabilise (Keita, 2009a).



Photo 4: Matériels de mesures d'infiltrations (double anneau de Muntz)

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 (exponential one-phase decay).

Équation quadratique $(I_t) = B_0 + B_1t + B_2t^2$

Équation exponentielle $(I_t) = (Y_0 - Plateau) \exp(-Kt) + Plateau$ Avec : B_0 (mm/h), B_1 (mm/h²), B_2 (mm/h³) 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), $Plateau$ (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.

La connaissance des humidités caractéristiques ont permis de déterminer la réserve utile RU. Elle est alors obtenue par la formule suivante :

$$\blacksquare \quad RU = \Theta_{FC} (\%) - \Theta_{WP} (\%)$$

4.3 ETUDE DES PARAMETRES DE CROISSANCE DE LA PLANTE

Concernant la plante, plusieurs grandeurs importantes ont été mesurées par semaine. Après germination des semences sur germeoir, les plants ont été transférés dans les lysimètres enveloppés de sacs pour limiter l'échauffement du béton. Durant les essais, les paramètres traduisant les attributs de la croissance notamment, la profondeur d'enracinement, le diamètre au collet, la hauteur de tige, le nombre de branches, le nombre de feuilles par branche, la couverture du sol (GC), la biomasse humide à la récolte, la biomasse sèche à la récolte, le poids de 1000 graines, et la teneur en eau des graines ont été déterminées. Un double décimètre pour les mesures de hauteur, le pied à coulisse pour le diamètre au collet et une balance (MonoBloc B2002-S) pour la mesure des poids ont été utilisés.

$$\blacksquare \quad GC (\%) = \frac{\text{Superficie totale feuillage des 4pieds} \times 100}{\text{Superficie totale du lysimètre}}$$

Mille (1000) graines du *C. indicum* ont été prélevées après la récolte et fait passer à l'étuve (105°C) pendant quatre (04) heures donnant ainsi la teneur en eau des graines du *C. indicum*.

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



Matériel végétal : graines
du *Chrysanthellum* semées
03 Octobre 2017



Double décimètre



Pied à coulisse



Balance (MonoBloc B2002-S)

4. 4 DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERNECE (ET_0)

En ce qui concerne le climat, une station météo complète *WatchDog* a été utilisée pour mesurer quotidiennement les paramètres entrant dans le calcul Penman-Monteith de ET_0 . Ces paramètres sont les températures mini et maxi, la vitesse du vent à 2 m au-dessus du sol, les pressions de vapeur saturante et actuelles, l'humidité relative, et la radiation solaire.

La station WatchDog a été installée à 2 mètres du sol près du dispositif mis en place sur le terrain. En effet, sur la base des résultats de plusieurs études, notamment celles de Jensen *et al.*(1990), la consultation d'experts menée par la FAO sur la méthodologie d'estimation des besoins en eau des cultures, a conduit à recommander la méthode de Penman-Monteith comme méthode privilégiée d'estimation de ET_0 du gazon, et donc pour servir de base à la détermination des coefficients culturaux.

Équation 1: Formule de Penman-Montheih (FAO)

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

Avec :

- ET_0 : évapotranspiration de référence journalière (mm/j) ;
- R_n : rayonnement net à la surface de culture ($M J/m^2/j$) ;
- G : flux de chaleur échangé avec le sol ($M J/m^2/j$) ;
- T : température moyenne journalière ($^{\circ}C$) ;
- U_2 : vitesse moyenne journalière du vent mesuré à 2 mètres (m/s) ;
- e_s et e_a : respectivement la pression de vapeur saturante et la pression réelle de l'air à la même hauteur (kPa) ;
- Δ : pente de la courbe de pression de vapeur saturante à la température T (kPa / $^{\circ}C$) ;
- γ : constante psychrométrique (kPa / $^{\circ}C$) ;
- 900 coefficient pour la culture de référence (kg K/ kJ) liées aux unités utilisées à la distribution de variables \tilde{n} , c_p et r_a ;
- 0,34 : coefficient de vent pour la culture de référence (kg K/ kJ) résultant du rapport r_s / r_a , 0,408 inverse de $\dot{e} = 2,45 MJ/ kg$.



Photos 5: a : Station météo *WatchDog* – **b** : Matériels d'extraction des données climatiques

L'extraction des données climatiques a été faite à l'aide du logiciel SpecWare9. Les paramètres entrant dans le calcul de ET_0 mesurés par la station *WatchDog* sont, la vitesse du vent (U_2); les températures (T_{min} ; T_{max}) ; les humidités relatives (R_{hmin} ; R_{hmax}) et le rayonnement solaire (R_s). Ces paramètres ont permis de calculer de l'évapotranspiration de référence avec la formule de Penman et Montheih. (Lincoln *et al.*, 2010).

4.5 DETERMINATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION MAXIMALE (ETM)

Pour ce qui est du suivi de l'eau, en vue de l'établissement du bilan hydrique quotidien, il a été mesuré simultanément sur les neuf (09) lysimètres l'irrigation (apport d'eau), la percolation profonde (drainage) et l'évaporation.

La figure 3 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 : P10 ; P11 ; P20 ; P21 ; P22 ; P30 ; P31 ; P32 ; P33.

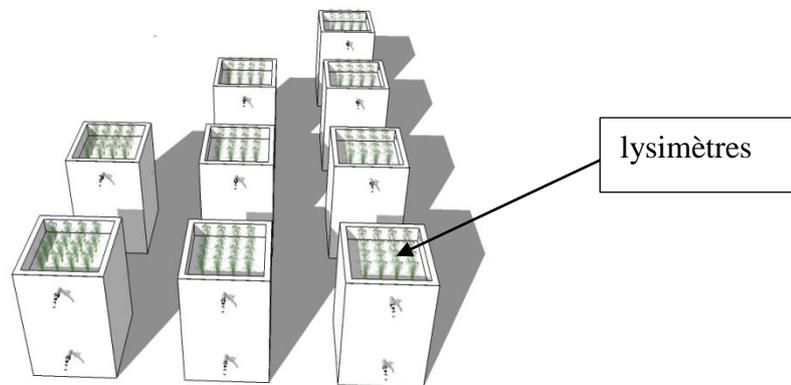


Figure 3: Dispositif d'étude expérimental : dans neufs Lysimètres

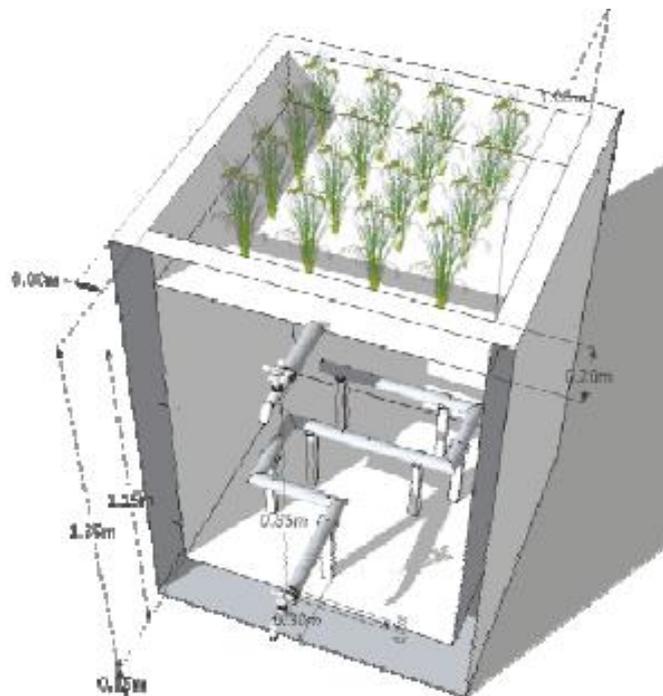


Figure 4: Lysimètres en béton équipés de tubes de drainage de surface et souterrain.

Les photos ci-dessous présente les lysimètres raccordés par un tuyau et un bidon au bas afin de prélever l'eau du drainage. La mise en place des entonnoirs et du tuyau pvc ont servis pour mesurer la température du sol et recueillir l'eau de ruissellement en cas de pluie.

L'évapotranspiration maximale ETM a été donc calculée par l'équation du bilan hydrique.



Photos 6: a :Lysimètres raccordés par les tuyaux – b :Lysimètres recouverts par les sacs - c :Mise en place de l'entonnoir et le tube PVC dans les lysimètres

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

Équation 2: Equation du bilan hydrique

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

Où P est la pluie, I est l'irrigation apportée à la plante, R le ruissellement, D le drainage, ETM l'évapotranspiration maximale et Δs la variation de stock.

L'irrigation apportée à la plante tous les deux jours, ramène toujours au même niveau, l'humidité du sol (niveau vérifié dans un piézomètre installé). Par conséquent, la variation de stock est considérée comme nulle.

Se trouvant dans la période non pluvieuse (fin de saison pluvieuse), la pluie et le ruissellement sont considérés comme nuls, ($P=0$ et $R=0$). D'où: $ETM = I - D$

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, $ETM_{Loc} = K_r * ETM$ (Keïta, 2009a)

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

Équation 3: Formule d'Evapotranspiration maximale

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

4.6 DETERMINATION DE COEFFICIENT CULTURAL K_c

La connaissance de ETM et ET_0 a permis de déterminer le coefficient cultural à différents stades végétatifs de la plante selon la relation $ETM = K_c \times ET_0$

Équation 4: Formule du coefficient cultural K_c

$$K_c = \frac{ETM}{ET_0}$$

V. RESULTATS – DISCUSSION

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

5.1. RESULTATS DES MESURES D'INFILTRATION (SOL)

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

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 B_0 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 Y_0 . 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 campagne des mesures.

La conductivité hydraulique K_{sat} du sol dans ce lysimètre correspond à la partie basse de la courbe d'infiltration.

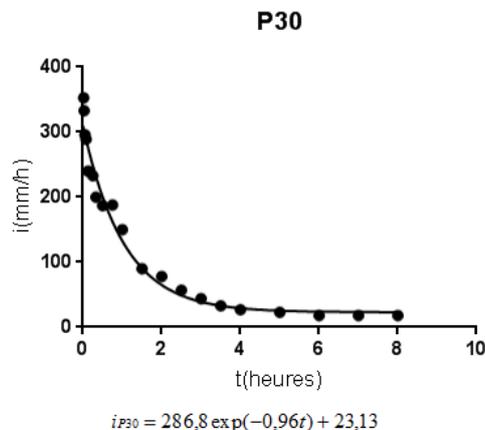


Figure 5: Courbe d'infiltration du lysimètre P30

Les résultats de la conductivité hydraulique sont consignés dans le tableau 1 et la figure 6. Le coefficient de variation $Cv < 10\%$ montre que les lysimètres sont homogènes avec en moyenne une valeur de $23 \pm 1,97$ mm/hr de la conductivité hydraulique à saturation (Ksat).

Tableau 1 : Valeurs Conductivité Hydraulique(Ksat)

Lysimètres	Ksat (mm/hr)
P10	21,3
P20	24,53
P30	23,13
P11	23,76
P21	18,05
P31	23,93
P22	22,65
P32	23,81
P33	22,69
Moyenne	22,65
Ecart-Type	1,97
Coeff.Variation	8,69

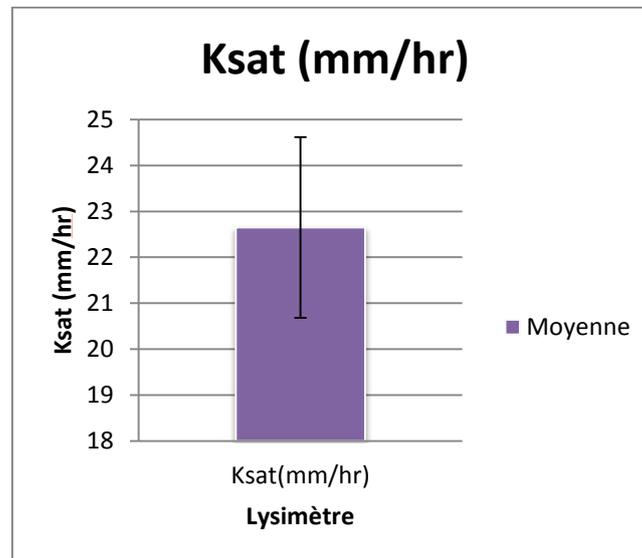


Figure 6: Conductivité Hydraulique à saturation

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 2 suivant :

Tableau 2: Caractéristiques du Sol

Ksat (mm/hr)	23,00
Θ_{FC} (%)	32,20
Θ_{WP} (%)	19,80

a.) Réserve utile (RU)

Par application de la formule avec les humidités caractéristiques déterminés, nous obtenons **RU = 12,4 (%)** Soit 12,4 cm/m ou 124mm/m

b.) Texture du sol

La connaissance de la conductivité hydraulique Ksat a permis d'identifier le type de sol et les différentes composantes qui la caractérise (figure 7) à partir du logiciel Soil water characteristics.

La nature du mélange de terre est de type sablo-argilo-limoneux.

Il est composé de 14% de limon, 24% d'argile, et 62% de sable.

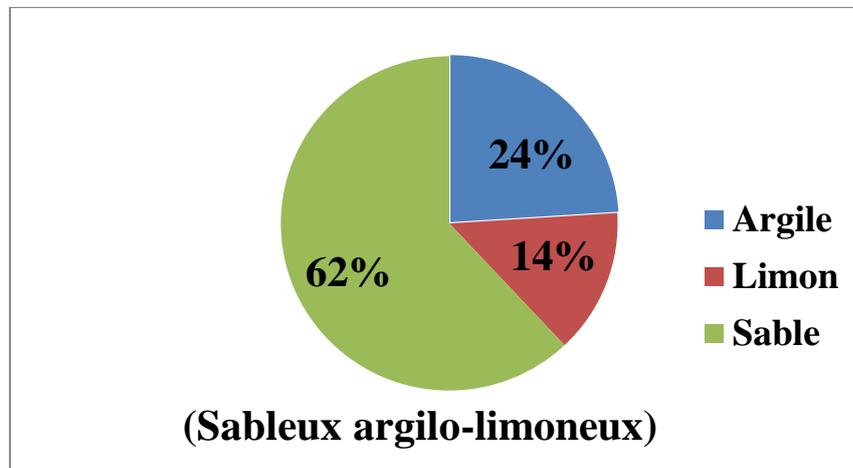


Figure 7: Profil/Structure du mélange de terre

Tableau 3: Taux de matières organiques (%) suivant les lysimètres

N°Lysimètres	Taux de matières organiques(%)
P10	7,97
P11	9,95
P20	8,14
P21	8,21
P22	7,92
P30	8,05
P31	8,02
P32	7,86
P33	6,85
Moyenne	8
Ecart-type	1

Selon les résultats présentés dans le tableau 3, le taux de matières organiques apporté au sol est de $8\% \pm 1$. Ce résultat explique la fertilité du sol et sa capacité d'infiltration. En effet, la matière organique est une source de vie microbienne assurant la fonction biologique du sol pour une meilleure fertilité. Selon Sangaré (2002), l'apport de fumier a permis d'améliorer l'effet travail du sol. En effet 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.

