

Table des matières

RESUME.....	6
ABSTRACT	7
Table des matières	9
LISTE DES ACRONYMES	12
LISTE DES FIGURES	13
LISTE DES CLICHES	13
LISTE DES TABLEAUX	14
LISTE DES ANNEXES	14
INTRODUCTION.....	1
I. MATERIELS ET METHODE	3
A. Problématique et hypothèse de recherche	3
B. Description du géranium rosat et de son l’huile essentielle	4
1. Systématique de la plante.....	4
2. Origine	4
3. Morphologie.....	5
4. Ecologie	6
5. Maladies et ennemis de culture.....	8
6. Technique culturale :.....	12
7. Technologie de transformation	14
C. Présentation du milieu d’étude	17
1. Situation géographique	17
2. Climat.....	18
3. Relief.....	18
4. Sol	19
D. Présentation du dispositif expérimental et des traitements comparés	20
1. Les facteurs étudiés.....	20

2.	Historique de la parcelle expérimentale.....	21
3.	Analyse du sol.....	21
E.	Itinéraire technique.....	24
1.	Travail mécanique du sol.....	24
2.	Fertilisation de fond.....	24
3.	Transplantation.....	24
4.	Fertilisation d'entretien.....	25
5.	Irrigation.....	26
F.	Prélèvements et mesures sur terrain.....	26
1.	Mesure de la plante.....	26
2.	Récolte de biomasse aérienne.....	27
G.	Travaux au laboratoire : la distillation.....	27
II.	RESULTATS.....	30
A.	Résultats de la première campagne.....	30
1.	Etat végétatif.....	30
2.	Biomasse aérienne.....	30
3.	Teneur en huile essentielle.....	32
B.	Résultats de la deuxième campagne.....	35
1.	Etat végétatif.....	35
2.	Mortalité observé.....	36
3.	Biomasse aérienne.....	37
4.	Teneur en huile essentielle.....	40
C.	Comparaison des deux campagnes.....	43
III.	DISCUSSION.....	45
A.	Effet de l'irrigation.....	45
B.	Effet de la densité de plantation.....	45
C.	Effet de la Fertilisation.....	46
D.	Climat et autres.....	46
E.	Interaction entre les facteurs.....	47

F. Effet bloc	48
CONCLUSION	49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	I
ANNEXES	III

LISTE DES ACRONYMES

ANOVA	: Analysis of variance
BD	: Base des Données
CEC	: Capacité d'échange cationique
cm	: centimètre
CPG	: Chromatographie en phase gazeuse
DDL	: Degré de liberté
ha	: hectare
Instat	: Institut national de la statistique
ISO	: International Standardisation Organisation
l	: litre
meq	: millier équivalent
mm	: millimètre
P	: Précipitation
pH	: Potentiel Hydrogène
ppm	: partie par millier
RN	: Route Nationale
SARL	: Société Anonyme à responsabilité limité
T	: Température
t	: tonne
USDA	: United States Department of Agriculture
WRB	: Word Reference Base

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. PRINCIPE ET ELEMENTS CONSTITUTIFS DE DISTILLATION.....	15
FIGURE 2 : CARTE DE LOCALISATION DE LA COMMUNE RURALE DE SATROKALA DANS LA REGION D’IHOROMBE	17
FIGURE 3 : COURBE OMBROTHERMIQUE D’IHOROMBE.....	18
FIGURE 4 : PLAN DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	20
FIGURE 5 : DISPOSITION DES GERANIUMS DANS UN PLOT	25
FIGURE 6. VARIATION DE LA HAUTEUR ET DU DIAMETRE DE LA CANOPEE DE LA PLANTE.....	30
FIGURE 7. RENDEMENT DE BIOMASSE AERIENNE PAR TRAITEMENT AU COURS DE LA PREMIERE CAMPAGNE .	31
FIGURE 9. VARIATION DE LA QUANTITE DE LA BIOMASSE PAR SOUS BLOCS LORS DE LA PREMIERE CAMPAGNE	32
FIGURE 10. TENEUR EN HUILE ESSENTIELLE PAR TRAITEMENT DE LA PREMIERE CAMPAGNE	33
FIGURE 11. EFFETS DE NIVEAUX DE LA DENSITE DE LA PLANTATION (A) ET NIVEAUX DE LA FERTILISATION (B) SUR LA TENEUR EN HUILE ESSENTIELLE.	33
FIGURE 12 : TENEUR EN HUILE ESSENTIELLE PAR BLOC POUR LA PREMIERE CAMPAGNE.....	34
FIGURE 13. VARIATION DE LA HAUTEUR DE LA PLANTE (A) ET LE DIAMETRE DE LA CANOPEE (B) DURANT LA DEUXIEME CAMPAGNE	35
FIGURE 15. EFFETS DE NIVEAU DE LA DENSITE DE LA PLANTATION (A), NIVEAU DE LA FERTILISATION (B), FREQUENCE D’ARROSAGE (C) SUR LA BIOMASSE.	38
FIGURE 16. RENDEMENT MOYEN DE BIOMASSE PAR BLOC	39
FIGURE 17 : EFFET DES TRAITEMENTS SUR LA TENEUR EN HUILE ESSENTIELLE DE LA DEUXIEME CAMPAGNE...	40
FIGURE 18 : EFFETS DE NIVEAU DE LA DENSITE DE LA PLANTATION (A), NIVEAU DE LA FERTILISATION (B), FREQUENCE D’ARROSAGE (C) SUR LA TENEUR EN HUILE ESSENTIELLE.	41
FIGURE 19 : TENEUR EN HUILE ESSENTIELLE PAR BLOC DE LA DEUXIEME CAMPAGNE	42
FIGURE 20: INTERACTION ENTRE DENSITÉ DE PLANTATION ET FERTILISATION	48

LISTE DES CLICHES

CLICHE 1 : PLANTE DE GERANIUM ROSAT.....	4
CLICHE 2 : FEUILLES DU GERANIUM ROSAT	5
CLICHE 3 : PLANT DE GERANIUM INFESTE PAR L’ALTERNARIOSE.....	9
CLICHE 4 : ATTAQUE DES TERMITES SUR UN PLANT DE GERANIUM	12
CLICHE 5 : BOUTURES DE GERANIUM	13
CLICHE 6 : PROFIL PEDOLOGIQUE REPRESENTANT LA PARCELLE EXPERIMENTALE DE GERANIUM.....	22
CLICHE 7. FERTILISATION A L’UREE DU PART ET D’AUTRE COTE DE LA LIGNE BINAIRE.....	26
CLICHE 8 : MESURE DE LA HAUTEUR ET DU DIAMETRE DE LA CANOPEE DE LA PLANTE AVEC UN DECAMETRE PLIABLE	27
CLICHE 9 : DISTILLATIONS A FEUX TRES DOUX SUR TROIS EXTRACTEURS	28
CLICHE 10: BALANCES DE PRECISION : (G) MAX 3KG POUR PESER LES MATIERES VERTES POUR DISTILLER, (D) MAX 100G POUR PESER L’HUILE	XVI

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : RENDEMENTS EN MATIERES VERTES DE GERANIUM PAR TYPOLOGIE DE CULTURE	14
TABLEAU 2. LES HORIZONS DU PROFIL PEDOLOGIQUE REPRESENTANT LA PARCELLE EXPERIMENTALE DE GERANIUM	22
TABLEAU 3. CARACTERISTIQUES EXTERNES DU SOL DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE	23
TABLEAU 4. QUALITE HYDRAULIQUE DU SOL DE LA PARCELLE EXPERIMENTAL.....	23
TABLEAU 5. CALENDRIER DES ACTIVITES SUR LA PARCELLE EXPERIMENTALE	24
TABLEAU 6. CALCUL DE L'IRRIGATION POUR LA PARCELLE EXPERIMENTALE.....	26
TABLEAU 7. RENDEMENT MOYEN PAR RAPPORT AUX TAUX DE MORTALITE	36
TABLEAU 8. ANOVA SUR L'INFLUENCE DU TAUX DE MORTALITE AU RENDEMENT EN BIOMASSE	36
TABLEAU 9. SYNTHESE DES RESULTATS DE LA PREMIERE CAMPAGNE.....	43
TABLEAU 10. SYNTHESE DES RESULTATS DE LA DEUXIEME CAMPAGNE.....	43
TABLEAU 11 : RESUME DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES ANNUELLES RECUEILLIES DANS LA STATION METEOROLOGIQUE DE RANOHIRA	XI
TABLEAU 12 : RESUME DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES ANNUELLES RECUEILLIES DANS LA STATION METEOROLOGIQUE DE RANOHIRA.	XI
TABLEAU 14: CALCUL DE FERTILISATION DE BASE ET D'ENTRETIEN POUR LA PREMIERE CAMPAGNE	XIII
TABLEAU 15: CALCUL DE FERTILISATION DE BASE ET D'ENTRETIEN POUR LA DEUXIEME CAMPAGNE.....	XIII
TABLEAU 15. ANOVA DU RENDEMENT EN BIOMASSE AERIENNE PENDANT LA PREMIERE CAMPAGNE	XIV
TABLEAU 16. ANOVA DE LA TENEUR EN HUILE ESSENTIELLE DE LA PREMIERE CAMPAGNE	XIV
TABLEAU 17. ANOVA DU RENDEMENT EN BIOMASSE AERIENNE DE LA DEUXIEME CAMPAGNE	XV
TABLEAU 18. ANOVA DE LA TENEUR EN HUILE ESSENTIELLE DE LA DEUXIEME CAMPAGNE.	XV

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : LE MARCHE DES HUILES ESSENTIELLES.....	III
ANNEXE 2 : GENERALITES SUR LES HUILES ESSENTIELLES DE GERANIUM.....	VI
ANNEXE 3 : PRESENTATION DE LA SOCIETE TOZZI-GREEN MADAGASCAR	VIII
ANNEXE 4 : DONNES CLIMATOGRAPHIQUES DE IHOROMBE.....	XI
ANNEXE 5 : ANALYSE DE L'HORIZON SUPERIEUR DU PROFIL PEDOLOGIQUE	XII
ANNEXE 6. CALCUL DE FERTILISATION DES DEUX CAMPAGNES.....	XIII
ANNEXE 7. TABLEAUX DES ANOVA.....	XIV
ANNEXE 8 : MATERIELS DE DISTILLATION	XVI
ANNEXE 9 : TYPES DE BALANCE POUR LA DISTILLATION.....	XVI
ANNEXE 10. VARIATION DE LA TEMPERATURE ET DE LA PLUVIOMETRIE PENDANT LES DEUX CAMPAGNES DE PLANTATION	XVII

INTRODUCTION

Les plantes aromatiques regroupent l'ensemble des plantes (herbes ou épices) qui ont été utilisées dans le Moyen-Orient d'environ 5000 avant Jésus Christ pour leurs propriétés thérapeutiques et elles sont utilisées également dans des arts culinaires pour rehausser le goût des aliments (Piccaglia *et al.* 1993, Chang, 2000). L'importance du secteur des plantes aromatiques et médicinales ne cesse d'augmenter qui va de paire avec la forte demande sur le marché mondial et des produits dérivés de ces plantes aromatiques. En effet, les huiles essentielles issues de ces plantes sont généralement valorisées sur les marchés de l'aromathérapie, de la parfumerie, de la cosmétique et de l'agro-alimentaire.