5.2. PARAMETRES DE CROISSANCE DU *C. INDICUM*

La photo 7 suivante, présente quatre pieds du *C. indicum* var. *afroamericanum* en phase de récolte dans le lysimètre. On constate une multiplication saisissante des branches et des petites fleurs accolés au bout. Le *C. indicum* var. *afroamericanum* est une plante adventiste qui se développe sur un sol qui est bien drainé.



Photo 7: Quatre Pieds du *C. indicum* var. *afroamericanum* dans le lysimètre

Les différentes notions de croissance (multiplication de branches, feuilles, floraison, etc...) ont permis d'identifier les différents stades du *C. indicum* var. *afroamericanum*.

5.2.1 Stades végétatifs

Pour ce qui est du cycle cultural du *C. indicum* var. *afroamericanum*, les stades distingués sont consignés dans le tableau 4 suivant :

Le cycle végétatif du *C. indicum* var. *afroamericanum* est d'environ 77 jours Soit 02 mois 17 jours.

Tableau 4: Cycle végétatif-Durée de chaque phase

Phases	Nombre de jours
Phase Initiale	27
Phase de Croissance	18
Phase de Maturité	18
Phase de Récolte	14

Les résultats montrent que la phase initiale dure 27 jours, la phase de croissance et de maturité 18 jours chacun et 14 jours pour la phase de récolte. En temps normal le cycle du *C. afroamericanum* est de trois mois (Turner *et al.*,1985). En effet, nos résultats seraient dus à l'entretien, l'irrigation apportée à la plante et aussi au sol riche en matières organiques.

5.2.2 Diamètre au collet

La mesure du diamètre au collet des plantes, n'a pas été possible depuis la phase initiale à cause de sa fragilité mais aussi du fait que la plante croit en s'étalant. Néanmoins quelques mesures lors de la phase de maturité ont été obtenues.

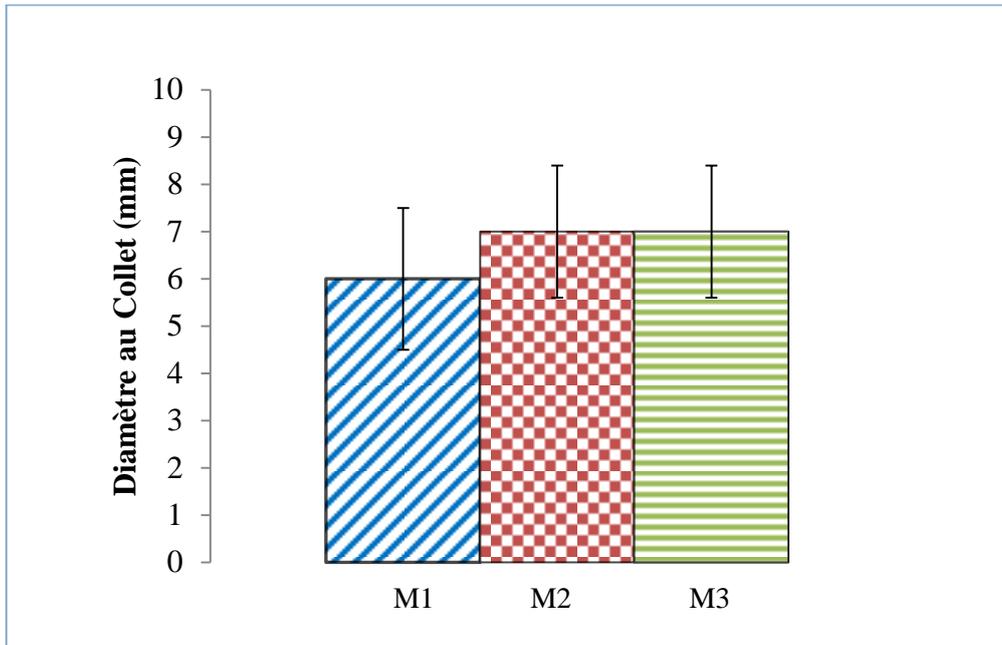
Le tableau 5 ci-dessous montre les valeurs du diamètre au collet du *C. indicum* var. *afroamericanum* dans les lysimètre à chaque mesure.

Tableau 5: Variation du diamètre au collet des plantes

Diamètre au Collet des plantes(Cm)/Bassins			
Lysimètres	M ₁	M ₂	M ₃
P10	0,6	0,7	0,7
P11	0,5	0,5	0,5
P20	0,9	0,9	0,9
P21	0,5	0,6	0,6
P22	0,4	0,5	0,5
P30	0,5	0,6	0,6
P31	0,7	0,8	0,8
P32	0,8	0,8	0,8
P33	0,5	0,5	0,5

Légende : P10 = Lysimètre 1 - M₁= Mesure 1- M₂= Mesure 2- M₃= Mesure 3

La figure 8 montre l'évolution du diamètre au collet du *C. indicum* var. *afroamericanum*. Trois (03) mesures hebdomadaires ont été effectuées à cause de la fragilité de la plante et du fait qu'elle s'étale ne donnant pas facilement accès à son collet. Les mesures ainsi trouvées ne donnent pas de différences significatives ; elle varie en moyenne de 6±1,5 mm à 7±1,4 mm.



Légende : M1=Mesure 1 (06-dec) -M2=Mesure 2 (13-dec) -M3=Mesure 3 (18-dec)

Figure 8: Evolution du diamètre au collet

5.2.3 Profondeur racinaire

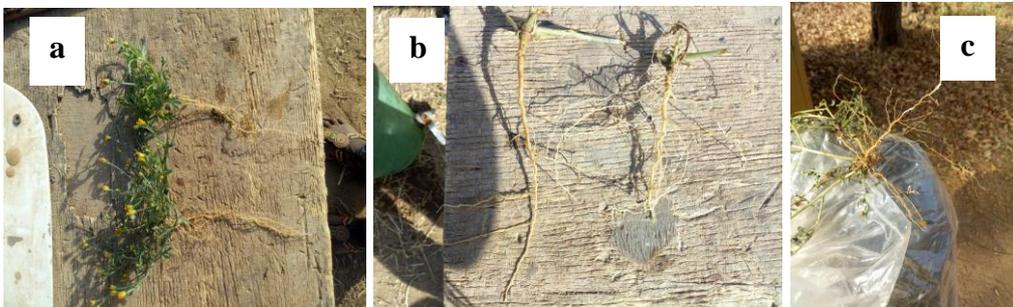


Planche 1: Evolution de la croissance racinaire

a: Phase de croissance

b: Phase de maturité

c :Phase de récolte

La profondeur d'enracinement de la plante a été mesurée à chaque phase du cycle végétatif. La profondeur racinaire du *C. indicum* var. *afroamericanum* est de 18,5 cm. La figure 9 montre une croissance régulière de la profondeur racinaire pas d'entrave, développement bien fait.

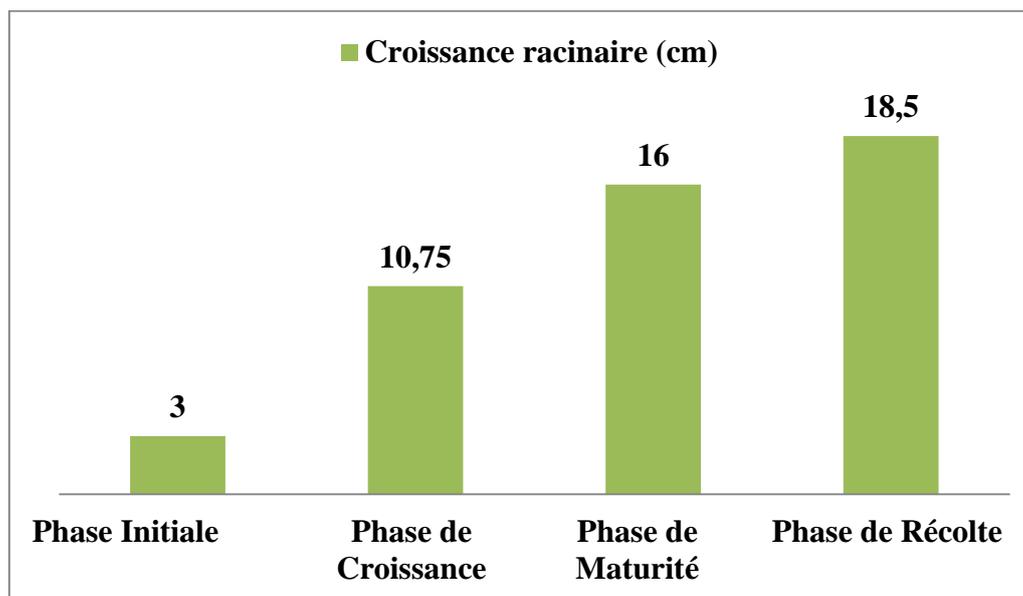


Figure 9: Variation de la croissance racinaire

Ces résultats obtenus sont basés sur la mesure d'un seul groupe de plante 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. Elle évolue d'une profondeur de 3 cm à environ 18,5 cm à la récolte. La profondeur d'enracinement du haricot et du pois est comprise entre 30 à 60cm (Vitosh, 1977) contrairement au *C. indicum* var. *afroamericanum* qui a une profondeur de 18,5cm environ. Cette différence s'explique par le fait que le *C. indicum* var. *afroamericanum*, est une plante herbacée munie de petites feuilles ; de biomasse propre et spécifique notamment dû à son système racinaire moins profond. En effet, Les racines jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement et donc dans la production des plantes. C'est grâce à elles que se fait l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux de celle-ci.

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

5.2.4 Biomasse humide - Biomasse sèche à la récolte

A la récolte, le poids de la biomasse humide a été mesuré. Après la récolte le

C.afroamericanum a été séché à l'ombre pendant 5 jours et la biomasse sèche a été mesuré.



Photos 8 : a : Biomasse humide b : Biomasse sèche c : Appareil de mesure du poids de la biomasse

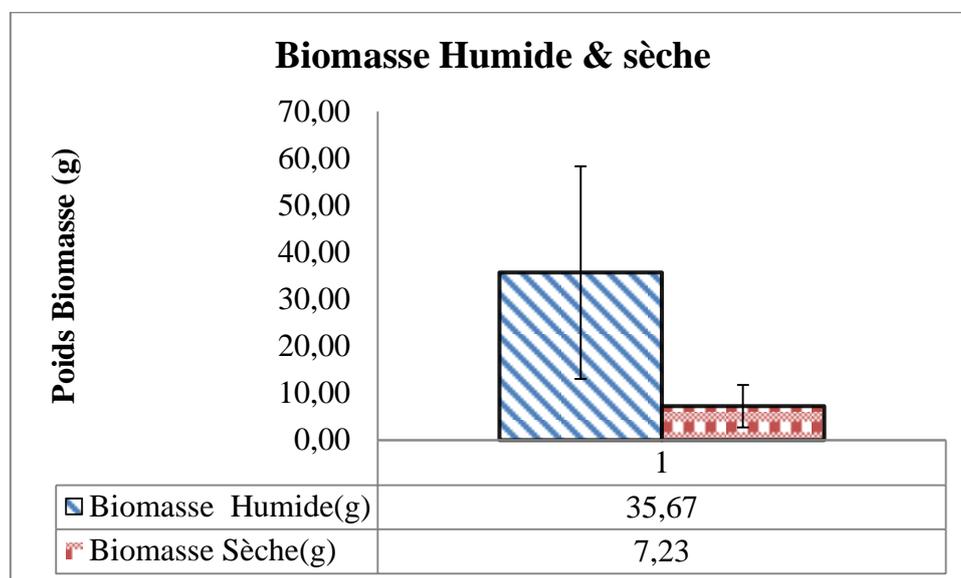


Figure 10: Quantité de Biomasse Humide et Sèche

La quantité de biomasse humide est de $35,67 \pm 22,00$ g et celle de la biomasse sèche est de $7,23 \pm 4,5$ g.

Sur une superficie d'1m² la production moyenne par lysimètre est de 35,67g

Approximativement à l'hectar, elle est environ de 356,7 kg avec environ 40 000

5.2.5 Poids de 1000 graines -Teneur en eau des graines du *C.afroamericanum*

Les graines du *C. afroamericanum* sont de très petites tailles d'où la valeur du poids des 1000 graines qui est de 1,22g.



Photos 9 : Graines de petites tailles et très légères

Le tableau 6 présente la teneur en eau dont la moyenne est de $5,1 \pm 0,99$ %.

Tableau 6: Teneur en eau des graines du *C. afroamericanum*

	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Teneur en eau des graines (%)
Echantillon 1	2,04	1,95	4,4
Echantillon 2	2,06	1,94	5,8
Moyenne (%)			5,1
Ecart-type			0,99

La teneur en eau des graines < 10% par conséquent, les graines du *C. indicum* sont de types orthodoxes c.-à-d. qui supportent la dessiccation (conservation des semences sur une longue durée).

5.2.6 Couverture végétale du sol (GC)

Le Ground Cover (GC) est le pourcentage de l'ensemble de végétaux recouvrant le sol de manière permanente ou temporaire. Il a été calculé aux différents stades végétatifs de la plante à l'aide des mesures de la longueur et la largeur en fonction de la superficie ; les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 7 suivant.