Madagascar est connu dans le monde comme une île des plantes à parfums et à épices et elle est renommée également par sa richesse en faune et flore. L'exploitation et l'utilisation des plantes aromatiques et médicinales ne sont pas récentes (FOFIFA/SCAC, 2003). Entre autre la Grande Ile possède un potentiel énorme dans le secteur de l'exportation et de productions dérivées des plantes aromatiques, en fait d'après le Prof. Dr. Georges M. Halpern, les conditions favorables pour la production d'huiles essentielles se réunissent bien à Madagascar (Halpern et Weverka, 2003). Ce qui fait que Madagascar se classe parmi les pays producteurs et exportateurs d'épices et d'huiles essentielles (MAEP UPDR, 2004).

Par rapport à leur historique et leur plan commercial, deux groupes des plantes se trouvent à Madagascar : (i) les produits d'exportation traditionnels, tels que le girofle, l'ylang-ylang, la vanille, le poivre, et (ii) les nouveaux produits d'exportation, classés en deux groupes selon leur mode de production: les plantes cultivées telles que le géranium, le vétiver, le basilic, le thym, le romarin, la cannelle, l'ail, le gingembre, le poivre rose, etc. et les plantes de cueillette telles que les longozo, radrika, ravintsara, helichryse etc.

Depuis 2005, Madagascar a vu sa production d'huiles essentielles augmenter progressivement, en particulier l'huile essentielle de géranium (Annexe 1) (Instat, 2011). En 2008, la Grande Ile a exporté 1.438 tonnes d'huiles essentielles tandis qu'en 2009, ce chiffre a augmenté à 1.924 tonnes et 2.361 t en 2010 (Instat, 2011). Une nette augmentation a été constatée entre 2008 et 2010, suite à une forte demande internationale de la part des industries cosmétiques, pharmaceutiques et agro-alimentaires ayant comme matière première les huiles essentielles. Si Madagascar était surtout connue pour ses huiles essentielles traditionnelles

comme les essences de Palmarosa, de girofle et d'ylang-ylang, l'Ile commence à faire parler d'elle sur le marché international d'exportation d'huile essentielle d'hélichryse, de niaouli ou de géranium. Madagascar possède donc une multitude de variétés des plantes pour en extraire de l'huile essentielle mais la production n'arrive pas à satisfaire la demande sur le marché international (Afriquinfos, 2011).

Par rapport à ce contexte, des questions qui se posent : « *Quelle est la technique culturale permettant d'augmenter la production du géranium à Madagascar afin de satisfaire le marché international? Comment produire un optimum de rendement en huile ?* ». Dans le souci de l'amélioration de la production des plantes aromatiques, en occurrence le géranium rosat; la société Tozzi Green SARL (Annexe 3), situé à Satrokala- District Ihosy, Région Ihorombe commence à s'y intéresser et prête à s'y investir à l'échelle industrielle dans un proche avenir.

Avant de se lancer dans la production à grande échelle, une approche expérimentale a été menée dans la zone d'intervention de la société Tozzi green. Ceci dans le but de connaître les influences des facteurs principaux influençant le rendement en matière verte et la teneur en huile essentielle de géranium, dont l'irrigation, la densité de la plantation et la fertilisation. Des mesures de l'état végétatif de la plante sont entreprises mensuellement ; une coupe de la biomasse aérienne, suivie d'extraction des huiles essentielles sont effectuées tous les trois mois durant deux campagnes culturales successives.

En termes d'organisation du manuscrit, il s'articule en trois parties :

- la première partie « **Matériels et méthode** » montre les démarches méthodologiques adoptées pour vérifier les hypothèses de la recherche,
- la deuxième partie « **Résultats** » est axée sur les présentations des résultats acquis au cours de l'expérimentation, et
- la troisième et dernière partie « **Discussion** » est réservée à l'analyse des résultats obtenus toujours au cours de l'expérimentation.

I. MATÉRIELS ET MÉTHODE

A. Problématique et hypothèse de recherche

Le *Pelargonium roseum*, communément appelé géranium rosat est une plante hybride issu de croisement entre deux espèces ligneuses de *Pelargonium*, à savoir le *Pelargonium radens* et *Pelargonium capitatum* (Demarme et Van Der Valt, 1989). Il est originaire de l'Afrique du Sud et été cultivé commercialement en France, Belgique, Espagne, Maroc, Madagascar, Egypte et Ile de la Réunion, Congo, Chine et l'Inde (Farooqi & Sreeram, 2001, Gomes *et al.*, 2006). Les huiles essentielles du géranium sont largement utilisées comme des matières premières indispensables dans des industries agroalimentaires, cosmétiques, parfumerie, et pharmaceutiques (Narayana *et al.* 1986, Matthews, 1995, Bauer *et al.* 1997, Rao, 2002). Au même titre que le clou de girofle, le vétiver, la menthe, et l'orange, le géranium figure parmi les huiles essentielles les plus demandées dans le monde (MCA-Madagascar., 2008). Madagascar a démarré la production d'huile essentielle de géranium Bourbon en 1992, cependant, la production malgache n'arrive pas encore à satisfaire la demande internationale, bien que les huiles essentielles de géranium de Madagascar soient réputées pour leur qualité (BAMEX, 2006).

Selon l'estimation du syndicat SYPEAM-PRONABIO, les producteurs malgaches n'arrivent pas à répondre à 10 % de la demande qui leur est adressée annuellement (in Vahinala Raharinirina., 2009). En effet, les paysans producteurs de géranium trouvent souvent des difficultés d'ordre technique durant la production de la dite plante. Les causes les plus souvent évoqués par les producteurs sont les problèmes de la gestion des maladies et d'adaptation au sol et au climat (température, eau). Ces problèmes sus-évoqués compromettent la filière géranium à Madagascar.

Afin de faire face aux contraintes liées à la production de la matière verte et d'huile essentielle de géranium, il est indispensable d'élaborer et de mettre en œuvre une technique culturale adéquate aux conditions locale de production. La présente étude est entreprise dans la zone d'intervention de la société Tozzi-green Madagascar, dans la Commune de Satrokala, District d'Ihosal, et Région d'Ihorombe, elle est proposée pour soulever en partie le problème de la production de géranium à Madagascar tout en essayant de répondre à ce questionnement de recherche « *Quels sont les facteurs qui déterminent les conditions optimales de*

production en matière verte et en teneur en huile essentielle de géranium dans la région d'Ihorombe ?» Pour répondre à ce questionnement du départ, les deux hypothèses suivantes sont testées :

✓ **Hypothèse 1** : les facteurs fertilisation, l'irrigation et la densité de plantation influent le rendement en matière verte.

✓ **Hypothèse 2** : la fertilisation, l'irrigation et la densité de plantation influent la teneur en huiles essentielles.

B. Description du géranium rosat et de son l'huile essentielle

1. Systématique de la plante

Règne	: VEGETAL
Sous règne	: METAPHYTES
Embranchement	: CORMOPHYTES
Sous- embranchement	: ANGIOSPERMES
Classe	: DICOTYLEDONES
Sous-classe	: DYALIPETALES
Série	: DISCIFLORES
Ordre	: GERANIALES
Famille	: GERANIACEES
Genre	: PELARGONIUM : <i>Géranium rosat</i>
Espèce	(<i>roseum</i>) / <i>Pelargonium</i> <i>x asperum</i>



Cliché 1 : plante de géranium rosat

2. Origine

Le genre *pélarгонium* comporte environ 270 espèces distinctes. La plupart des espèces connues sont endémiques au cap occidental. Bien que cette plante soit indigène à l'Afrique du Sud, elle est largement cultivée en Egypte, en Inde et en Chine, et, à un moins d'ampleur, en Afrique centrale, à Madagascar, au Japon, en Amérique centrale et en Europe. Ce n'est que bien plus tard qu'il fut cultivé sur **l'Ile de la Réunion** anciennement nommée "**Ile Bourbon**" qui en a fait l'une des meilleures huiles essentielles avec une qualité

irréprochable. Les principaux producteurs d'essence de géranium sont la Chine, l'Égypte, le Maroc et la Réunion ; les autres producteurs importants sont l'Algérie, l'Inde et certains pays de la CEI. D'autres cultivars sont issus d'hybridations entre *P. graveolens*, *P. radens* et *P. capitatum*.

3. Morphologie

a) Plante

Le géranium est un sous arbrisseau vivace à port dressé. Elle est verte toute l'année et peut atteindre jusqu'à 1 m de haut.

b) Racines

Système racinaire ne possède généralement pas de pivots et est généralement ramifié du fait de la multiplication de la plante par bouturage. Il peut atteindre 1 m dans les sols meubles et profonds, mais limité à 10 à 45 cm dans les sols à horizon B compact.

c) Tiges

Elles sont dressées à section circulaire de diamètre variant entre 0,6 à 1,3 cm et d'une longueur de 10 à 15 cm. Les rameaux lignifient au bout de cinq à six mois. La faculté de ramification du géranium possède une grande importance dans son aptitude à produire de la matière verte.

d) Feuilles



Cliché 2 : Feuilles du géranium rosat

Les feuilles ont une forme semblable à celles du cep de la vigne, mais d'une taille plus réduite (5 à 10 cm d'envergure), d'une couleur verte claire à verte foncé. Elles sont

duveteuses des deux cotés et fortement aromatiques. En effet, les poils contiennent des glandes sécrétrices d'huile essentielle dont l'odeur ressemble à celle de la rose. Le système foliaire comprend 3 parties ; la gaine, le pétiole et le limbe, auxquels s'ajoutent les stipules.

e) Inflorescence et fleur

Les fleurs sont roses claires tirant au mauve. Le géranium rosat présente une inflorescence centrifuge disposée en ombelles capitulaires. La floraison est en général considérée comme un signe de stress physiologique.