Tableau 7: Taux de la couverture Végétale(%)

Stades végétatifs	GC (%)	$Kr = 0,1\sqrt{GC(\%)}$
Phase Initiale	5%	0,223
Phase de Croissance	10%	0,316
Phase de Maturité	30%	0,54
Phase de Récolte	46,41%	0,681

L'état du *C. afroamericanum* en fonction du temps est défini ci-dessous sur les images suivantes

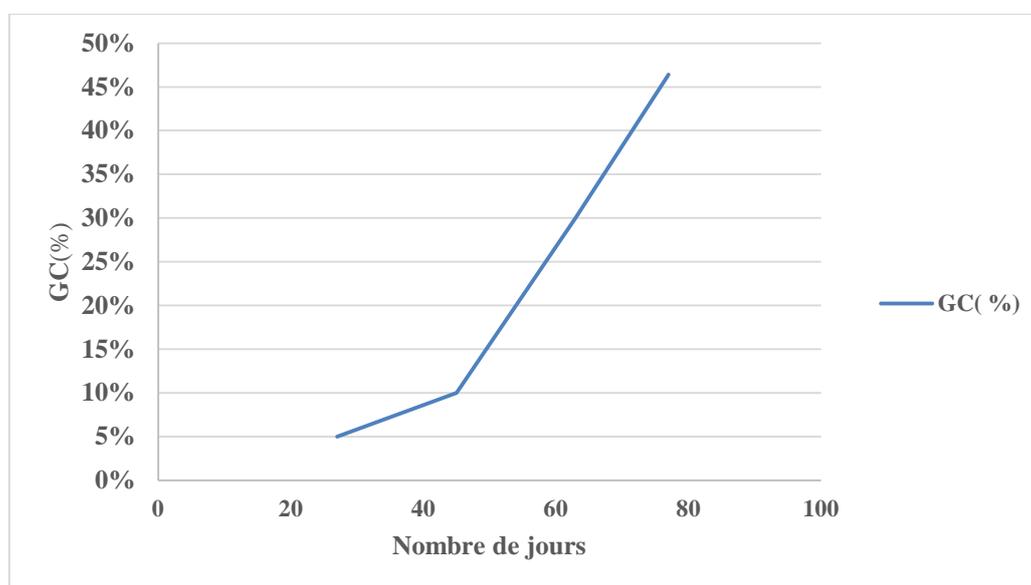
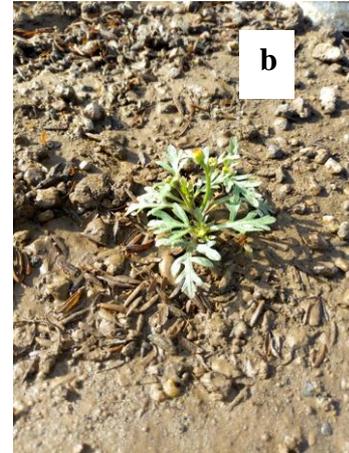


Figure 11: Evolution de GC en fonction du nombre de jours

➤ Repiquage 27/10/2017



Niveau de la Plante 03/11/2017



➤ Niveau de la Plante 17/11/2017



➤ Niveau de la Plante 04/12/2017



Niveau de la plante 20/12/2017



Planche 7 : Evolution du *C. afroamericanum* en fonction du temps

Légende

a : Niveau de la plante 27/10/2017 - **b :** Niveau de la plante 03/11/2017 **c :** Niveau de la plante 17/11/2017- **d :** Niveau de la plante 17/11/2017 **e :** Niveau de la plante 04/12/2017- **f :** Niveau de la plante 20/12/2017 -**g :** Niveau de la plante 20/12/2017

5.2.7 Attributs de croissance de la plante

Les attributs de croissance notamment les différentes hauteurs, le nombre de branches et le nombre de feuilles sont consignés dans la figure 12 suivante :

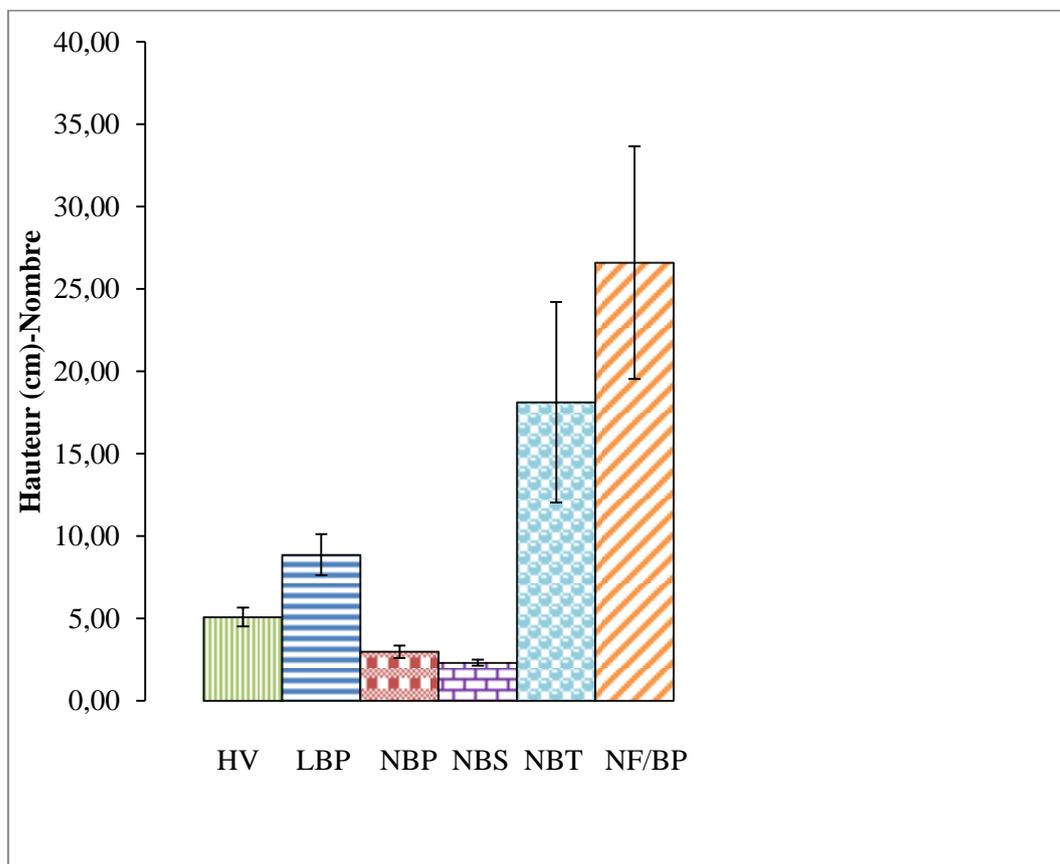


Figure 12: Attributs de croissance du *C. afroamericanum*

Légende : HV= hauteur verticale –LBP= longueur branche principale –NBP = nombre de branches principales –NBS= nombre de branches secondaires –NBT= nombre de branches tertiaires –NF/BP= nombre de feuilles par branche principale

La hauteur verticale moyenne du *C. afroamericanum* est environ $5 \pm 0,57$ cm et la longueur des branches principales est en moyenne $9 \pm 1,3$ cm.

Le nombre de branches principales dans chaque plante est de $03 \pm 0,4$ et le nombre de branches secondaires est également de $03 \pm 0,2$. Concernant le nombre de branches tertiaires, nous avons environ 17 ± 6 et le nombre de feuilles par branche principale est en moyenne 26 ± 7 .

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

a.) Comparaison des moyennes : Test d'ANOVA

En formulant comme hypothèses :

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

H_a : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Le seuil de signification est fixé à 0,05. Le test donne les résultats dans le tableau 8 suivant.

Tableau 8: Résultat du test d'ANOVA sur les différents lysimètres

Attributs de Croissance	Hauteur verticale	Nombre Branches Tertiaires	Nombre Feuilles/Branches	Longueur Branches Principales
p-value	0,207	0,301	0,282	0,004
Hypothèse retenue	H ₀	H ₀	H ₀	H _a

Nous remarquons que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$ pour la hauteur verticale, le nombre de branches tertiaires et le nombre de feuilles par branches principales. Nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle H₀. De plus, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H₀ alors qu'elle est vraie est respectivement de 20,70% ; 30,10% et 28,2%. Nous pouvons donc conclure que les lysimètres sont homogènes en matière de hauteur, nombre de branches tertiaires et nombre de feuilles.

Par contre, la p-value calculée pour la longueur des branches principales est inférieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$. Ainsi, il y a des différences significatives en termes de longueur des branches principales sur les lysimètres.

b.) Comparaison des médianes : Test de *Kruskal-Wallis*

En considérant les hypothèses suivantes :

H₀ : Les échantillons proviennent de la même population.

H_a : Les échantillons proviennent de populations différentes.

Le seuil de signification est fixé à 0,05 ; le test de *Kruskal-Wallis* présente le résultat suivant :

Tableau 9: Résultat du test de *Kruskal-Wallis* sur les différents lysimètres

Attributs de Croissance	Nombre de Branches	Nombre de Branches
	Secondaires	Principales
p-value	0,232	0,004
Hypothèse retenue	H0	Ha

Nous remarquons que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$ pour le nombre de branches secondaires. Nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle H0. De plus, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est de 23,20%. Nous pouvons donc conclure que les lysimètres sont homogènes en matière de nombre de branches secondaires.

Par contre, la p-value calculée pour le nombre de branches principales est inférieur au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$. Ainsi, il y a des différences significatives en termes de nombre de branches principales sur les lysimètres.

5.3. EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE (ET_0)

Les résultats de l'évapotranspiration de référence ET_0 sont récapitulés dans le tableau 1 suivant.

Tableau 10: Valeurs moyennes mensuelles de ET_0 -Station météorologique Kamboinsin K4 (Année 2017)

Mois	ET_0 (mm/jr)	Ecart-type
Octobre	4,17	0,49
Novembre	3,68	0,64
Décembre	3,71	0,48

Les valeurs de l'évapotranspiration de référence ET_0 déterminées sont pour le mois d'octobre de $4,17 \pm 0,49$ mm/jr ; le mois de novembre $3,68 \pm 0,64$ mm/jr et le mois de décembre $3,71 \pm 0,48$ mm/jr.

Le climat est l'un des facteurs qui influe le plus sur le volume d'eau que la culture perd par évapotranspiration selon Doorenbos et Pruitt (1977). C'est un des paramètres clé entrant dans la détermination du coefficient cultural (Kc).

Les résultats de comparaison de l'évapotranspiration de référence ET_0 sont récapitulés dans le tableau 11 suivant.

Tableau 11: Comparaison ET_0 (Station Ouagadougou et Station Kamboinsin)

Mois	ET_0 mm/jr (Station Ouagadougou- Aéroport)	ET_0 mm/jr (Station Kamboinsin K4)	Ecart relatif
Octobre	5,5	4,17	0,24
Novembre	5,6	3,68	0,34
Décembre	5,8	3,71	0,36

Les valeurs de ET_0 de la station météorologique de Ouagadougou-aéroport correspondent à peu près à celles de Kamboinsin avec des écarts relatifs de l'ordre de 0,24 pour le mois d'octobre ; 0,34 pour le mois de novembre et 0,36 pour le mois de décembre.

Ces différences ramenées sur les valeurs de ET_0 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 ET_0 sont approximativement proches les unes des autres.

5.4. EVAPOTRANSPIRATION MAXIMALE (ETM)

Les résultats de l'évapotranspiration maximale ETM issue du bilan hydrique sont consignés dans le tableau 12 suivant.

Tableau 12: Bilan Hydrique Valeurs de ETM(mm/jr)

N°	Bilan Hydrique/Décades	ETM(mm/jr)	ETM localisée	Ecart-type
1	ETMloc : 27/10/au 06/11	8,72	2,47	0,15
2	ETMloc : 07/11/au 17/11	12,03	4,5	0,20
3	ETMloc : 18/11/au 29/11	8,83	4,84	0,24
4	ETMloc : 30/11/au 10/12	7,69	4,81	0,26
5	ETMloc : 11/12/au 22/12	4,51	3,07	0,15

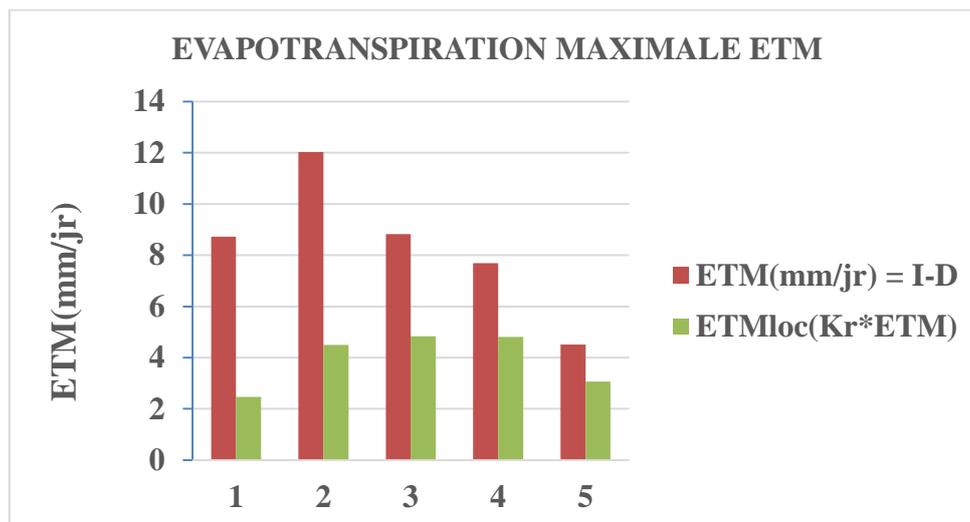


Figure 13: Variation de l'évapotranspiration maximale du *C. afroamericanum*

La figure 14 suivante restitue le calcul de ETM durant tout le cycle végétatif du *C.afroamericanum*.

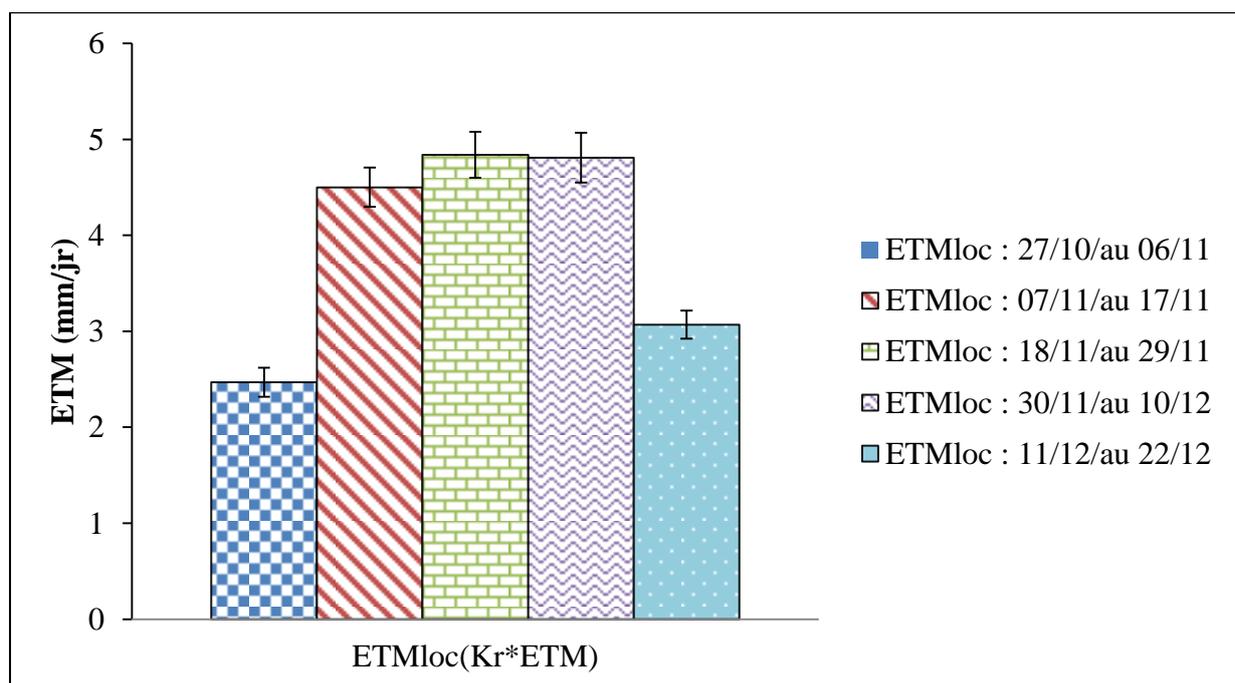


Figure 14: Variation de l'évapotranspiration maximale du *C. afroamericanum*

A partir du bilan hydrique, le calcul de ETM a été évalué durant tout le cycle sur un temps de 10 jours. Ainsi, 05 valeurs moyennes ont été obtenues depuis la phase initiale jusqu'à la phase de récolte. La 1^{ère} est de $2,47 \pm 0,2$ et la 2^{nde} de $4,5 \pm 0,2$. L'ETM3, L'ETM4 et l'ETM5 sont respectivement de $4,84 \pm 0,2$; $4,81 \pm 0,3$ et $3,07 \pm 0,1$.