Etant donné que le géranium rosat est un hybride interspécifique, donnant lieu à des hétérozygotes et polyploïdes, il ne peut se multiplier que par bouturage (*ANDRIAMIFIDY O, 2001*)

4. Ecologie

Les conditions climatiques influencent beaucoup la teneur en huiles essentielles (qualité et quantité).

a) Aire géographique

Les Pélargoniums à essence sont cultivés dans les zones méditerranéennes, les Alpes maritimes, en Corse, en Algérie au Congo et intertropicale comme à la Réunion, à Madagascar, en Chine. Les meilleurs résultats ont été obtenus à une altitude de 400 à 600m mais on peut trouver des cultures prospérant à 1000m et même jusqu'à 1500m. Au-delà de 1500m, les gels sont à craindre en saison fraîche, on risque de replanter des boutures chaque année.

b) Exigence climatique

Le climat joue un rôle essentiel, souvent prépondérant dans le développement du géranium, il influe aussi bien la quantité que la qualité de l'huile essentielle.

c) Température

Le géranium a besoin de chaleur car celle-ci favorise le développement des essences. La température optimale de croissance est de 20-25°C ; le zéro de croissance est à 6°C, et la température maximale supportée est de 42°C (Mémento de l'agronome, GRET CIRAD 2004). Il ne pousse convenablement que dans un milieu chaud mais supporte une relative fraîcheur en hiver. Le géranium ne résiste généralement pas aux gels, il est donc conseiller de ne pas entreprendre là où la température descend en dessous de 5°C. Certains

auteurs affirment que conduire la plantation en sec en hiver, il supporte sans dommage des gels légers et peu prolongés.

d) Lumière

. Le géranium a besoin de beaucoup de lumière. Pour la plantation, choisir un terrain bien exposé et jouissant d'une forte luminosité. En cas d'insuffisance de la lumière, les feuilles de géranium sont décolorées et amoindries. On constate aussi que le manque de lumière des jours courts conduit le géranium à "filer" vers la lumière.

e) Eau

Le géranium pousse convenablement dans un milieu relativement sec, il ne s'accommode pas à une grande humidité atmosphérique. De plus, les pluies persistantes peuvent provoquer la rouille. Mais lorsqu'il souffre en eau, ses feuilles jaunissent et tombent, ceci peut être aussi bien le signe de la soif que de la noyade. La sècheresse prolongée provoque le ralentissement de la croissance mais l'excès d'humidité doit être évité. Ainsi, il faut éviter les zones gorgées d'eau ou temporairement inondées, à proximité d'un cours d'eau. Certains auteurs affirment que le crachin pendant l'hiver favorise le développement à condition que la température soit au dessus de son zéro de végétation. La pluviosité annuelle souhaitable est de 1000 à 1500mm.

f) La grêle

La grêle peut entraîner des pertes en matière végétale, donc en rendement en huile essentielle par ha, elle peut aussi induire des maladies.

g) Le vent

. En tant qu'arbrisseau, le géranium craint peu le vent mais il se porte bien en terrain protégé des vents, l'emploi de brise-vent est alors avantageux. On peut envisager la plantation sous serre contre le vent et le froid mais il faut bien étudier la rentabilité économique.

h) Exigences édaphiques

Beaucoup d'auteurs indiquent que le géranium se porte bien en sol léger, peu acide, humifère, profond et frais ; d'autres estiment que la terre siliceuse ou silico-argileuse riche et perméable lui est favorable. Toutefois, les sols légers, meubles, bien aérés, non gorgés d'eau, non asphyxiant et correctement drainés sont les plus convenus. On peut conseiller les sols ayant approximativement les compositions suivantes :

éléments physiques :

- ✓ 25 à 30% d'argile
- ✓ 50 à 60% de sable
- ✓ 5 à 8% de calcaire
- ✓ 5 à 6% d'humus

éléments chimiques :

- ✓ 1‰ d'Azote
- ✓ 3 à 5‰ de Chaux
- ✓ 2‰ de Potasse
- ✓ 1 à 2% Phosphore

Les meilleurs sols adaptés à la géraniculture sont (ANDRIAMIFIDY O, 2001) :

- ✓ les sols à épaisseur (Horizon A-B) supérieur à 1m étant donné l'enracinement agressif pouvant aller jusqu'à 1m.
- ✓ ayant une forte teneur en humus pour donner une bonne structure, compenser les éventuelles faiblesses de la capacité d'échanges et enfin l'équilibre microbiologique du sol.
- ✓ à teneur en Ca plus ou moins élevée, la plante en étant exigeante (MS > 2.20%).
- ✓ à texture limono-argileuse de préférence et à structure grumeleuse.
- ✓ A forte porosité afin de bien aérer le sol et éviter l'excès d'eau.
- ✓ Riche en Azote et Potassium surtout, vu que c'est l'accroissement de l'appareil végétatif et l'accumulation d'huile qui sont les plus importants pour le producteur.
- ✓ Les sols doivent être bien drainés et ont un pH compris entre 5,5 et 8.

5. Maladies et ennemis de culture

Les ouvrages sur la géraniculture signalent de nombreuses maladies et ravageurs de la culture. Les principales maladies sont fongiques (anthracnose, alternariose, cercosporiose, fusariose, rouille...). Certaines variétés sont résistantes à l'anthracnose. Des champignons du sol peuvent contaminer les plants en cas de forte humidité du sol.

a) Les maladies cryptogamiques :

Les principales maladies sont fongiques (anthracnose, alternariose, cercosporiose, fusariose, rouille...). Certaines variétés sont résistantes à l'anthracnose. Des champignons du sol peuvent contaminer les plants en cas de forte humidité du sol.

b) L'anthracnose

C'est une maladie fongique des parties aériennes causée par un champignon microscopique dénommé *Glomerella vanillae* Pech et Rag Var. *Pelargonii* dans sa forme parfaite. L'attaque commence par de petites taches nécrotiques circulaires qui, par confluence, vont donner de grandes lésions de coloration rougeâtre semblable à l'aspect d'une rouille ou de brûlure. L'anthracnose peut causer des dégâts importants en condition

d'humidité excessive. Les champignons attaquent en même temps le limbe, le pétiole et les nervures en provoquant la déformation accentuée de la feuille et le dessèchement des jeunes bourgeons terminaux. A son stade ultime, la maladie peut causer la mort de la plante étant donné que l'assimilation chlorophyllienne n'est pas suffisante. L'explosion de la maladie dans une plantation est causée par un degré hygrométrique élevé pendant l'été.

Luttes préventives :

- ✓ Mettre en place des haies vives qui serviront de barrière antispore.
- ✓ Effectuer des associations culturales pour favoriser l'antagonisme naturel et la propagation des spores.

Luttes curatives :

- ✓ Traitement par des fongicides
- ✓ Traitement par des extraits aqueux de bouse de vache. En effet, par sa richesse microbienne, celui-ci favorise l'antagonisme naturel.

c) Alternariose

Causée par l' *Alternaria alternata* ; des tâches apparaissent sur la surface inférieure de la feuille ; elles sont petites et soulevées. Sur les zones imbibées d'eau ,ces taches se développent rapidement en taches brunes, zonées et creuses; Ceux-ci peuvent être confondus avec les taches associées à la brûlure bactérienne, mais les taches Alternaria ont tendance à être plus grande en taille .



Cliché 3 : Plant de géranium infesté par l'alternariose

d) Le botrytis cinerea

C'est un champignon microscopique causant des nécroses en forme de V en bordure des feuilles. Elle est dans la majorité des cas, peu virulente et facile à combattre mais peut cependant détruire toute la plantation si le traitement est tardif. Le Botrytis déclenche une moisissure, étendant sa voile grisâtre sur les feuilles et les tiges.

Lutte préventive : élimination des organes attaqués

Lutte curative : traitement par fongicides

e) La rouille :

La rouille du géranium peut aussi causer une chute considérable de rendement. Elle est causée par le *Puccinia pelargonii zonalis* qui pullule en présence d'un taux d'humidité et une température de l'air ambiante élevés. L'existence de plante hôte favorise la propagation de la maladie.

Luttes préventives :

- ✓ Faire des associations culturales ;
- ✓ Traitement par des fongicides à base de captane.

Lutte curative :

- ✓ Traitement à base de captane.

f) L'Armillaria mellea :

Il est aussi redoutable provoque la pourriture des racines et la mort de la plante. Dès qu'on aperçoit un jaunissement des feuilles, il faut s'assurer s'il est dû à ce redoutable champignon, il faut alors arracher le plant et ne laisser aucune racine dans le sol car la contagion est très rapide.

g) Le pied noir du géranium

L'une des plus redoutables est une sorte de pourriture noirâtre qui attaque la base de la plante et appelée d'ailleurs "le pied noir du géranium". Elle attaque particulièrement les jeunes boutures et, plus rarement, les vieilles plantes.

h) Maladies bactérienne

i) La bactériose : la maladie du flétrissement bactérien.

Provoqué par *Ralstonia solanacearum*, le flétrissement bactérien est la plus fréquente et la plus dangereuse maladie du géranium. Cette bactérie est responsable de la plupart des dépérissements rencontrés au champ en attaquant sans distinction tous les stades phénologiques du géranium rosat. L'agent causal est une bactérie phytopathogène aérobie stricte, gram négatif dont la croissance par scissiparité est très active à 30°C en présence d'eau. En tant que microorganisme tellurique, l'infection est observée en premier lieu dans le système racinaire puis remonte au niveau du collet en se manifestant par un noircissement et se termine par la pourriture. Les bacilles pendant la pathogenèse attaquent les cellules par voie enzymatique. En se multipliant dans les tissus, la bactérie obstrue la lumière des vaisseaux et

secrète des substances toxiques qui altèrent et brunissent les conduits vasculaires. Le stade final de l'évolution est le flétrissement partiel du feuillage et un dessèchement foliaire typique commençant par le bas et finissant par l'atteinte de la plante entière. La bactérie se propage très facilement au moyen des eaux de ruissellement, des instruments de travail (sécateur, angady, ...) et en particulier des sols contaminés. En effet, ce sont surtout les racines qui hébergent la bactérie d'où sa dissémination de proche en proche dans le sol.

Luttes préventives :

- ✓ Eviter de cultiver sur de sols contaminés ;
- ✓ Maintenir la vigueur de la plante par une bonne fertilisation ;
- ✓ Associer les cultures ;
- ✓ Désinfecter les instruments de coupe avant et après usage ;

Lutte curative :

- ✓ Enlever et brûler les plantes malades.

ii) Le Pourridié

Le *Clitocybe tabescens*, un pourridié, provoque un autre type de dépérissement. Il attaque à la base des plantes et provoque des fentes longitudinales. Lorsqu'on soulève l'écorce, un manchon blanc apparaît

i) Les insectes ravageurs.

i) Le vers blancs

Le vers blanc (*Hoplochelus marginalis*) attaque les racines, ronge l'écorce et le phloème entraînant ainsi le flétrissement de la partie aérienne de la plante. Les points d'attaque du ver peuvent aussi servir de porte d'entrée pour des parasites secondaires. Le vers blanc est aussi attiré par les matières organiques (compost, fumier).

Lutte :

- ✓ Installation de plante leurre par l'intermédiaire d'une association culturale ;
- ✓ Prospection pédologique ;
- ✓ Mélange d'extrait de Neem ou de résidus de ranomena au sol ou au compost pour repousser les vers ;
- ✓ Traitement du sol avec des insecticides : chlorpyrifos-éthyl, carbofuran.

ii) Les criquets

Les criquets du genre *Locusta* rongent les feuilles des jeunes plants nouvellement transplantés.

Lutte : La lutte consiste à appliquer des extraits de Neem ou à traiter au DECIS les feuilles.

iii) Les termites souterrains

Les termites souterrains peuvent attaquer le géranium rosat. Ils percent un tunnel par les tiges et provoquent le fanage des plantes. Ces dernières prennent d'abord la couleur jaune avant de se faner.

Lutte :

- ✓ Arracher les plants à tunnel affectés par les termites et les brûler
- ✓ Appliquer la poudre de tabac.
- ✓ Insecticides de synthèse : Chlorpyrifos
- ✓ Traitement du sol avant installation de la culture



Cliché 4 : Attaque des termites sur un plant de géranium

Parmi les mauvais insectes qui attaquent le géranium, il faut citer aussi les mouches blanches, les araignées rouges, les thrips et les cochenilles

iv) Autres

Ce sont les dangers causés par la façon culturale elle-même ou par le milieu de culture.

On peut en citer :

- ✓ le dépérissement et la chute des feuilles causés par l'excès d'eau
- ✓ l'assèchement des parties aériennes causées par le froid et les gels
- ✓ la chlorose des feuilles causée par l'excès de chaux.

6. Technique culturale :

Chaque exploitant a son technique culturale mais les plus classiques sont :

a) La pépinière (2 à 3 mois)

La multiplication se fait par voie asexuée par l'intermédiaire du bouturage car le géranium rosat est un hybride interspécifique donc ne peut pas donner des graines. Le bouture doit être aoûtée ou jeune de 5 à 10 cm de long muni de 2 à 3 tire sève (feuille) au maximum pour réduire l'évaporation et pour la production de substances hydrocarbonées nécessaires à la synthèse de l'auxine. La présence d'une ou de deux bourgeons est à conseiller car c'est là où seront synthétisés l'auxine pour l'envoyer jusqu'à la base de la bouture. Les boutures sont prélevées sur des pieds-mères vigoureux et sains puis plantées soit sur plates bandes soit dans des pots et sous ombrière.



Cliché 5 : Boutures de géranium

b) La préparation de terrain et la transplantation

Après un labour profond et une bonne fertilisation de fond, la plantation se fait au trou avec une densité variant de 10 000 à 60 000 pieds /ha selon la technique de l'exploitant.

c) L'entretien de la culture

C'est surtout l'irrigation et la fertilisation d'entretien puisque, ce sont les feuilles qui sont les matières premières, il est conseillé d'utiliser de l'azote, telle l'urée pour l'entretien.

d) La récolte

La récolte se fait de 2 à 4 fois par an selon les conditions climatiques : il est impossible d'effectuer une troisième pour les zones à hiver rude où le développement de la plante est arrêté. La première coupe s'effectue au bout de 2 ou trois mois après transplantation si elle était faite en début de saison de pluie et les coupes suivantes sont effectuées après à une fréquence de 3 à 4 mois.

Il est conseillé de couper la tige juste au dessus d'un bourgeon. Il doit rester les tiers environ de la touffe après chaque coupe pour servir de tire sève. L'établissement d'un planning de coupe sur la capacité des alambics est nécessaire pour éviter l'accumulation des matières vertes qui tend à diminuer la teneur en huile essentiel.

Il ya deux types de récolte qui peuvent influencer le rendement :

- ✓ Taille de formation (pour rajeunir la plantation) : la coupe est plus bas au niveau ou il n'y a presque pas de feuilles vertes pour la photosynthèse , la reprise serait lente et difficile
- ✓ Récolte des matières vertes

e) Rendement

Le tableau suivant représente les rendements en matières vertes de géranium par type de culture.

Tableau 1 : Rendements en matières vertes de géranium par typologie de culture

Type de culture	Dimension de l'exploitation	Rendement en biomasse aérienne (t/ha)
Culture paysanne	< 1 Ha	15 à 20
Culture de type exploitation	1 à 5 Ha	18 à 22
Culture industrielle	> 5Ha	20 à 25

7. Technologie de transformation

La transformation consiste à extraire l'huile essentielle contenue dans les feuilles par divers procédé :

- ✓ Par hydro distillation où la matière verte sera submergée dans l'eau dans une cucurbite.
- ✓ Par hydro diffusion où la vapeur générée dans une chaudière et sera diffusée à travers la matière verte.

L'hydro distillation est la méthode couramment utilisée mais la qualité de l'huile obtenue risque d'être mauvaise. La normes de correspondance entre volume de cucurbite et poids de matières vertes se résument comme suit : (Source : RAKOTOMALALA Vololoniaina E)

<u>capacité en L de l'extracteur</u>	<u>Charges utiles en Kg</u>
600	200 à 250
800	300
1000	400 à 450
3000	1200

a) Principe de la distillation :

Il s'agit d'exploiter les principes volatiles des substances aromatiques de la plante.

Le mécanisme consiste à émettre de la vapeur sous pression qui va s'infiltrer à travers la masse de matière verte et véhiculer l'huile contenue dans les feuilles. La chaleur soudaine provoque ainsi l'extraction de l'huile contenue dans la plante. Au passage d'un réfrigérant, la vapeur revient à l'état liquide, il sera alors facile de séparer l'huile de l'eau par décantation.

b) Technique de la distillation du géranium :

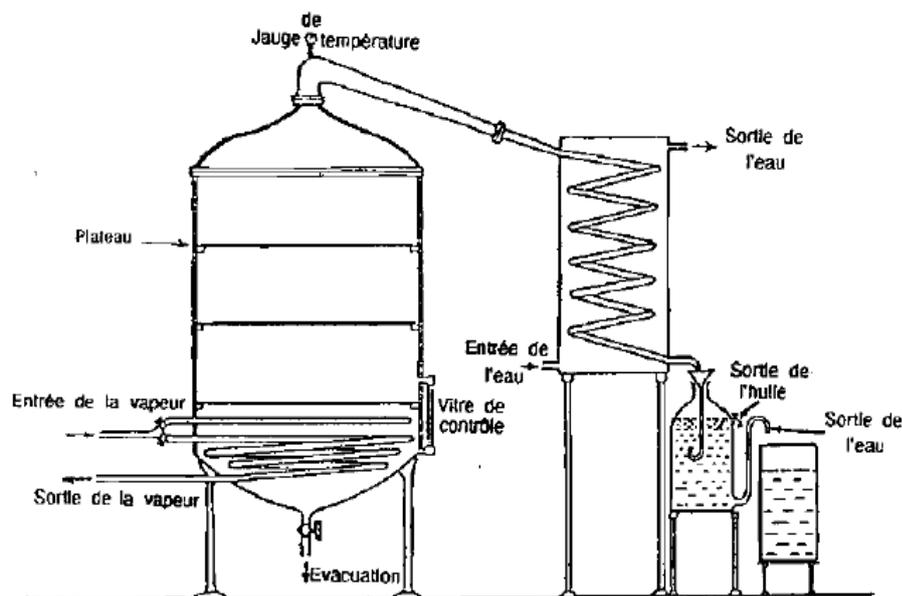


Figure 1. Principe et éléments constitutifs de distillation

L'essence est surtout contenue dans les poils qui se trouvent à la surface des feuilles mais il est préférable de distiller ensemble les feuilles accompagnées de tiges pour les raisons suivantes :

✓ la vapeur d'entraînement passerait mieux à travers une masse de feuille avec tige qu'une masse composée uniquement de feuilles ;

✓ le fait de couper une touffe est beaucoup plus pratique que la cueillette des feuilles lors de la récolte.

Il est conseillé de ne pas récolter pendant les jours pluvieux pour éviter une diminution du rendement car l'huile sera diluée. Il est aussi préférable de stocker à l'ombre les matières vertes avant distillation pour réduire la teneur en eau des cellules et optimiser ainsi

l'utilisation de l'alambic. La durée de distillation varie de 3 à 5 heures. En effet, l'analyse chromatographique montre que toutes les substances aromatiques sont évaporées après 4 heures. Le rendement en huile varie de 1 à 3‰ selon plusieurs facteurs tels que la fertilité du sol, l'altitude, le climat, la technique d'extraction, la conduite culturale, les variétés... L'huile essentielle est corrosive, seuls lui résiste le verre, l'aluminium, l'acier inoxydable et le cuivre.