Les mêmes résultats sont présentés sous une forme commune acceptés par la FAO (figure 15) montrant ainsi l'évolution de l'ETM en fonction de l'évolution de la plante.

Les résultats obtenus traduisent bien le comportement et les besoins en eau de la plante à chaque stade végétatif. En effet au début, 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 (Richard *et al.*, 1998).

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

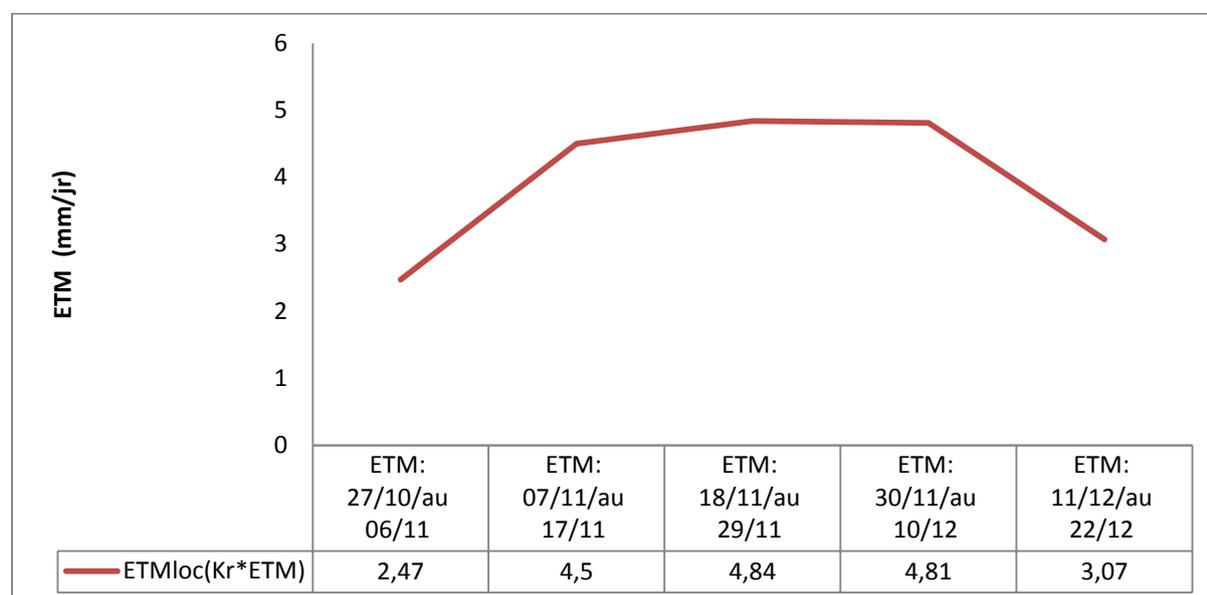


Figure 15: Evolution de ETM du *C. afroamericanum*

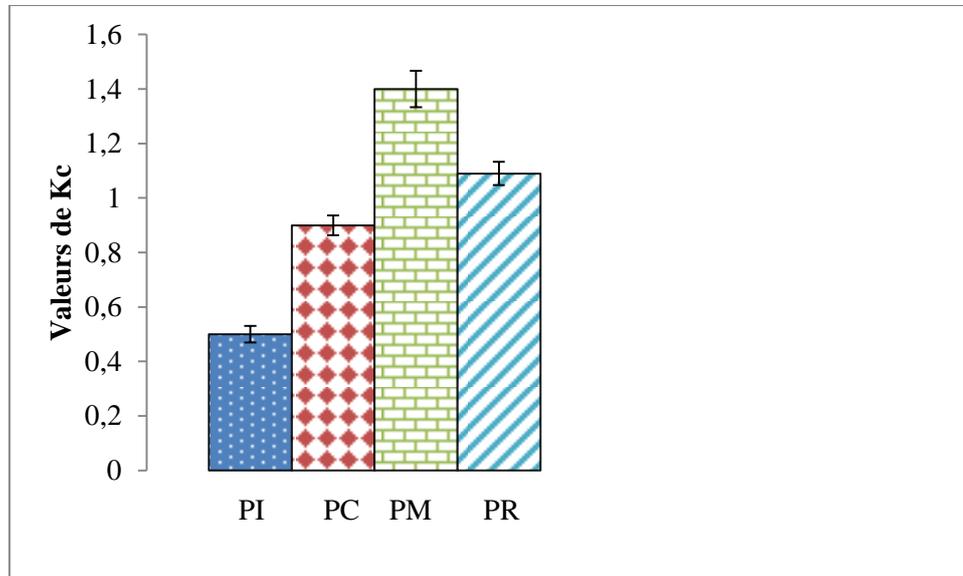
5.5. COEFFICIENT CULTURAL K_c DU *C.AFROAMERICANUM*

Le tableau 13 donne les valeurs du coefficient cultural par phases du cycle végétatif.

Tableau 13: Coefficient cultural K_c par phase du cycle végétatif

Phases	K_c	Ecart-type
Phase initiale	0,5	0,03
Phase de croissance	0,9	0,04
Phase de maturité	1,4	0,07
Phase de récolte	1,09	0,04

Les résultats du coefficient cultural par phases avec les écarts-types (70%) d'intervalle de confiance sont représentés par la figure 16 suivant.



Légende : PI=Phase initiale –PC=Phase de croissance –PM=Phase de maturité –PR=Phase de récolte

Figure 16: Variation du coefficient cultural (Kc) du *C. indicum* var. *afroamericanum*

Les coefficients culturaux obtenus sont identifiés pour chaque phase.

Le coefficient cultural (Kc) de la phase initiale est de $0,5 \pm 0,03$ et de la phase de croissance a une valeur de $0,9 \pm 0,04$. Pour la phase de maturité et celle de la récolte, nous avons respectivement, $1,4 \pm 0,07$ et $1,09 \pm 0,04$.

Les valeurs que nous avons déterminées avoisinent celles d'autres cultures de la même nature. En effet, le pois a un Kc de 0,45 à la phase initiale ; 0,8 à la phase de croissance ; 1,15 à la phase de développement et enfin 1,05 à la phase de récolte (Brouwer *et al.*, 1986).

En comparant ces résultats, nous pouvons dire que les valeurs de kc varient d'une plante à l'autre et aussi en fonction des paramètres climatiques.

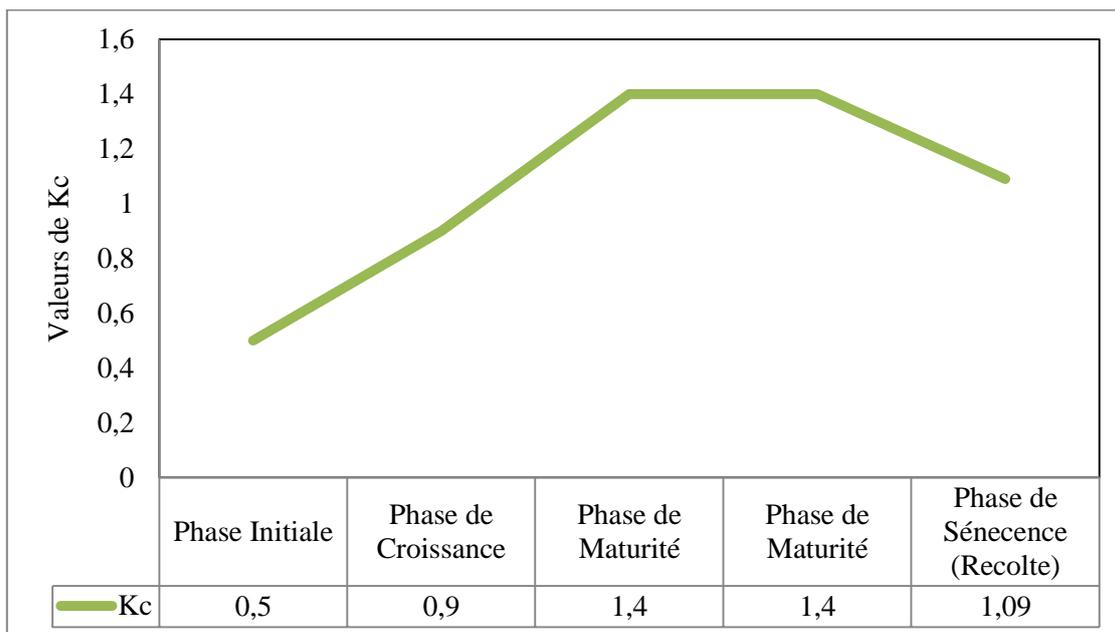


Figure 17: Evolution du Coefficient cultural du *C. afroamericanum*

L'allure du coefficient cultural obtenu est la même que les autres cultures dont le coefficient cultural est connu (Duchemin, 1998). Cela explique ainsi le fait que les besoins en eau de la plante sont liés au stade d'évolution de la plante par conséquent, son coefficient cultural évolue en fonction du stade. La force du calcul de Kc réside au fait que ETM et ET₀ utilisés sont deux paramètres entièrement mesurés et non estimés sur le site expérimental.

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif de cette étude était de déterminer le coefficient cultural Kc et les paramètres de croissance de la biomasse du *C. afroamericanum*. Il ressort ainsi la connaissance du cycle végétatif de 77 jours. Les coefficients culturaux obtenus sont identifiés pour chaque phase. La phase initiale a un coefficient cultural de $0,5 \pm 0,03$ et la phase de croissance a une valeur de $0,9 \pm 0,04$. Pour la phase de maturité et celle de la récolte, nous avons respectivement, $1,4 \pm 0,07$ et $1,09 \pm 0,04$. Le cycle du *C. afroamericanum* est pratiquement de courte durée et se développe vite et bien, sur les sols bien drainés. La hauteur verticale moyenne du *C. afroamericanum* est environ $5 \pm 0,57$ cm et la longueur des branches principales est en moyenne $9 \pm 1,3$ cm. Le nombre de branches principales dans chaque plante est de $03 \pm 0,4$ et le nombre de branches secondaires est également de $03 \pm 0,2$. Concernant le nombre de branches tertiaires nous avons environ 17 ± 6 et le nombre de feuilles par branche principale est en moyenne 26 ± 7 .

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 *C. afroamericanum* sont des paramètres clés pour les entrepreneurs désirant cultiver cette plante prometteuse.

VII. RECOMMANDATIONS

L'étude a été menée en fin de saison pluvieuse, ainsi nous recommandons que l'étude soit menée en pleine saison sèche afin de voir si les coefficients culturaux Kc et la biomasse sont sensiblement différents.

Nous recommandons également de faire des études similaires pour un certain nombre de plantes herbacées utiles telles que le *Cymbopogon citratus* DC. communément appelée « la citronnelle ».

VIII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agbahungba G., Sokpon N. et Gandé-Gaoué O., 1998. Situation Des Ressources Génétiques Forestières Du Bénin, 36p.
- Akobundu L. et Agyakwa C., 1989. Guide Des Adventices d'Afrique de l'Ouest-Institut International D'agriculture Tropicale. Ibadan, Nigeria, 521p.
- Allen R., Pereira L., Raes D. et Smith M., 1988. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 Crop Evapotranspiration (guidelines for Computing Crop Water Requirements), 326p.
- Berhaut J., 1967. Flore Du Sénégal. 2ème Éd. Clairafrique Éd., Dakar, Sénégal, 485p.
- Brouwer C. et Heidbloem M., 1986. Valeurs des coefficients culturaux en fonction des stades de développement de quelques cultures. Agricole de L'institut de Formation Supérieur En Agronomie de Mostaganem, 2p.
- Chopart J.L. et Nicou R., 1974. Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivables au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique In: Réunion d'Agronomie de l'IRAT. Bambey : CNRA, 30p.
- Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED), 1992.
- Doorenbos J. et Pruitt O., 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements - Irrigation and Drainage FAO Paper No. 24, (rev.) FAO, Rome, Italy. 144p.
- Duchemin B., 1998. Introduction Au Calcul Des Besoins En Eau et de L'évapotranspiration de Cultures Selon La Méthode FAO Allen et Al. 98. IRD/UCAM, 62p.
- FAO. 2004. La Contribution Du Secteur Forestier Aux Économies Nationales: Tendances et Situation Actuelle, 159p.
- Gabriel H., 2015. Les étapes pour établir votre bilan hydrique, 1p.
- Holm L., Plucknett D., Pancho J., et Herberger J., 1977. World's Worst Weeds. Distribution and Biology. Honolulu, University of Hawaii, 609p.
- Hutchinson J., Dalziel J., Keay R. et Hepper F., 1958. Flora of West Tropical Africa. Vol. I Part. 2. 2ème Éd. The Whitefriars Press Ed., London & Tonbridge, 828p.
- Jensen ME. et Haise HR., 1990. Estimating evapotranspiration from solar radiation. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Irrigation and Drainage Division, 89, 15-41p.
- Keïta A., 2016. Design and Analysis of Experiments and Surveys -V 1.4 – 2015.2iE Courses for MSc and PhD. International Institute for Water and Environmental Engineering. Ouagadougou, Burkina Faso, 179p.
- Keïta A., 2015. Subsurface Drainage of Valley Bottom Irrigated Rice Schemes in Tropical Savannah: Case Studies of Tiefora and Moussodougou in Burkina Faso, 224p.
- Keïta A., 2009a. Broad Area Irrigation: Pivot and Lateral Move Systems V1.18, 2iE, 156p.
- Keïta A., 2009b. Irrigation Par Aspersion V2.18, 2iE, 180p.
- 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. et Bliessner R., 1990. Sprinkler and Trickle Irrigation. Chapman and Hall, New York, 280p.
- Le Bourgeois T., 1993. Les mauvaises herbes dans la rotation cotonnière au Nord-cameroun (Afrique) - Amplitude D'habitat et Degré D'infestation - Phénologie -Cycle de Développement. Thèse USTL Montpellier II, Montpellier, France, 241p.
- Lincoln Z., Michael D., Consuelo C., Kati W. et Kelly T., 2010. Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method) University of Florida, 10p.

- Mando A., 1997. The Role of Termites and Mulch in the Rehabilitation of Crusted Sahelian Soils, 109p.
- Marvin J. et Richard A., 2016. Evaporation, Evapotranspiration and Irrigation Water Requirement. 2nd Edition. American Society of Civil Engineers, Reston, 2p.
- Mathews P., 2005. Design of Experiments with MINITAB. William A. Tony, 521p.
- Mietton M., 1986. Méthodes et Efficacité de La Lutte Contre L'érosion Hydrique Au Burkina Faso. Cah Orstom Ser Pedofil 22: 181–96.p
- Nikiéma R., 2016. Reproduction Par Graine et Stratégie D'adaptation Des Plantules de *Pterocarpus Erinaceus Poir* Au Stress Hydrique. Mémoire de Fin de Cycle Des Inspecteurs Des Eaux et Forêts, 50 P.
- Richard G., Luis S., Dirk R. et Martin S., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and drainage, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, n°56.
- Rutabara H., 2017. La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs - Etude de Cas de Baguinéda Amont (OPIB / Mali).Mémoire de fin de cycle, 116p.
- Sam J., 2017. Etude de L'effet Des Prétraitements Sur La Germination et La Croissance de *Zanthoxylum Zanthoxyloides* (Lam.) Zepernick & Timler En Pépinière.Mémoire de fin de cycle, 77p.
- 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.
- Tiercelin J. et Vidal A.; 2006. Traité D'irrigation. Lavoisier/Tec et Doc, 1266p.
- Turner B., 1985. Carte de Répartition Géographique de *Chrysanthellum Indicum* DC. Var. *Afroamericanum*.
- Turner B. et Honore-Thorez D., 1985. Description, Identification et Usages Thérapeutiques de *Chrysanthellum* « *Americanum* »: *Chrysanthellum Indicum* DC . *Subsp. afroamericanum* 40(5): 323-331.p.
- Vitosh M.L., 1977. Irrigation scheduling or field crops and vegetables. Extension Bull.E1110.Michigan State University.
- Zerbo P., Millogo J.,Nacoulma O. et Ouedraogo P., 2011. Plantes médicinales et pratiques médicales au Burkina Faso: Cas des Sanan. 13p.