C. Présentation du milieu d'étude

1. Situation géographique

La région d'Ihorombe se situe dans le Centre-Sud de Madagascar entre la longitude 44°98' et 46°62' et la latitude 21°61' et 23°10', sur une longueur allant de 100 km à 120 km, d'une largeur d'environ 200 km, et une superficie de 26 930 km². Elle comprend trois Districts (Iakora, Ihosy, et Ivohibe) et vingt-six communes. Le Chef lieu de district est la ville d'Ihosy, laquelle est située à 602 km au Sud de la Capitale Antananarivo, en empruntant la RN 7 (Monographie., 2013). L'expérimentation est effectuée dans la Commune Rurale de Satrokala (Figure 2)

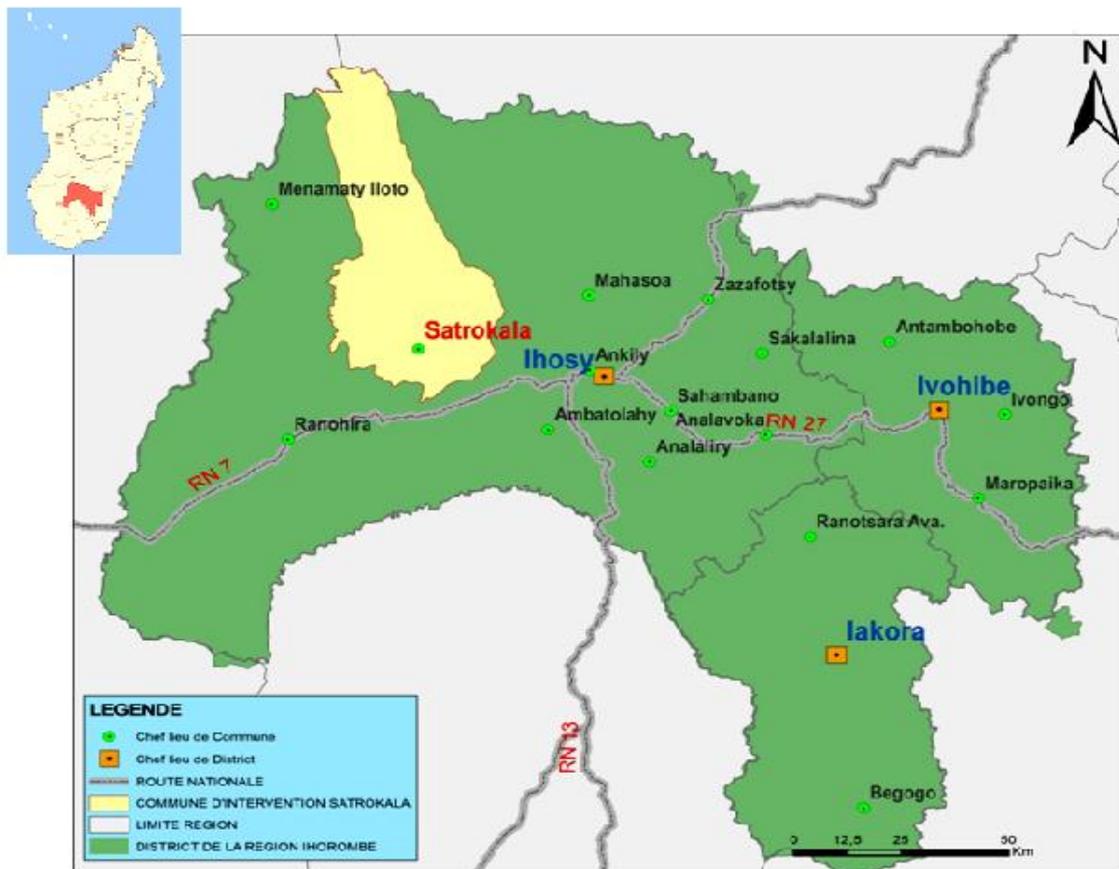


Figure 2 : Carte de localisation de la Commune Rurale de Satrokala dans la Région d'Ihorombe

2. Climat

Les données climatologiques recueillies durant seize ans (1997 à 2013) fournies par la station météorologique à Ranohira permettent d'élaborer la courbe ombrothermique de Gausson ($P \leq 2T$) (Figure 3). La région bénéficie d'un climat tropical semi humide avec une température moyenne annuelle de l'ordre de 20°C (une maximale : 28,3°C et une minimale : 14°C) et une pluviométrie annuelle de 898 mm (une maximale 1721 mm et une minimale : 528mm), ce qui le diffère des Hautes Terres Centrales (avec un climat frais et humide) et du Sud de l'Île (chaud et semi aride).

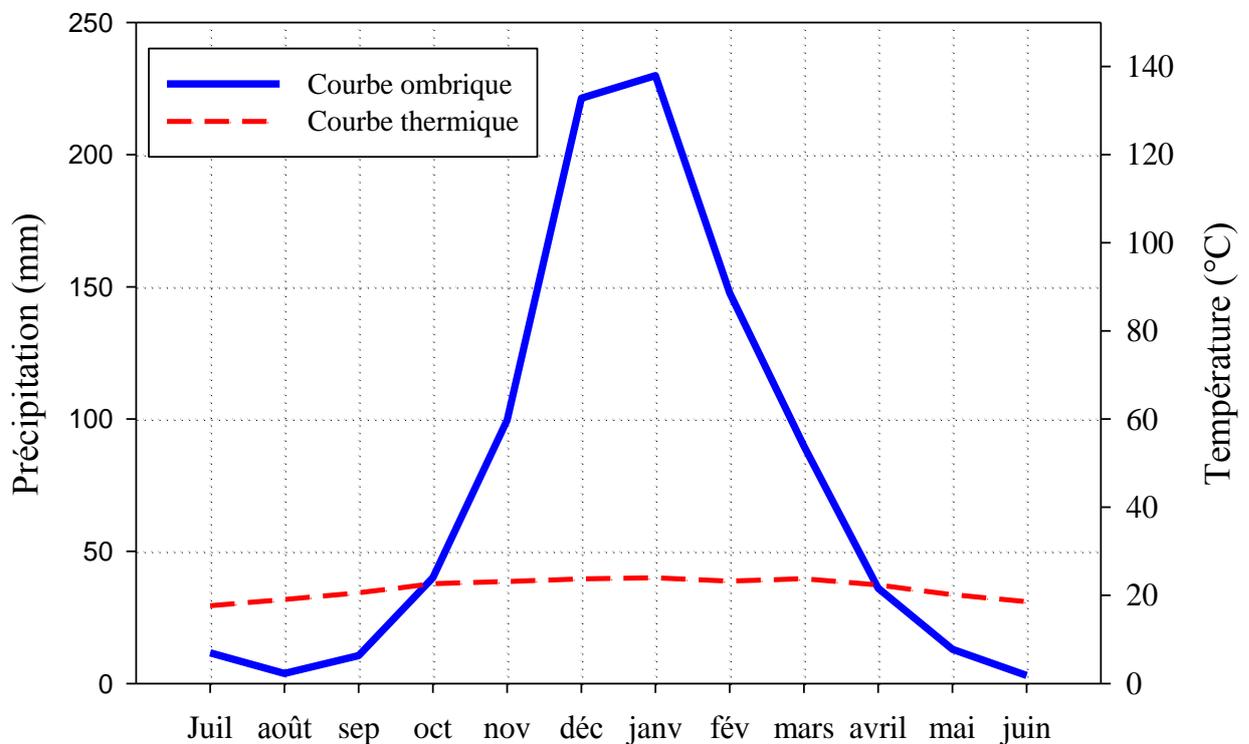


Figure 3 : Courbe ombrothermique d'Ihorombe
(BD Station météorologique de Ranohira)

3. Relief

Trois principaux types de paysages retracent dans la Région d'Ihorombe (Monographie., 2013) :

✓ la partie orientale est marquée, au Nord et au Sud par des secteurs montagneux, notamment la Montagne d'Ivohibe (avec le Pic Ivohibe de 2 060 m d'altitude), au Nord, et le début de la Chaîne de l'Andringitra, au Sud ; entre les deux secteurs montagneux s'étale une plaine de haute altitude ;

✓ la partie occidentale s'étale majoritairement sur le plateau d'Ihorombe (versant Ouest du socle central) qui est un immense étendu de collines et de prairies de faibles dénivellation, sur une altitude allant de 300 à 600 m ;

✓ le secteur occidental entame une petite partie du Massif de l'Isalo, lui-même situé dans la fosse Karoo ; les massifs ruiniformes de l'Isalo offrent un paysage de canyon, né de l'érosion de roches gréseuses durant des milliers d'années

4. Sol

A cheval entre deux domaines géomorphologiques bien distincts (socle et sédimentaire), la Région Ihorombe est l'archétype de la transition entre les Hautes terres centrales et le versant occidental de Madagascar (*Profil environnemental Ihorombe*). Le domaine sédimentaire prédomine car il recouvre une grande partie du territoire régional .

Le type de sol prédominant sur le territoire de la Région Ihorombe est le sol ferrugineux tropical, qui recouvre les vastes étendues de collines et les plaines du bassin sédimentaire des secteurs Est et Centre. On note toutefois, la présence d'associations de sols ferralitiques rouges et jaunes, ainsi que de sols faiblement ferralitiques, notamment sur la partie orientale de la région dans la zone montagneuse du massif d'Ivohibe.

Le bassin sédimentaire est formé de couches de matériaux sableux et de galets, favorables à l'emménagement des eaux pluviales et la formation de nappes phréatiques. De ce fait, les nappes phréatiques affleurent alors dans les points bas, formant des mouillères ou des sources qui constituent à la fois des points de ravitaillement en eau des villageois, des lieux d'abreuvement pour le bétail et parfois permettant l'irrigation de petits périmètres rizicoles.

Ce terrain sédimentaire est constitué de « sables roux », pauvre en phosphore et surtout en azote.

A noter également, qu'à l'Ouest, plus précisément dans la fosse Karoo, on retrouve d'autres types de sols, notamment les lithosols qui recouvrent les massifs gréseux de l'Isalo, les sols minéraux sableux au pied des massifs et sur les pentes fortes des massifs, les sols ferrugineux sur grès sur les pentes plus faibles et les sols hydromorphes dans les zones marécageuses, les bas-fonds et le long des ruisseaux (Monographie., 2013)

D. Présentation du dispositif expérimental et des traitements comparés

1. Les facteurs étudiés

Trois facteurs font l'objet de la comparaison dont l'irrigation, la densité de la plantation, et le niveau de la fertilisation.

✓ **Irrigation** : le facteur irrigation présente deux niveaux qui sont disposés en intra bloc : (i) l'arrosage s'effectue une fois par semaine (Irr1) et (ii) l'arrosage s'effectue deux fois par semaine (Irr2).

✓ **Densité de plantation** : à trois niveaux qui sont disposés en intra sous-bloc : (i) 40.000plants/ha : (Dt1), (ii) 50.000plants/ha (Dt 2) et 60.000plants/ha (Dt 3).

✓ **Fertilisation** : deux niveaux de fertilisation sont testés, ils sont disposés en inter-plot ou inter unité expérimental : 150 kg.ha⁻¹ d'N (Fert1) et 300 kg.ha⁻¹ d'N (Fert2).

L'unité expérimentale est représentée par un plot de 5 m x 4 m, dans laquelle se trouve une combinaison de modalités des trois facteurs (irrigation, fertilisation et densité de la plantation). En somme, les traitements comparés sont composés de deux facteurs à 2 niveaux et d'un facteur à 3 niveaux. C'est ce qui constitue un bloc de 15 m x 18 m (8 m fois 2 et une allée de 2 m). Ça permet de donner : (2 niveaux d'irrigation) fois (3 niveaux de fertilisation) fois (2 niveaux de fertilisation), en tout il y a 12 traitements et trois blocs (Figure 4).

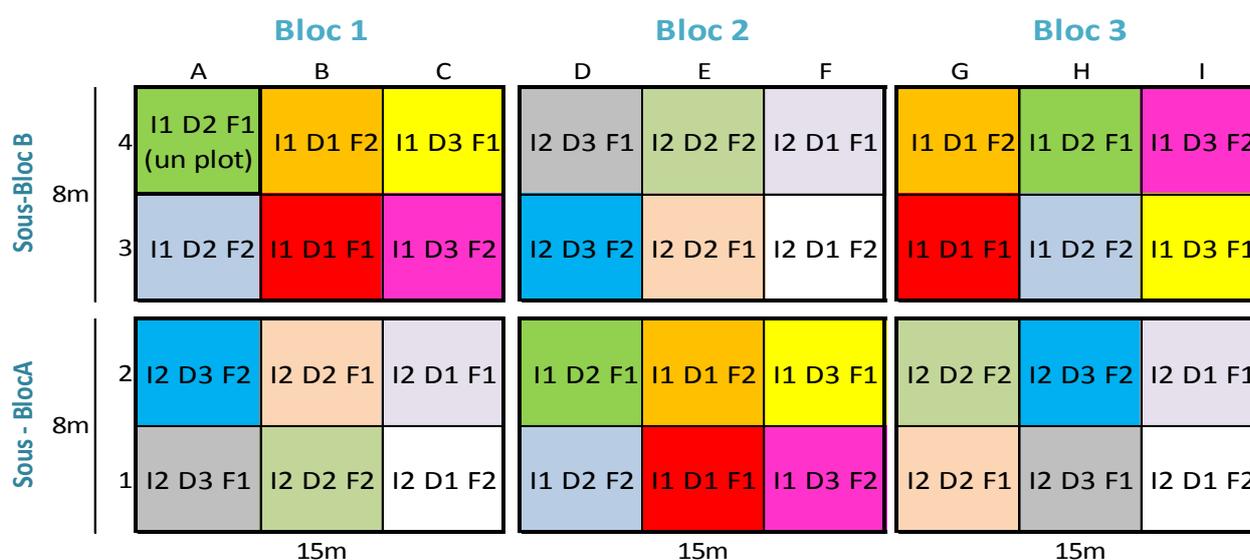


Figure 4 : Plan du dispositif expérimental

I1, I2 : Irrigation niveau1 et niveau2

D1, D2, D3 Densité 1, 2 et 3

F1, F2 : Fertilisation niveau 1 et 2

2. Historique de la parcelle expérimentale

L'expérimentation se trouve sur un terrain en pente de 7 %, exposé au Sud-est. Avant 2010, le terrain est une friche, la végétation naturelle est dominée par des *Aristida sp* (horona) d'où le nom de la région Ihorombe et des Andropogées (ahidambo). Selon la classification de WRB (2014), le sol est de type ferrallitique (oxisols).

De 2010 à 2011, une pépinière en pots de *Jatropha curcas* a été installée sur les parcelles d'expérimentation. En 2012, la parcelle devenait une pépinière en semis direct pour la production de jeunes plants de *Jatropha curcas* sur des plates bandes continues de 120 cm de largeur sur 60 cm d'allées sur lesquelles sont épandues 50 t.ha⁻¹ de fumier de zébu, 25 t.ha⁻¹ de balle de riz, 10 t.ha⁻¹ de cendre de balle de riz et 5 t.ha⁻¹ de calcaire . Les plants de *Jatropha* restaient sur la pépinière jusqu'en Juin 2013.

3. Analyse du sol

En 2012, la société Tozzi Green s'est investit dans l'étude pédologique approfondie sur la totalité des terrains exploités pendant lesquelles deux profils par parcelles ont été effectués par des spécialistes pédologues italiens (Luglio, 2013). Parmi lesquels, une représente la parcelle expérimentale dont le profil est montre par le Cliché 6 et résumé dans le Tableau 2. Le profil indique l'existence de trois horizons : l'horizon Ap allant jusqu'à 0,35cm, les horizons Bt1 et Bt2.



Cliché 6 : Profil pédologique représentant la parcelle expérimentale de géranium
(Luglio , Juillet 2013)

Les caractéristiques de chaque horizon sont montrées dans Tableau 2. Pour avoir le détail de l'analyse du sol en surface (35 cm), veuillez consulter l'annexe 4.

Tableau 2. Les horizons du profil pédologique représentant la parcelle expérimentale de géranium

<p>AP : 0-35 cm , sec; rouge jaunâtre (2,5YR-4/6); absence de squelette; texture argilo-sableuse; faiblement adhésif; non plastique; structure polyédrique subangulaire modérément développée; conductivité hydraulique modérément élevée; pores fins communes; racines fines verticales communes; bien drainé; limite inférieure linéaire brusque.</p>
<p>Bt1 : 35-75 cm ; humide; rouge (2,5YR-4/6); absence de squelette; texture argilo-sableuse; modérément adhésive; non plastique; Structure polyédrique subangulaire très développé, la conductivité hydraulique modérément élevée, quelques pores fins communes ; racines absents; bien drainé; limite inférieure linéaire brusque.</p>
<p>Bt2 : 75 à 150 cm; humide; brun jaunâtre foncé (10YR-3/6); absence de squelette; texture argilo-sableuse; texture facilement friable; faiblement adhésif; légèrement plastique; Structure polyédrique subangulaire peu développé ; conductivité hydraulique modérément élevée; quelques traces de silices pores commune moyenne; racines absents; modérément bien drainé; limite inférieure inconnu.</p>

(Rapport sur une étude pédologique des parcelles de Tozzi Green, Juillet 2013)

Les tableaux 3 et 4 montrent les caractéristiques externes et la qualité hydrique du sol de la parcelle expérimentale.

Tableau 3. Caractéristiques externes du sol de la parcelle expérimentale

Présence de pierre	absente
Présence de rocher	absente
Profondeur utile aux racines des plantes	Très profond (>150 cm). pas de forte limite au développement des racines pendant tout la profondeur du sol. La stabilité de la structure c'est bon.
Disponibilité d'Oxygène pour les plantes	Bon. pas d'excès d'eau pendant la saison de pluie, condition qui permet un développement normal des plantes. A la fin du période sec, le sol il se présente très secs.
Réaction du sol	Très limitée à cause de l'acidité. La réaction du sol cause une très faible disponibilité de calcium, magnésium et potassium ; par contre il y a une forte solubilisation d'aluminium, de fer et de bore. Il y a plus de développement de champignons que de bactéries.
Capacité d'échange cationique (CEC)	Très limité. La quantité de colloïde argilo-humus est très faible et le traitement de fertilisants est limité
Substance organique	trace
Salinité	absente

(Rapport sur une étude pédologique des parcelles de Tozzi Green, Juillet 2013)

Tableau 4. Qualité hydraulique du sol de la parcelle expérimental

Fissure	absente
Risque d'inondation	absente
Conductibilité hydraulique	modérément bas. La texture et la structure du terrain permettent à l'excès d'eau descendre dans le profil
Ruissellement superficielle	bas : il ya la pente qui le favorise ; la conductibilité hydraulique permet une rapide infiltration de l'eau.
Capacité d'eau disponible	Niveau superficiel (travail de terrain) : la capacité de rétention d'eau est trop faible. Jusqu'à la profondeur des racines : la quantité d'eau utilisable de la plante est modérément haute. Il n'y a pas de niveau où se limite l'enracinement ; la structure et la texture favorise le cumul d'eau, facilement utilisable plante.
Capacité d'assimilation	Possibilité que les agents de pollutions puissent arriver à l'eau superficielle et profonde. Elle est surtout déterminée par la CEC très bas et du pH inférieur à 5,5.
Risque d'érosion potentiel	Très bas .Le facteur pluie est le facteur de l'érosion est trop bas et la pente de la zone (1-5%) cause une risque d'érosion très bas.

(Rapport sur une étude pédologique des parcelles de Tozzi Green, Juillet 2013)

E. Itinéraire technique

La présente étude est une partie de protocole de recherche sur 4 campagnes culturales (Tableau 5) au cours de laquelle les deux premières campagnes culturales seulement sont analysées. Lors de la première campagne, le facteur irrigation n'est pas pris en considération puisque la première campagne culturale se coïncide avec la saison des pluies (Novembre à février).

Tableau 5. Calendrier des activités sur la parcelle expérimentale

CAMPAGNE	Campagne 1			Campagne 2			Campagne 3			Campagne 4			
	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov
Activités													
Transplantation des géraniums	x												
Irrigation					x	x	x	x	x	x	x	x	x
Récolte et distillation				x			x			x			x
Fertilisation	x	x		x			x			x			x
Prise des données		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

1. Travail mécanique du sol

Le travail du sol (labour et émottage) s'effectue mécaniquement en Octobre 2013, avec un système ripper/pulvérisateur sur une profondeur de 30 à 35 cm.