IX. ANNEXES

Liste des annexes

Annexe I : DEFINITIONS DE QUELQUES PARAMETRES

Annexe II : INFILTRATIONS- CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE K_{SAT}

Annexe III : RESULTATS MESURES DES PARAMETRES DE CROISSANCE DE LA PLANTE

Annexe IV : TESTS STATISTIQUES ET LEURS CONDITIONS D'UTILISATION

Annexe V : FEUILLE DE CALCUL ET0-ETM- K_c

ANNEXE I : DEFINITIONS DE QUELQUES PARAMETRES

L'objectif de cette étude étant de déterminer les besoins en eau du *chrysanthellum afroamericanum*, plusieurs paramètres sont nécessaires à déterminer.

Dans un premier temps, la détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres concernant, aussi bien la plante elle-même que les données climatiques ou pédologiques de la région.

Selon Doorenbos et Pruitt (1975) le climat est l'un des facteurs qui influe le plus sur le volume d'eau que la culture perd par évapotranspiration. Les pratiques agronomiques, les techniques d'irrigation, les engrais, les infestations dues aux insectes et aux maladies peuvent aussi influencer le taux d'évapotranspiration.

➤ Pourquoi déterminer les besoins en eau des cultures ?

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

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

➤ Comment déterminer les besoins en eau des cultures ?

D'après Doorenbos et Pruitt (1975) l'estimation de l'évapotranspiration en vue de la programmation de l'irrigation doit se faire en se fondant sur le calcul de l'évapotranspiration maximale et de la pluie efficace (P_e).

➤ Besoin en eau d'irrigation

Le besoin d'irrigation, noté (BI) est défini comme étant le volume d'eau qui devra être

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

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

➤ **Besoin en eau de culture (ETm)**

En matière d'irrigation, on cherche à placer les plantes dans des conditions de production optimales et on base l'irrigation sur la valeur de l'évapotranspiration maximale (ETm) qui est une valeur ponctuelle liée à l'ET0 qui est relative à une région par un coefficient cultural, donnée par la formule de base de l'approche climatique :

$$ETm = kc \times ET0$$

ETm : évapotranspiration maximale d'une culture (mm),

kc : coefficient cultural,

ET0 : évapotranspiration de référence (mm).

1.1. Evapotranspiration de référence ET0

L'ET0 est considérée comme une donnée climatique, ne dépend que des conditions atmosphériques, de l'énergie disponible à la surface évaporant et la résistance aérodynamique de couvert végétal. Il existe des méthodes expérimentales pour la mesure directe de l'ET0, basées sur le bilan hydrique, le bilan d'énergie et la méthode lysimétrique. Devant la difficulté de la mise en place de ces dispositifs, différentes formules avec des degrés d'empirisme variables ont été développées depuis ces 50 dernières années pour estimer indirectement cette grandeur à partir de données climatiques. Elles sont classées en 4 groupes selon les paramètres utilisés, parmi ces formules on peut citer :

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

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

➤ **Formule de FAO Penman - Monteith**

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

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

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>ET₀</u>	reference evapotranspiration [mm day ⁻¹],
<u>R_n</u>	net radiation at the crop surface [MJ m ⁻² day ⁻¹],
<u>G</u>	soil heat flux density [MJ m ⁻² day ⁻¹],
<u>T</u>	mean daily air temperature at 2 m height [°C],
<u>u₂</u>	wind speed at 2 m height [m s ⁻¹],
<u>e_s</u>	saturation vapour pressure [kPa],
<u>e_a</u>	actual vapour pressure [kPa],
<u>e_s-e_a</u>	saturation vapour pressure deficit [kPa],
<u>Δ</u>	slope vapour pressure curve [kPa °C ⁻¹],
<u>γ</u>	psychrometric constant [kPa °C ⁻¹].

Avec :

ET₀ : évapotranspiration de référence journalière (mm/j),

R_n : rayonnement net à la surface de culture (M J/m²/j),

G : flux de chaleur échangé avec le sol (M J/m²/j),

T : température moyenne journalière (°C),

U₂ : vitesse moyenne journalière du vent mesuré à 2 mètres (m/s),

e_s et e_a : respectivement la pression de vapeur saturante et la pression réelle de l'air à la même hauteur (kPa),

Δ : pente de la courbe de pression de vapeur saturante à la température T (kPa /°C), γ : constante psychrométrique (kPa /°C),

900 coefficient pour la culture de référence (kg K/ kJ) liées aux unités utilisées à la distribution de variables γ, c_p et r_a,

0,34 : coefficient de vent pour la culture de référence (kg K/ kJ) résultant du rapport r_s / r_a, 0,408 inverse de γ = 2,45 MJ/ kg.

- Le logiciel Climwat-CropWat de la FAO donne des valeurs de ET₀ de la station de Ouagadougou. Ces résultats sont présentés dans la figure ci-dessous :

Climat/ETo	Pays		Location 5		Station		OUAGADOUGOU	
	Altitude	306 m.	Latitude	12.35 °N	Longitude	1.51 °O		
Précipitations	Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m²/jour	ETo mm/jour
Culture	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
Besoins en eau	Moyenne	21.5	34.8	56	202	7.6	19.9	5.64

Valeurs de ET0-Station météo Ouagadougou-ClimWat

- Les données de ET0 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	0,31
Mai	6,3	0,24
Juin	5,8	0,35
Juillet	4,9	0,19
Aout	4,4	0,18
Septembre	4,8	0,17
Octobre	5,5	0,20
Novembre	5,6	0,25
Décembre	5,8	0,20

1.2. Evapotranspiration maximale d'une culture ETM

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

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

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 cultureux K_c . (Tiercelin, J.R et Vidal, A. 2006) .

1.3. Coefficients cultureux (K_c)

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

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

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

La valeur du coefficient cultural dépend ainsi :

- ✓ du **Stade de Développement** ;
- ✓ du **Type de Culture** ;
- ✓ du Type de Sol et ... du Climat !

Les facteurs qui influent sur la valeur de 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. (Benoît DUCHEMIN.1998)

Pour 1 cycle de culture, 4 phases (Initiale, Croissance, Maturité, Sénescence) et 03 valeurs 'limites' de Coefficients Culturaux: K_{cINI} --> K_{cMID} --> K_{cEND} .

✚ 4 phases pour un cycle de culture :

•**Initiale**: du semis à un taux de couverture de 10%. $K_c = K_{cINI}$, généralement faible, mais variant fortement en fonction de la fréquence des apports d'eau (pluie, irrigation) ;

•**Croissance**: jusqu'à couverture maximale (floraison, LAI ≈ 3). $K_{cINI} < K_c < K_{cMID}$, fonction de la partition évaporation/transpiration ;

•**Maturité**: jusqu'au premier jaunissement/chute des feuilles ? $K_c = K_{cMID}$ est maximum et constant (généralement > 1) ;

•**Sénescence**: jusqu'au jaunissement complet ou à la récolte $K_{cMID} < K_c < K_{cEND}$ (stade moins important en terme de besoin en eau et de pilotage de l'irrigation sauf dans le cas de cultures à récoltes multiples).

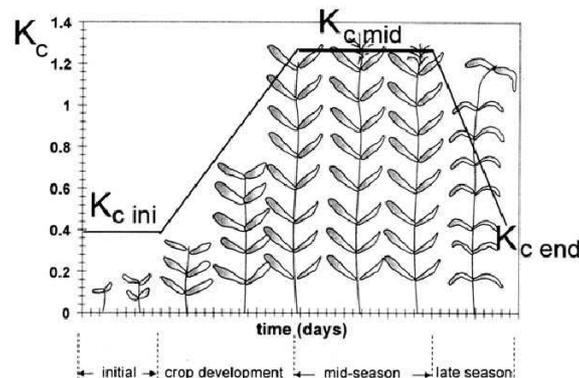


Figure : Courbe de coefficients culturaux et définition des phases

La courbe de k_c sur l'ensemble de la période de croissance a été présentée initialement par Doorenbos et Pruitt (1975). Elle permet de distinguer les 3 valeurs de k_c (initial, mi-saison, et d'arrière-saison). Les valeurs les plus élevées du k_c sont observées au printemps et en

automne, lorsque le sol est encore humide. Les valeurs les plus basses sont notées en été (Allen et al, 1998 in traité d'irrigation).

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

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

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

Culture	Stade initial	Stade de développement	Stade mi- saison	Stade arrière saison - Récolte
Pois	0,45	0,80	1,15	1,05
Arachide	0,45	0,75	1,05	0,70
Mais doux	0,40	0,80	1,15	1,00

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

1.4. Paramètres de croissance

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

- la multiplication des cellules ;
- l'allongement des entrenœuds et des racines ;

- la ramification ;
- la multiplication et la croissance des feuilles ;
- la floraison
- la naissance de fruits

Stades végétatifs

Pour ce qui est du cycle cultural du *chrysanthellum afroamericanum*, les stades distingués sont décrits dans le tableau ci-dessous :

Tableau : Différents stades végétatifs du *chrysanthellum afroamericanum*

Périodes	Dates
Mise en semence	03 Octobre 2017
Repiquage	25 Octobre 2017
Naissance de fleurs pas très précise	30 Octobre 2017
Floraison précise et multiplication des branches et apparition de nouvelles feuilles	03 Novembre 2017
Ouverture des Fleurs, apparition de graines	17 Novembre 2017
Multiplication des branches, des feuilles, des fleurs et des graines	06 Décembre 2017
Fin de développement, chute des graines et assèchement de la plante	15 Décembre 2017
Récolte	20 Décembre 2017

Le cycle végétatif du *chrysanthellum afroamericanum* est d'environ **77 jours Soit 02 mois 17 jours.**

Tableau: Cycle végétatif-Durée de chaque phase

Phases	Périodes	Nombre de jours
Phase Initiale	03 Octobre-30 Octobre	27
Phase de Croissance	30 Octobre- 17 Novembre	18
Phase de Maturité	17 Novembre-06 Décembre	18
Phase de Récolte	06 Décembre- 20 Décembre	14

➤ **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, 1991). Elle est capable de rester à l'état de vie ralentie pendant des durées variables puis germer pour donner de nouvelles plantes. Selon l'Association Internationale de Test de Semences (ISTA, 2015), la semence est un produit biologique vivant dont le comportement ne peut être prédit avec la certitude qui caractérise les essais de matériel inerte ou non biologique. Pour l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE, 2012), les semences sont des cônes, fruits et graines destinés à la production de plantules.

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

➤ **La germination des semences**

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

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

➤ **La dormance des semences**

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

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

Les graines dormantes ont besoin d'un prétraitement pour germer. Le prétraitement est fonction du type de dormance. Les dormances liées au tégument peuvent être levées en appliquant aux semences les traitements suivants avant les semis : le trempage dans l'eau, la scarification - 8 - manuelle, le décortilage, l'ébouillantage, la cuisson, le trempage à l'alcool, le trempage à l'acide sulfurique etc.

ANNEXE II : INFILTRATION-DETERMINATION DE LA CONDUCTIVITE

HYDRAULIQUE K_{SAT}

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_{sat} 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.

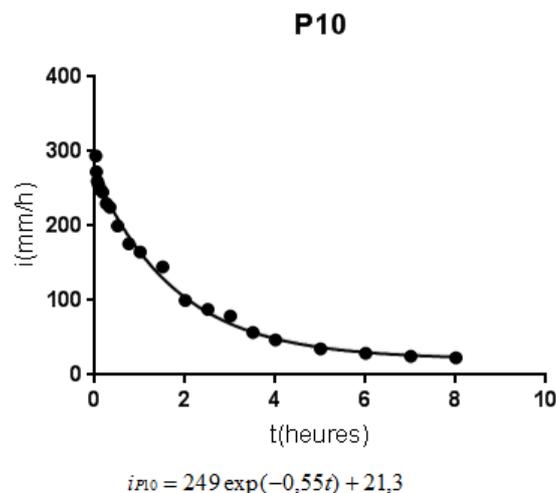
Cette courbe est de la forme $C1 \times \exp(-K*t) + C2$, qui lorsque t tends vers l'infini, donne la perméabilité du sol $K_{sat} = C2$;

Ces ajustements ont été fait avec le logiciel PRISM de Graph Pad; (A. Keita, 2009-2018)

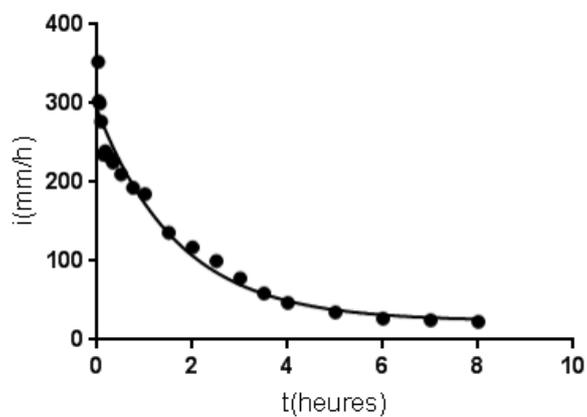
A présent, avec ce logiciel Soil Water Characteristics, nous avons déduit la valeur de K_{sat}

Les paramètres importants suivant que nous avons tirés sont:

- l'humidité à la capacité au champ Thêta FC ;
- l'humidité au point de flétrissement Thêta WP .