2. Fertilisation de fond

L'épandage d'engrais a lieu avant la transplantation (16/11/13). Il se fait manuellement, suivi de petit travail du sol en surface afin de recouvrir les engrais. La quantité d'engrais pour la fertilisation de fond est la même quel que soit les traitements 150 et 300 kg d'N /ha soit 0,11 kg unité d'N par plot ou 55 kg d'N/ha.

3. Transplantation

La mise à terre des plants de géranium s'effectue le 21 et 22 Novembre 2013. Les plantules sont des boutures à apicale de 3 mois de 10 cm avec 3 à 5 yeux. L'écartement entre les plants suivant l'interligne est de 1 m (doubles rangées de plants en quinconce, Cf.Figure 5. Sur cette interligne de 1 m va passer les futurs tuyaux pour l'irrigation goutte à goutte. Elle est aussi indispensable pour faciliter le passage de tracteur et des engins trainés au moment des entretiens.

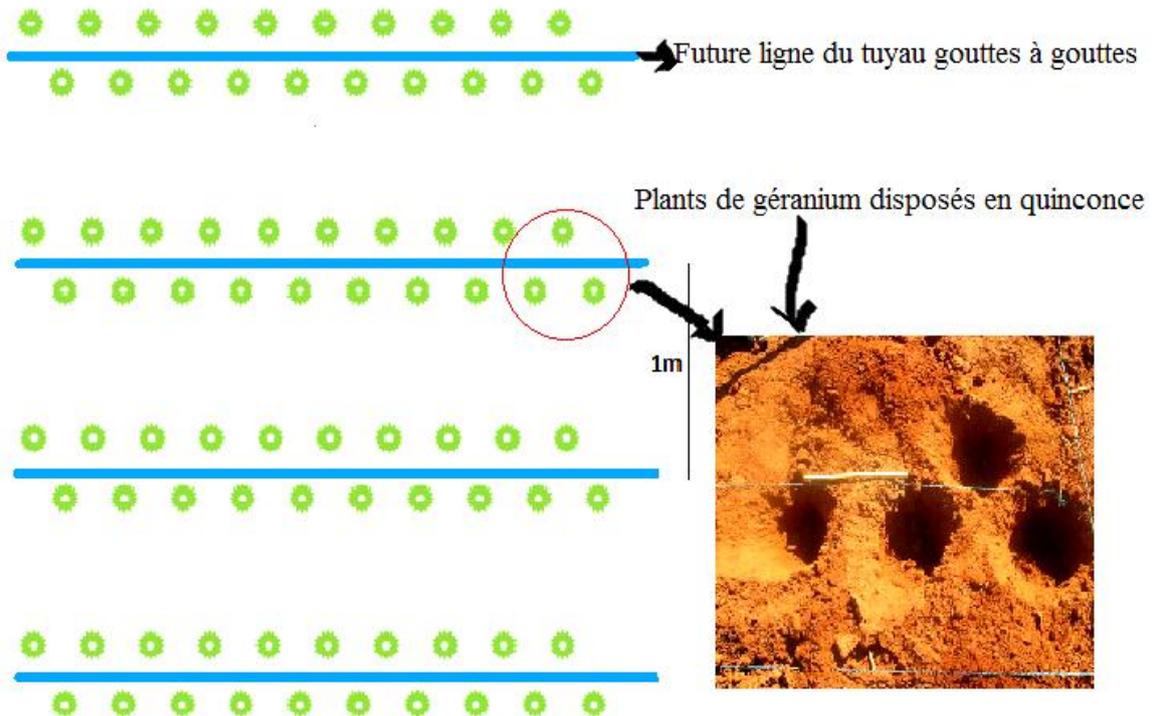


Figure 5 : Disposition des géraniums dans un plot

L'écartement inter-plants qui fait la différence entre les traitements comparés (Cliché 4):

- pour les 40.000 plants par hectare : 50 cm,
- pour les 50.000 plants par hectare : 40 cm, et
- pour les 60.000 plants par hectare : 33 cm.

4. Fertilisation d'entretien

Pour la première campagne, elle est faite un mois après la transplantation ramenant les blocs à $150 \text{ kg d'N.ha}^{-1}$ et $300 \text{ kg d'N.ha}^{-1}$, soient $0,41 \text{ kg d'urée}$ et $1,07 \text{ kg d'urée 46\%}$ par plot respectivement pour les niveaux $150 \text{ kg d'N.ha}^{-1}$ et $300 \text{ kg d'N/ha}^{-1}$ dont la base du calcul est rapportée en Annexe 6. Tandis que pour la deuxième campagne, l'opération est réalisée toute suite après la coupe. L'épandage manuel se fait de part et d'autre du côté de la ligne binaire de géranium précédé d'un sillon dans laquelle on verse l'engrais (Cliché 7). Un recouvrement du sillon avec de l'*angady* est fait après, afin de recouvrir et d'enterrer les grains d'Urée.



Cliché 7. Fertilisation à l'urée du part et d'autre coté de la ligne binaire

5. Irrigation

Le facteur irrigation est fait uniquement à la deuxième campagne, commencé juste après la fertilisation. Elle se joue aux fréquences de l'arrosage. L'arrosage est fait manuellement avec des arrosoirs de 10 L. Le tableau 6 présente le mode de calcul apporté par chaque parcelle et par chaque traitement considéré. Les arrosages s'effectuent tous les lundis pour tous les blocs (240 L par parcelle) et tous les jeudis pour le sous blocs à irrigation 2 (240 L par parcelle).

Tableau 6. Calcul de l'irrigation pour la parcelle expérimentale

Densité (plantation par hectare)	40 000	50 000	60 000
Nombre de plante par ligne binaire	20	24	28
Nombre de ligne binaire par plot	4	4	4
Volume d'un arrosoir (L)	10	10	10
Quantité d'eau à apporter par parcelle (L)	240	240	240
Quantité d'eau à apporter par ligne binaire (L)	60	60	60
Nombre d'arrosoir à apporter par ligne binaire	6	6	6
Quantité apporté par plant (L)	3	2,5	2,14

F. Prélèvements et mesures sur terrain

1. Mesure de la plante

Pour l'état végétatif, 10 plants représentatifs par parcelle sont prises afin de mesurer à l'aide d'un décimètre pliable (Cliché 8): la hauteur et le diamètre de la canopée de la plante. Cette prise de données est faite tous les mois à partir de la deuxième semaine de la transplantation afin de suivre la croissance de la plante.



Cliché 8 : Mesure de la hauteur et du diamètre de la canopée de la plante avec un décimètre pliable.

2. Récolte de biomasses aériennes

La récolte est effectuée tous les trois mois après la transplantation. La méthode de la récolte intégrale est appliquée, il consiste à couper à un niveau plus bas les plants de géranium de façon manuelle sur l'ensemble du plot (5 m x 4 m). Les échantillons sont ensuite pesés pour déterminer le poids de la matière verte.

Techniquement, la récolte devrait passer avant la distillation, mais comme on ne peut pas tout distiller avec trois alambics de 12l, on prend d'abord des échantillons de plantes pour distiller avant de tout récolter pour évaluer la matière verte totale.

Il s'agit ici de l'évaluation de la totalité des matières vertes par traitements. Les poids des échantillons pris pour la distillation sont additionnés avec le poids de la matière verte par plot pour avoir la biomasse totale sur le plot. Le rendement en biomasse est obtenu à partir de cette formule :

$$\text{Rendement en biomasse /plot (kg)} = \text{Poids d'échantillons pris pour la distillation/plot (kg)} \\ + \text{Poids de matières vertes pendant la récolte/plot (kg)}.$$

G. Travaux au laboratoire : la distillation

Tous les trois mois après la transplantation se fait la distillation. Trois alambics ou extracteurs de capacité de 10L chacun sont utilisées pour l'extraction des huiles essentielles. Les détails sur les constituants des alambics sont parus dans l'annexe 8 .



Cliché 9 : Distillations à feux très doux sur trois extracteurs

Avant les travaux au laboratoire, les parties lignifiées de la plante sont enlevées. La capacité de l'extracteur est de 2 kg .Pour un échantillon il faut donc 2 kg de biomasse fois 3 extracteurs, c'est-à-dire 6 kg de biomasses fraîches. Deux types de balance de précision sont utilisés : l'une pour mesurer la biomasse à distiller et l'autre pour peser les huiles obtenues (Annexe 8).

Le déroulement de l'extraction est la suivante :

- ✓ mettre 2 L d'eau dans chaque extracteur,
- ✓ mettre 2 kg de matières vertes dans chaque extracteur,
- ✓ distiller pendant 2 heures à feu très doux,
- ✓ verser ensemble dans un décanteur les huiles essentielles obtenues des trois extracteurs,
- ✓ récupérer, peser, conditionner, et étiqueter des huiles par traitement.

La quantité de l'huile obtenue après distillation est pesée avec une balance de précision de 100 g afin de mesure le rendement de l'huile essentielle qui est un variable calculé obtenue par traitement.

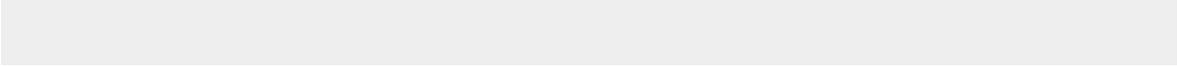
La teneur en huile essentielle, exprimée en pour mille est obtenue à partir de cette formule :

$$\text{Teneur en huile essentielle } (\text{‰}) = \frac{\text{Poids d'huiles essentielles obtenues (g)}}{\text{Poids de matières vertes distillées (kg)}}$$

Ces opérations sont répétées par distillation. 4 distillations sont faites par jour pendant la période de distillation. La première récolte de la première distillation est commencée à partir de 8h 30.

H. Traitements statistiques des données

Les traitements statistiques des données sont effectués avec le logiciel statistique XLSTAT 2008. L'expérimentation est étudiée sous trois facteurs : la fréquence d'irrigation, la densité de la plantation, et le niveau de fertilisation sur trois blocs donc trois répétitions. Après que les résultats suivent la loi normale, l'ensemble des données sont analysées suivant un modèle statistique d'analyse de variance ou ANOVA en split-plot à un seuil de signification $\alpha = 0,05$ et avec le test paramétrique de Fisher.



II. RESULTATS

A. Résultats de la première campagne

1. Etat végétatif

Les variations de la hauteur de la plante du diamètre de la canopée durant la première campagne culturale sont synthétisées dans la figure ci dessous.