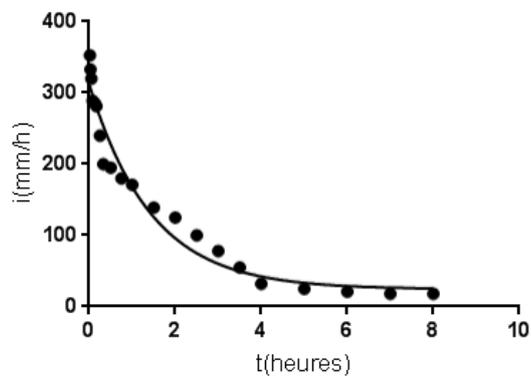


P11



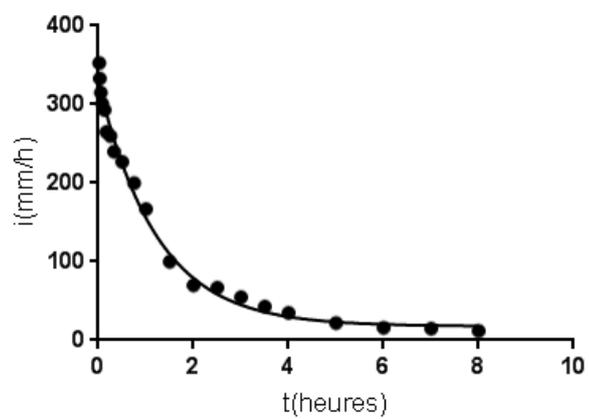
$$i_{P11} = 268 \exp(-0,58t) + 23,76$$

P20



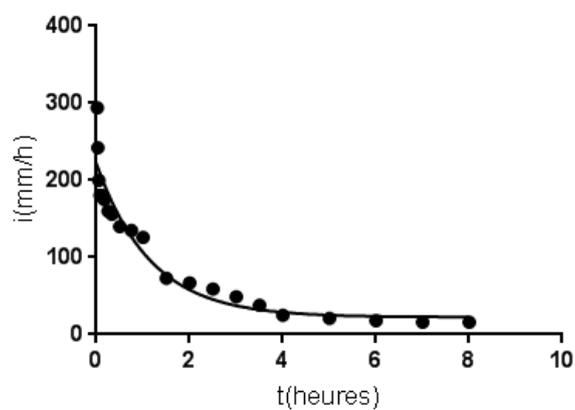
$$i_{P20} = 288 \exp(-0,69t) + 24,53$$

P21



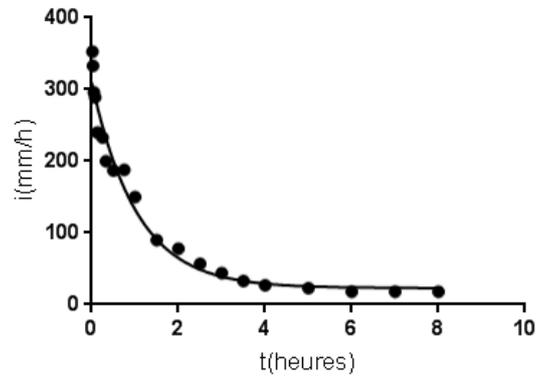
$$i_{P21} = 310,2 \exp(-0,81t) + 18,05$$

P22



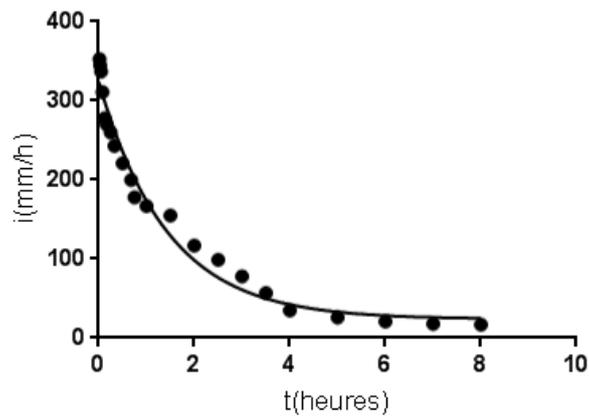
$$i_{P22} = 199,4 \exp(-0,80t) + 22,65$$

P30



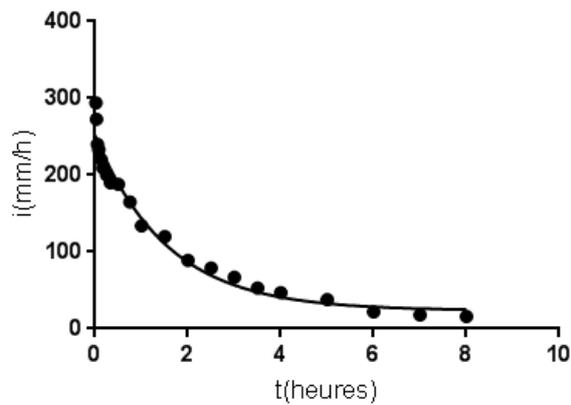
$$i_{P30} = 286,8 \exp(-0,96t) + 23,13$$

P31



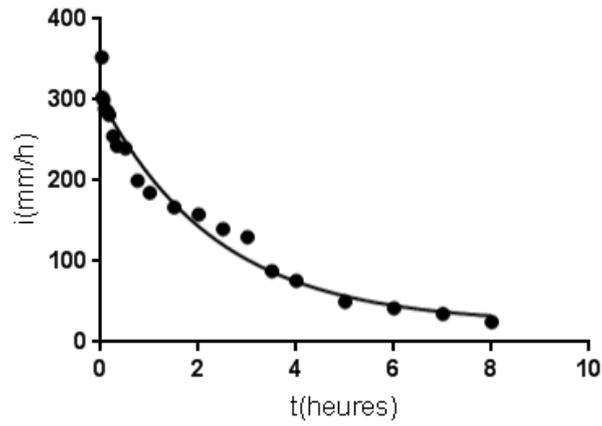
$$i_{P31} = 300,4 \exp(-0,69t) + 23,93$$

P32

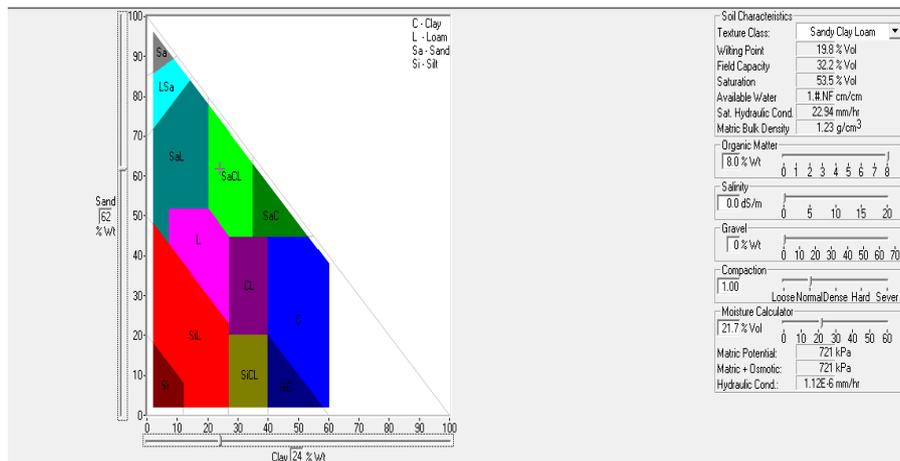


$$i_{P32} = 228,2 \exp(-0,64t) + 23,81$$

P33



$$i_{P33} = 278,5 \exp(-0,42t) + 22,69$$



Caractéristiques du sol (Logiciel Soil Water Characteristics)

**ANNEXE III : RESULTATS-MESURES DES PARAMETRES DE CROISSANCE
DE LA PLANTE**

❖ **MESURES**

Hauteur verticale des plantes (Cm)/Bassins							
Dates	13-nov	17-nov	20-nov	23-nov	04-déc	11-déc	18-déc
P10	4,25	5,50	5,50	5,75	6,75	8,00	9,00
P11	4,25	4,38	4,50	4,50	4,75	5,38	6,75
P20	3,63	3,75	4,25	4,50	6,25	7,75	9,50
P21	4,00	4,00	4,50	5,00	5,50	6,75	9,00
P22	3,25	3,50	4,25	5,00	5,13	5,50	7,13
P30	3,25	3,25	3,00	3,00	3,88	5,25	5,75
P31	3,25	3,25	4,13	3,75	4,50	5,50	7,50
P32	3,75	4,00	4,38	4,75	5,75	6,50	9,00
P33	3,75	3,75	3,88	4,13	4,50	4,88	6,75

Longueur des BP des plantes (Cm)/Bassins							
Dates	13-nov	17-nov	20-nov	23-nov	04-déc	11-déc	18-déc
P10	6,25	8,25	8,75	11,00	13,50	14,25	15,63
P11	5,75	6,13	6,63	8,63	11,75	13,25	14,00
P20	5,75	9,25	10,13	12,50	15,50	19,25	21,00
P21	6,00	6,25	7,50	9,25	11,00	13,00	15,00
P22	5,50	5,75	6,50	7,25	10,25	11,00	12,50
P30	3,25	3,50	4,75	4,75	6,13	6,75	8,25
P31	3,50	3,75	4,75	7,00	8,75	11,13	12,75
P32	5,00	5,75	7,13	8,88	11,50	13,00	14,75
P33	3,75	4,25	4,25	4,75	7,00	7,25	8,25

Nombre de Branches Principales							
Dates	27-oct	13-nov	17-nov	23-nov	04-déc	11-déc	18-déc
P10	1	4	4	4	3	3	3
P11	1	3	3	3	3	3	3
P20	1	4	4	4	4	4	4
P21	1	3	3	4	4	3	3
P22	1	4	4	4	4	4	4
P30	1	2	3	2	3	2	2
P31	1	2	2	4	4	4	4
P32	1	4	4	3	4	4	4
P33	1	1	2	3	3	3	3

Nombre de Branches Secondaires							
Dates	27-oct	13-nov	17-nov	23-nov	04-déc	11-déc	18-déc
P10	2	3	3	3	3	3	3
P11	2	2	2	2	2	2	3
P20	2	2	2	3	3	3	3
P21	1	2	2	3	3	3	3
P22	2	2	2	3	3	3	3
P30	2	2	2	2	2	2	2
P31	2	2	2	3	3	3	3
P32	2	2	2	3	3	3	3
P33	2	2	2	3	3	3	3

Nombre de Branches Tertiaires							
Dates	27-oct	13-nov	17-nov	23-nov	04-déc	11-déc	18-déc
P10	0	14	19	11	21	51	57
P11	0	12	15	9	16	25	26
P20	0	10	14	11	22	78	80
P21	0	7	10	8	16	53	56
P22	0	9	15	10	22	30	32
P30	0	7	8	6	7	16	18
P31	0	7	9	6	16	36	41
P32	0	10	13	10	28	41	42
P33	0	5	8	6	7	20	21

Nombre de Feuilles/BP							
Dates	27-oct	13-nov	17-nov	23-nov	04-déc	11-déc	18-déc
P10	3	12	23	37	40	71	74
P11	3	13	20	24	36	46	51
P20	3	12	18	26	35	73	75
P21	2	11	18	28	31	68	68
P22	3	10	14	26	30	43	45
P30	2	10	14	13	15	23	26
P31	3	10	13	20	27	43	46
P32	3	13	18	30	32	49	51
P33	3	11	16	18	22	27	31

❖ ANALYSES DESCRIPTIVES

Statistiques Descriptives : Hauteur verticale des plantes (cm)									
Bassins	N	Moyenne	Ecart-type	Variance	Minimum	Quartile 1	Médiane	Quartile3	Maximum
P10	7	6,393	0,619	1,638	4,25	5,5	5,75	8	9
P11	7	4,929	0,334	0,883	4,25	4,375	4,5	5,375	6,75
P20	7	5,661	0,853	2,258	3,625	3,75	4,5	7,75	9,5
P21	7	5,536	0,682	1,805	4	4	5	6,75	9
P22	7	4,821	0,498	1,319	3,25	3,5	5	5,5	7,125
P30	7	3,911	0,428	1,134	3	3	3,25	5,25	5,75
P31	7	4,554	0,573	1,517	3,25	3,25	4,125	5,5	7,5
P32	7	5,446	0,697	1,845	3,75	4	4,75	6,5	9
P33	7	4,518	0,404	1,069	3,75	3,75	4,125	4,875	6,75

Statistiques Descriptives : Longueur Branche Principale (cm)									
Bassins	N	Moyenne	Ecart-type	Variance	Minimum	Quartile 1	Médiane	Quartile3	Maximum
P10	7	11,09	1,32	3,5	6,25	8,25	11	14,25	15,63
P11	7	9,45	1,33	3,51	5,75	6,13	8,63	13,25	14
P20	7	13,34	2,09	5,53	5,75	9,25	12,5	19,25	21
P21	7	9,71	1,3	3,45	6	6,25	9,25	13	15
P22	7	8,39	1,06	2,81	5,5	5,75	7,25	11	12,5
P30	7	5,339	0,682	1,804	3,25	3,5	4,75	6,75	8,25
P31	7	7,38	1,38	3,65	3,5	3,75	7	11,13	12,75
P32	7	9,43	1,42	3,74	5	5,75	8,88	13	14,75
P33	7	5,643	0,681	1,802	3,75	4,25	4,75	7,25	8,25

Statistiques Descriptives : Nombre de Branches Secondaires									
Bassins	N	Moyenne	Ecart-type	Variance	Minimum	Quartile 1	Médiane	Quartile3	Maximum
P10	7	2,357	0,143	0,378	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5
P11	7	2,071	0,118	0,313	1,75	2	2	2	2,75
P20	7	2,5	0,244	0,645	1,5	2	3	3	3
P21	7	2,393	0,249	0,659	1,25	2	2,75	3	3
P22	7	2,393	0,171	0,453	1,75	2	2,75	2,75	2,75
P30	7	1,821	0,105	0,278	1,5	1,5	1,75	2	2,25
P31	7	2,321	0,187	0,494	1,5	2	2,5	2,75	2,75
P32	7	2,393	0,217	0,575	1,75	1,75	2,5	2,75	3,25
P33	7	2,536	0,228	0,603	1,75	2	2,75	3	3,25

Statistiques Descriptives: Nombre de Branches Tertiaires									
Bassins	N	Moyenne	Ecart-type	Variance	Minimum	Quartile 1	Médiane	Quartile3	Maximum
P10	7	24,57	7,95	21,04	0	10,75	18,75	50,5	56,75
P11	7	14,61	3,37	8,92	0	9	15	24,5	25,75
P20	7	30,6	12,7	33,6	0	10	14,3	78	79,8
P21	7	21,36	8,68	22,98	0	6,75	10	52,75	55,75
P22	7	16,82	4,45	11,78	0	9,25	15	30,25	32
P30	7	8,61	2,35	6,22	0	5,75	6,75	15,5	18,25
P31	7	16,36	6	15,87	0	6,25	8,75	36,25	40,75
P32	7	20,57	6,26	16,55	0	9,75	12,75	40,75	42,25
P33	7	9,61	3	7,94	0	5,25	7	20	21,25

Statistiques Descriptives: Nombre de Branches Principale									
Bassins	N	Moyenne	Ecart-type	Variance	Minimum	Quartile 1	Médiane	Quartile3	Maximum
P10	7	3,536	0,431	1,14	1	3,5	4	4	4,25
P11	7	2,607	0,272	0,72	1	2,75	2,75	3	3
P20	7	3,286	0,387	1,025	1	3,5	3,5	3,75	4
P21	7	3,143	0,393	1,039	1	2,75	3,5	4	4
P22	7	3,464	0,417	1,103	1	3,5	4	4	4
P30	7	2,464	0,301	0,796	1	1,75	3	3	3
P31	7	2,75	0,436	1,155	1	1,5	3,5	3,75	3,75
P32	7	3,321	0,392	1,038	1	3,5	3,75	3,75	4
P33	7	2,25	0,358	0,946	1	1	2,5	3	3,25

Statistiques Descriptives: Nombre de Feuilles par Branches Principales									
Bassins	N	Moyenne	Ecart-type	Variance	Minimum	Quartile 1	Médiane	Quartile3	Maximum
P10	7	36,9	10,4	27,5	2,5	11,5	37	70,5	74
P11	7	27,46	6,63	17,54	2,75	13,25	24,25	46,25	50,75
P20	7	34,6	10,9	28,7	2,8	12,3	26,3	73,3	74,8
P21	7	32,14	9,94	26,29	2	11,25	27,5	68	68
P22	7	24,5	6,13	16,22	3	10,25	26,25	43	45,25
P30	7	14,54	2,99	7,92	2,25	9,5	14,25	23,25	25,5
P31	7	23,04	6,21	16,44	2,5	10,25	19,75	42,75	46
P32	7	28,04	6,78	17,94	2,75	13,25	30,25	48,5	51,25
P33	7	18,18	3,57	9,45	3	11,25	18	26,75	31

ANNEXE IV : 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 (Paul G. 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 (Rumsey 2009). Si toutes les conditions de la limite centrale sont réunies, tous les échantillons proviennent d'une même population (Montgomery 2008; Matthews 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 (Rumsey 2009; Montgomery 2008; Mathews 2005) :

- Les populations échantillonnées suivent une distribution normale ;
- Les populations échantillonnées sont homoscédastiques (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 (Rumsey 2009; Montgomery 2008). Le test post-ANOVA adopté dans cette étude est le test de Tukey. Ce test a été choisi car il implique peu de calculs, est facile à rapporter et est assez populaire (Paul G. Mathews 2005).

Les tests non-paramétriques et leurs conditions d'application

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

- les échantillons aléatoires proviennent des populations indépendantes ;

- toutes les populations aient une même distribution ;
- les variances des populations soient les mêmes.

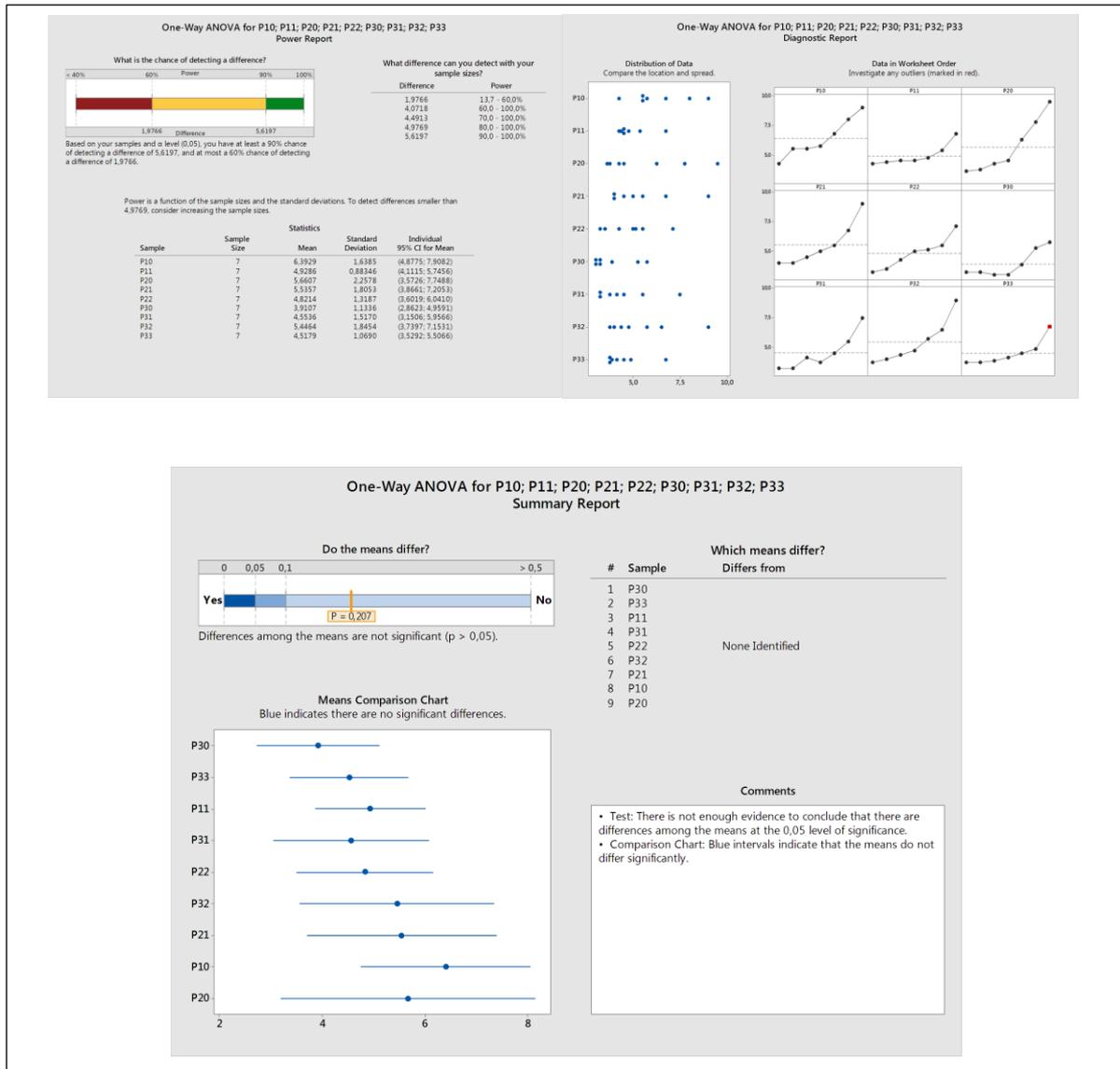
Le test des signes compare la médiane d'une population à une certaine valeur, le test de Mann-Whitney compare les médianes de deux populations tandis que le test de Kruskal Wallis compare les médianes de deux ou plusieurs populations.

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

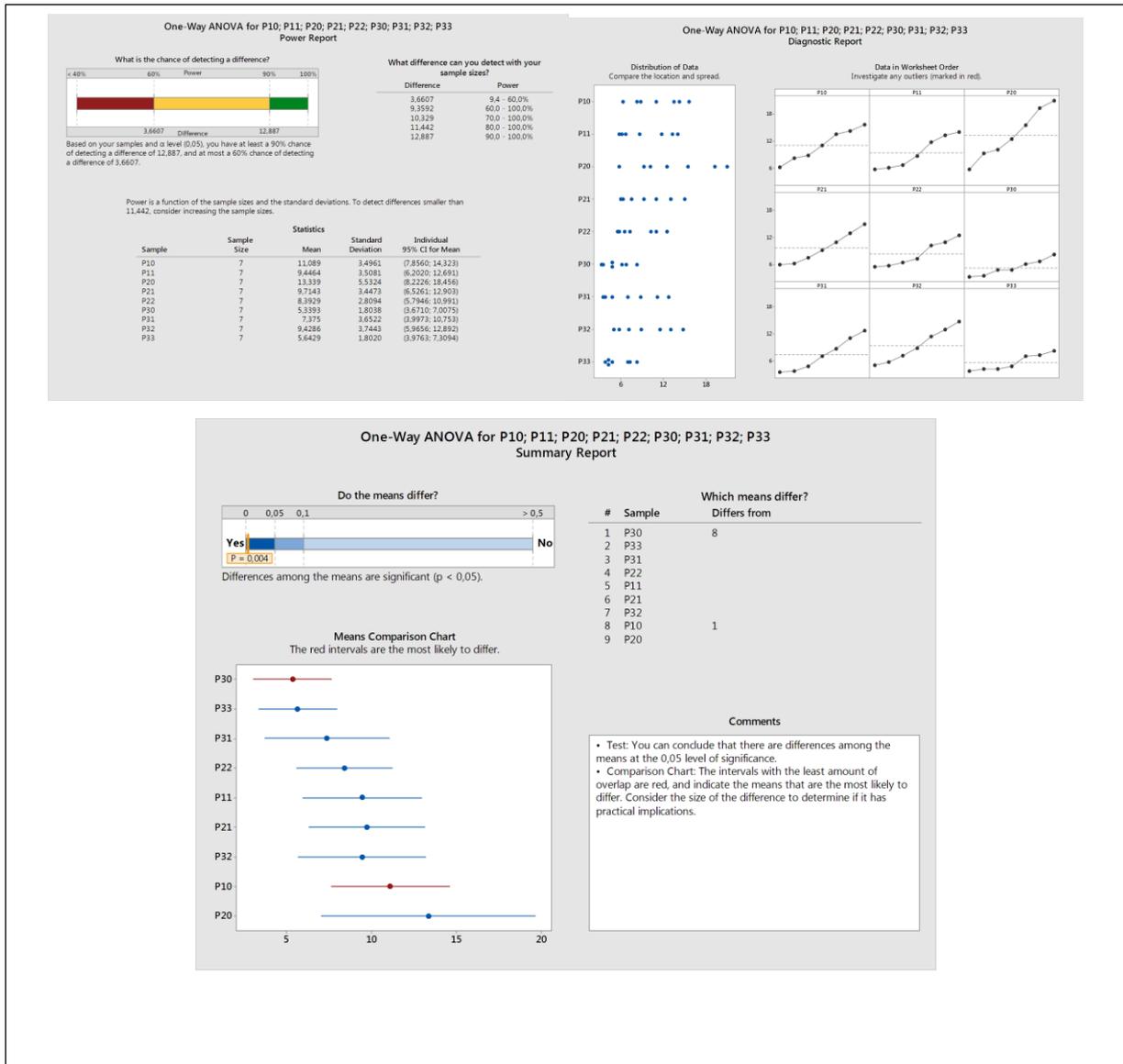
(Rumsey 2009).

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

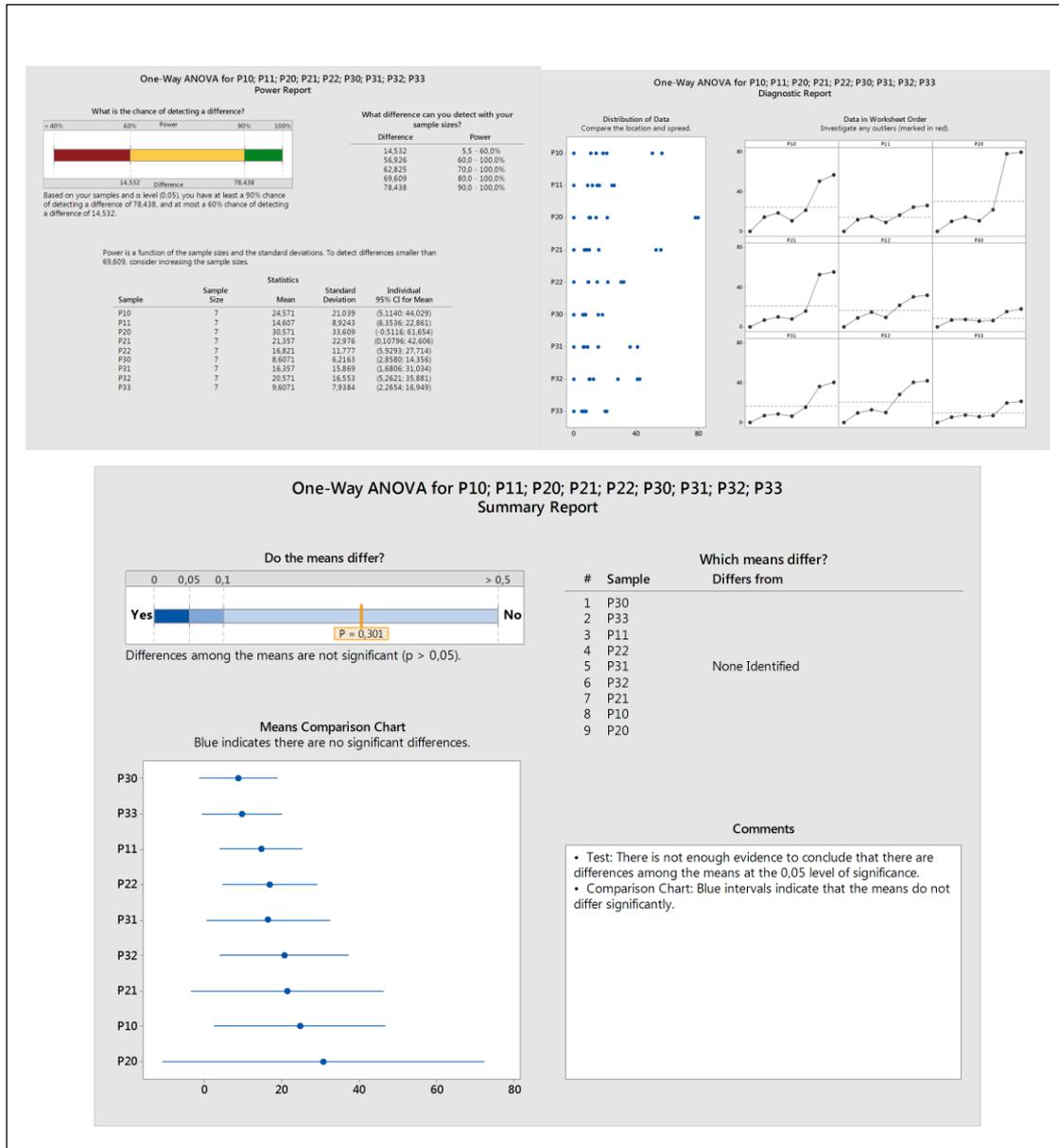
➤ Hauteur verticale (Test statistiques-Annova)



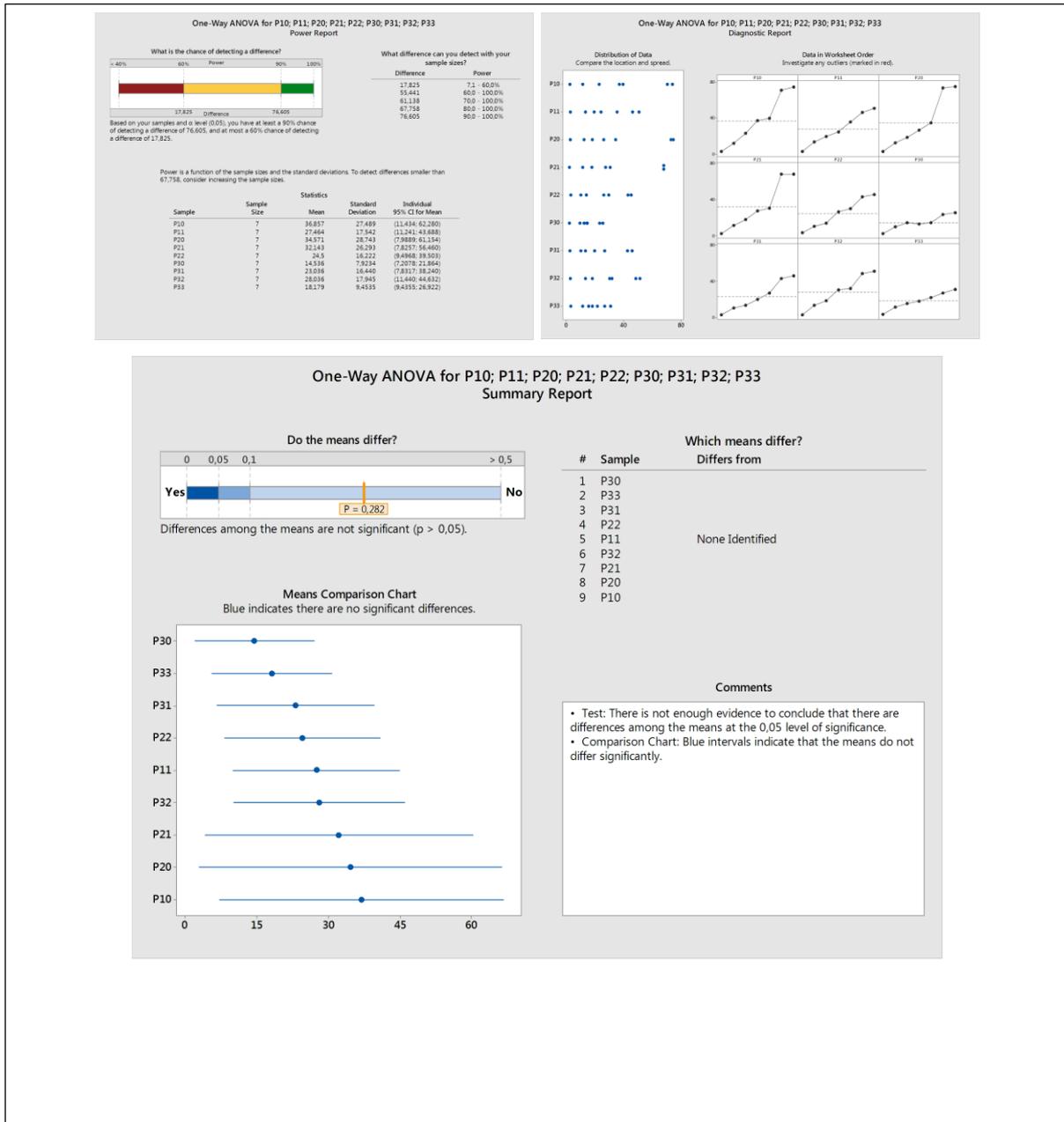
➤ **Longueur Branches Principales (Test statistiques-Annova)**



➤ Nombre de Branches Tertiaires (Test statistiques-Annova)



➤ Nombre de Feuilles par Branches Principales (Test statistiques-Annova)



➤ **Nombre de Branches Principales (Test Kruskal-Wallis)**

Kruskal-Wallis Test: Nombre BP versus Bassins

Kruskal-Wallis Test on Nombre BP

Bassins	N	Median	Ave Rank	Z
P10	7	4,000	47,4	2,35
P11	7	2,750	19,4	-1,92
P20	7	3,500	38,0	0,92
P21	7	3,500	34,5	0,38
P22	7	4,000	45,0	1,99
P30	7	3,000	19,0	-1,99
P31	7	3,500	28,2	-0,58
P32	7	3,750	39,4	1,13
P33	7	2,500	17,1	-2,27
Overall	63		32,0	

H = 22,15 DF = 8 P = 0,005

H = 22,63 DF = 8 P = 0,004 (adjusted for ties)

Commentaires : **P value <0,005** Il y a donc des différences significatives entre les différentes médianes. Tous les bassins n'ont donc pas une croissance homogène en termes de nombre de branches principales .

➤ **Nombre de Branches Secondaires (Test Kruskal-Wallis)**

Kruskal-Wallis Test: Nombre BS versus Bassins

Kruskal-Wallis Test on Nombre BS

Bassins	N	Median	Ave Rank	Z
P10	7	2,500	31,9	-0,02
P11	7	2,000	24,2	-1,19
P20	7	3,000	39,9	1,20
P21	7	2,750	36,4	0,68
P22	7	2,750	34,7	0,42
P30	7	1,750	15,0	-2,60
P31	7	2,500	32,4	0,05
P32	7	2,500	33,6	0,25
P33	7	2,750	39,9	1,21
Overall	63		32,0	

H = 10,50 DF = 8 P = 0,232

H = 10,91 DF = 8 P = 0,207 (adjusted for ties)

Commentaires : **P value >0,005** Il n'y a donc pas de différences significatives entre les différentes médianes. Tous les bassins ont donc une croissance homogène en termes de nombre de branches secondaires.

ANNEXE V : RESULTATS (FEUILLES DE CALCUL) ET0- ETM- Kc

- **EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE**
- **EVAPOTRANSPIRATION MAXIMALE**

Détermination des coefficients culturaux et des paramètres de croissance du *chrysanthellum indicum* DC.

Dates	Activités	Unités	N° Lysimètres									Moyenne
			P10	P11	P20	P21	P22	P30	P31	P32	P33	
27/10/2017	Arrosage	mm	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	Drainage	mm	6,5	5,20	0,50	4,80	3,00	9,00	2,00	7,00	5,00	
	ETR		3,50	4,80	9,50	5,20	7,00	1,00	8,00	3,00	5,00	
30/10/2017	Arrosage	mm	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	Drainage	mm	3	4,80	3,50	5,20	0,20	6,00	4,20	4,80	0,20	
	ETR		7,00	5,20	6,50	4,80	9,80	4,00	5,80	5,20	9,80	
01/11/2017	Arrosage	mm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	Drainage	mm	3	4,10	1,50	4,00	1,50	5,10	3,00	3,00	3,00	
03/11/2017	Arrosage	mm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	Drainage	mm	9,20	3,50	0,10	1,50	8,00	5,50	4,00	5,60	6,50	
06/11/2017	Arrosage	mm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	Drainage	mm	2,00	2,30	5,00	6,00	8,50	10,80	3,50	10,80	9,00	
ETM 1			86,30	90,10	99,40	88,50	88,80	73,60	93,30	78,80	86,30	
ETM(mm/j)			8,63	9,01	9,94	8,85	8,88	7,36	9,33	7,88	8,63	8,72
08/11/2017	Arrosage	mm	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Drainage	mm	15,00	14,00	19,00	17,50	18,00	16,00	17,00	16,80	19,00	
10/11/2017	Arrosage	mm	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
	Drainage	mm	18,00	14,00	16,00	19,10	4,50	11,00	11,50	18,30	16,00	
13/11/2017	Arrosage	mm	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
	Drainage	mm	24	23	24,9	22	23	25	21	25	22	

Détermination des coefficients culturaux et des paramètres de croissance du *chrysanthellum indicum* DC.

15/11/2017	Arrosage	mm	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	Drainage	mm	15	12	15	17	18	15	15	17	16	
17/11/2017	Arrosage	mm	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
	Drainage	mm	20	15	20,5	20	21	20	20	20	20	
ETM 2			118,00	132,00	114,60	114,40	125,50	123,00	125,50	112,90	117,00	
ETM(mm/j)			11,80	13,20	11,46	11,44	12,55	12,30	12,55	11,29	11,70	12,03
20/11/2017	Arrosage	mm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	
	Drainage	mm	12,00	11,10	12,00	15,00	10,00	11,70	14,80	15,80	15,00	
22/11/2017	Arrosage	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	
	Drainage	mm	4,10	6,10	6,10	8,00	8,50	6,10	6,00	7,50	7,50	
24/11/2017	Arrosage	mm	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	
	Drainage	mm	7,1	7	6	7	8,5	6	6	7,5	7,5	
27/11/2017	Arrosage	mm	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
	Drainage	mm	7,5	8	7,5	8	6	7	6,5	9	9,5	
29/11/2017	Arrosage	mm	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
	Drainage	mm	7	7,1	5,5	9	7	7,1	5	9,5	8,8	
ETM 3			92,30	90,70	92,90	83,00	90,00	92,10	91,70	80,70	81,70	
ETM(mm/j)			9,23	9,07	9,29	8,30	9,00	9,21	9,17	8,07	8,17	8,83
01/12/2017	Arrosage	mm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	
	Drainage	mm	11,00	9,50	11,00	13,00	11,00	9,30	9,00	13,50	12,00	

Détermination des coefficients culturaux et des paramètres de croissance du *chrysanthellum indicum* DC.

04/12/2017	Arrosage	mm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	
	Drainage	mm	13,00	11,00	13,00	14,20	10,10	11,00	13,00	10,00	13,00	
06/12/2017	Arrosage	mm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	
	Drainage	mm	11	9	10	12	9	10	9	11	11	
08/12/2017	Arrosage	mm	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
	Drainage	mm	10,1	10	11	11,2	11	10	11	11,9	11,8	
11/12/2017	Arrosage	mm	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	Drainage	mm	13	13	15,2	16	11,5	12,5	14	15	15,5	
ETM 4			76,90	82,50	74,80	68,60	82,40	82,20	79,00	73,60	71,70	76,86
ETM(mm/j)			7,69	8,25	7,48	6,86	8,24	8,22	7,90	7,36	7,17	7,69
13/12/2017	Arrosage	mm	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	
	Drainage	mm	6,00	5,60	5,00	6,00	5,00	6,00	5,50	6,00	6,50	
15/12/2017	Arrosage	mm	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	
	Drainage	mm	7	6	5	7	8	7	6,8	6,5	8	
18/12/2017	Arrosage	mm	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	Drainage	mm	8	7	7	8	7	6,5	8	7	9,1	
20/12/2017	Arrosage	mm	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	Drainage	mm	5,7	4	4	5	5,8	5,5	5	5	6	
22/12/2017	Arrosage	mm	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	Drainage	mm	5	4	4	5	6	5	4,5	4	5	

Détermination des coefficients culturaux et des paramètres de croissance du *chrysanthellum indicum* DC.

ETM 5			43,30	48,40	50,00	44,00	43,20	45,00	45,20	46,50	40,40	
ETM(mm/j)			4,33	4,84	5,00	4,40	4,32	4,50	4,52	4,65	4,04	4,51

	N°Lysimètres									Moyenne	Ecart-type
	P10	P11	P20	P21	P22	P30	P31	P32	P33		
ETM1 (mm/j)	8,63	9,01	9,94	8,85	8,88	7,36	9,33	7,88	8,63	8,72	0,5
ETMloc(mm/jr)	2,44	2,55	2,81	2,51	2,51	2,08	2,64	2,23	2,44	2,47	0,2
ETM2(mm/j)	11,8	13,2	11,46	11,44	12,55	12,3	12,55	11,29	11,7	12,03	0,5
ETMloc(mm/jr)	4,41	4,94	4,29	4,28	4,69	4,6	4,69	4,22	4,38	4,50	0,2
ETM3(mm/j)	9,23	9,07	9,29	8,3	9	9,21	9,17	8,07	8,17	8,83	0,4
ETMloc(mm/jr)	5,06	4,97	5,09	4,55	4,93	5,04	5,02	4,42	4,47	4,84	0,2
ETM4(mm/j)	7,69	8,25	7,48	6,86	8,24	8,22	7,9	7,36	7,17	7,69	0,4
ETMloc(mm/jr)	4,81	5,16	4,68	4,29	5,16	5,14	4,94	4,6	4,49	4,81	0,3
ETM5(mm/j)	4,33	4,84	5	4,4	4,32	4,5	4,52	4,65	4,04	4,51	0,2
ETMloc(mm/jr)	2,95	3,3	3,41	3	2,94	3,07	3,08	3,17	2,75	3,07	0,1

KC/Phases	Kc par phases par Lysimètre									Moyenne	Ecart-type
	P10	P11	P20	P21	P22	P30	P31	P32	P33		
Phase Initiale	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,03
Phase de Croissance	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,04
Phase de Maturité	1,5	1,5	1,5	1,3	1,5	1,5	1,5	1,3	1,4	1,4	0,07
Phase de Récolte	1,1	1,2	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,09	0,04

➤ Coefficient cultural Kc

Dates	ETMLOC(mm/jr)	ETMloc=Kr*ETM	ETo(mm/jr)	Kc/jr	Moyenne Kc/Phase
25/10/2017	8,72	1,95	4,45	0,44	
26/10/2017	8,72	1,95	4,37	0,45	
27/10/2017	8,72	1,95	4,86	0,40	
28/10/2017	8,72	1,95	4,11	0,47	
29/10/2017	8,72	1,95	3,26	0,60	
30/10/2017	8,72	2,76	4,12	0,67	0,5
31/10/2017	8,72	2,76	4,01	0,69	
01/11/2017	8,72	2,76	4,52	0,61	
02/11/2017	8,72	2,76	4,20	0,66	
03/11/2017	8,72	2,76	4,66	0,59	
04/11/2017	8,72	2,76	3,65	0,76	
05/11/2017	8,72	2,76	3,55	0,78	
06/11/2017	8,72	2,76	3,77	0,73	
07/11/2017	8,72	2,76	3,97	0,70	
08/11/2017	12,03	3,80	4,62	0,82	
09/11/2017	12,03	3,80	3,95	0,96	
10/11/2017	12,03	3,80	4,40	0,86	
11/11/2017	12,03	3,80	4,45	0,85	
12/11/2017	12,03	3,80	3,41	1,12	
13/11/2017	12,03	3,80	3,41	1,12	
14/11/2017	12,03	3,80	3,45	1,10	
15/11/2017	12,03	3,80	3,31	1,15	
16/11/2017	12,03	3,80	3,24	1,18	
17/11/2017	12,03	6,59	3,17	2,08	0,9
18/11/2017	12,03	6,59	2,99	2,21	
19/11/2017	12,03	6,59	3,14	2,10	
20/11/2017	8,83	4,84	1,97	2,46	
21/11/2017	8,83	4,84	2,63	1,84	
22/11/2017	8,83	4,84	3,64	1,33	
23/11/2017	8,83	4,84	3,72	1,30	
24/11/2017	8,83	4,84	3,62	1,33	
25/11/2017	8,83	4,84	3,64	1,33	
26/11/2017	8,83	4,84	4,70	1,03	
27/11/2017	8,83	4,84	4,50	1,07	
28/11/2017	8,83	4,84	3,68	1,32	
29/11/2017	8,83	4,84	3,14	1,54	
30/11/2017	8,83	4,84	3,41	1,42	
01/12/2017	7,69	4,21	4,03	1,04	
02/12/2017	7,69	4,21	4,00	1,05	
03/12/2017	7,69	4,21	3,90	1,08	
04/12/2017	7,69	4,21	3,43	1,23	

Détermination des coefficients culturaux et des paramètres de croissance du *chrysanthellum indicum* DC.

05/12/2017	7,69	4,21	3,46	1,22	
06/12/2017	7,69	5,24	3,30	1,59	1,4
07/12/2017	7,69	5,24	3,87	1,35	
08/12/2017	7,69	5,24	3,62	1,45	
09/12/2017	7,69	5,24	3,79	1,38	
10/12/2017	7,69	5,24	4,91	1,07	
11/12/2017	7,69	5,24	4,00	1,31	
12/12/2017	7,69	5,24	3,15	1,66	
13/12/2017	4,51	3,07	2,51	1,22	
14/12/2017	4,51	3,07	3,52	0,87	
15/12/2017	4,51	3,07	3,66	0,84	
16/12/2017	4,51	3,07	3,87	0,79	
17/12/2017	4,51	3,07	4,34	0,71	
18/12/2017	4,51	3,07	3,74	0,82	
19/12/2017	4,51	3,07	3,40	0,90	
20/12/2017	4,51	3,07	3,65	0,84	
21/12/2017	4,51	3,07	3,91	0,79	
22/12/2017	4,51	3,07	2,09	1,47	1,1