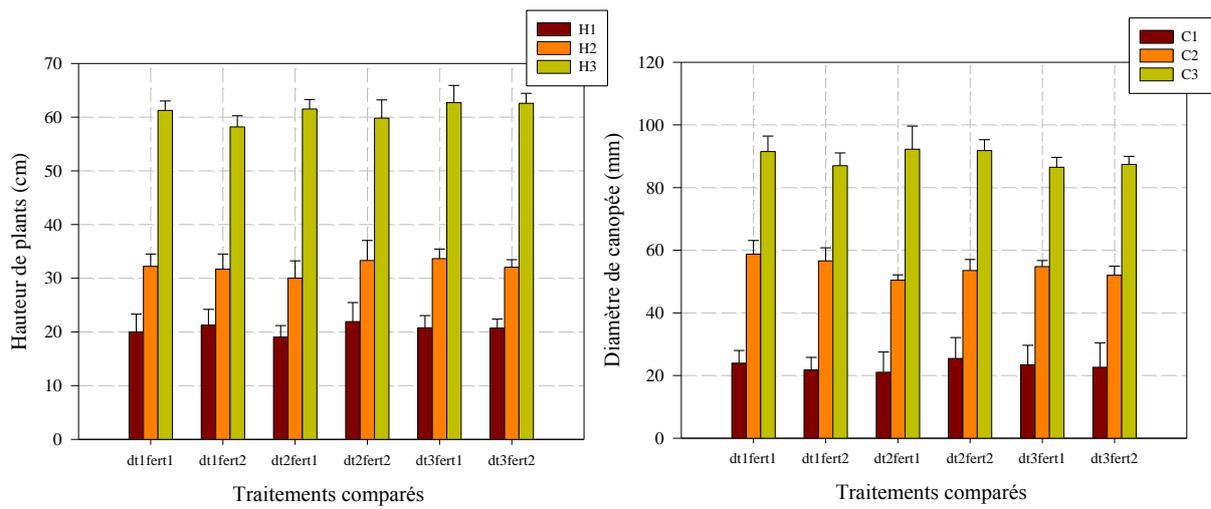


Figure 6. Variation de la hauteur et du diamètre de la canopée de la plante

H1, H2, H3 présentent respectivement la hauteur moyenne de la plante après un mois, deux mois, trois mois de plantation et C1, C2, C3 indiquent le diamètre moyen de la canopée de la plante après un mois, deux mois, trois mois de plantation. Les résultats obtenus montrent clairement que quelque soit le traitement étudié, l'évolution de la hauteur et du diamètre de canopée semble la même.

2. Biomasse aérienne

a) Effets de traitements sur la biomasse aérienne

Au cours de la première campagne, 6 traitements sont comparés, étant donné qu'on ne tient pas compte que l'effet de la fertilisation à 2 niveaux et l'effet de la densité de la plantation à trois niveau (*i.e.*, les sous blocs sont considérés comme des blocs).

La quantité de la biomasse obtenue sur tous les traitements varie entre $37,4 \pm 2,6 \text{ t.ha}^{-1}$, pour le traitement **dt2 fert2** et $41 \pm 6,4 \text{ t.ha}^{-1}$ pour le traitement **dt3 fert2**. Bien qu'il ait une différence de $4,5 \text{ t.ha}^{-1}$ entre ces deux valeurs citées, les résultats statistiques montrent une

absence de différence significative entre les traitements. Ni la densité de plantation, ni les niveaux de la fertilisation n'ont pas d'influence sur les rendements de production ($F= 0,377$, $ddl = 34$, $p = 0,887 > \alpha= 0,05$). Cf (ANNEXE 7)

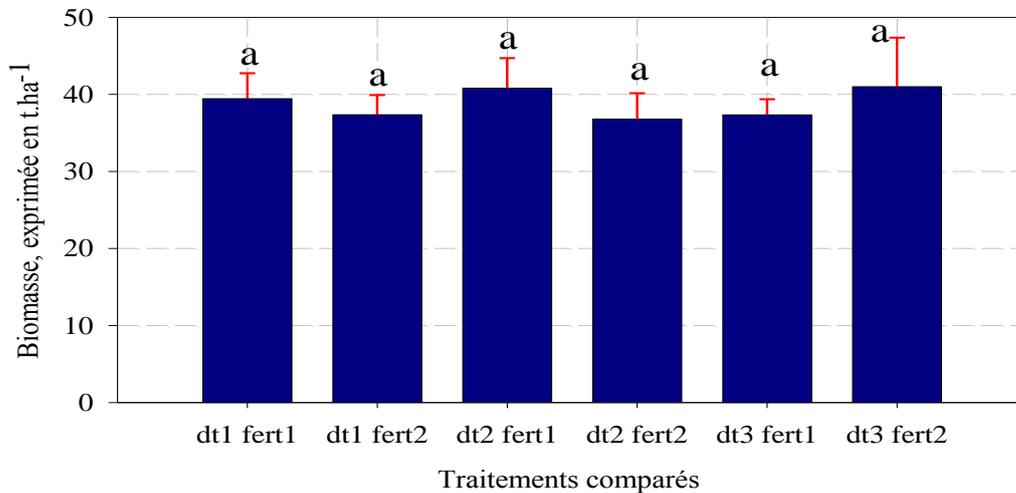


Figure 7. Rendement de biomasse aérienne par traitement au cours de la première campagne

b) Effet des facteurs étudiés sur la biomasse

Le rendement en biomasse augmente un peu en fonction de la densité de plantation (Cf. Figure ci-dessous) de manière non significative selon le tableau d'ANOVA (ANNEXE 7) ($F = 0,027$, $ddl = 2$, $p = 0,97 > \alpha= 0,05$) tandis qu'il diminue au fur et à mesure que l'on double l'unité d'N par hectare. Cette variation de rendement n'est pourtant pas significative. ($F = 0,089$, $ddl = 1$, $p = 0,816 > \alpha= 0,05$). Ces deux variables : fertilisation et densité de plantation n'ont pas d'effet significatif sur le modèle. (ANNEXE 7)

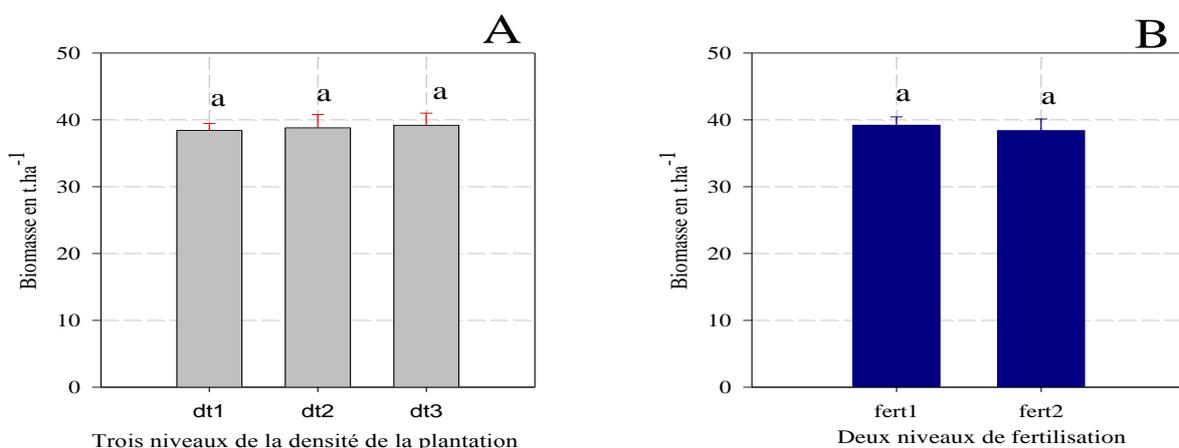


Figure 8. Effets des niveaux de la densité de la plantation (A) et niveaux de la fertilisation (B) sur la biomasse au cours de la première campagne.

c) Effets de blocs sur la biomasse

Par rapport aux chiffres obtenus, les sous blocs IA ($41,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) et IB ($41,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) donnent plus de biomasse par rapport aux autres, mais après traitements statistiques des données, une absence de différence significative est constatée entre les sous blocs.

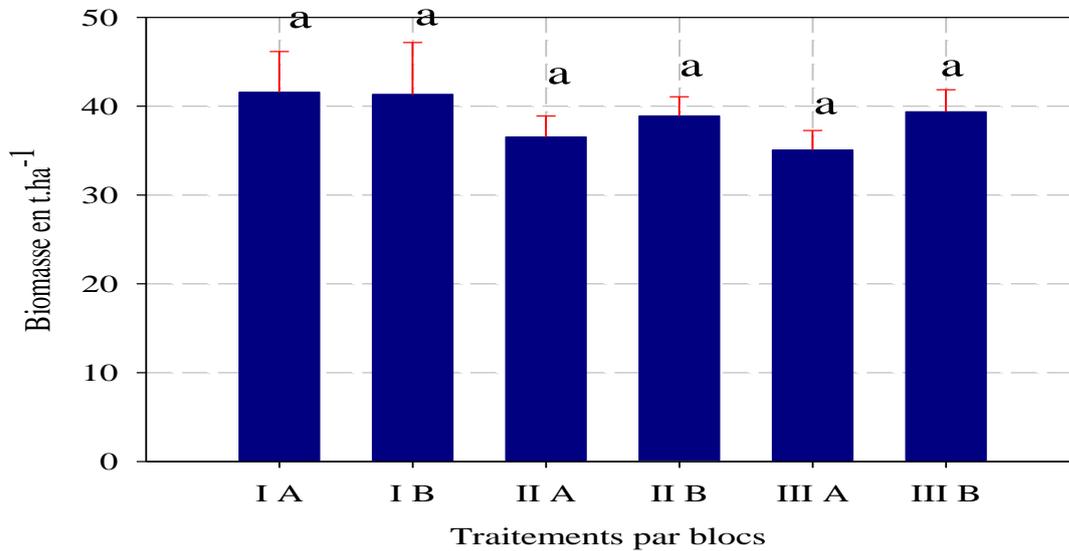


Figure 9. Variation de la quantité de la biomasse par sous blocs lors de la première campagne

3. Teneur en huile essentielle

a) Effet des traitements sur la teneur en huile essentielle

L'analyse des données indique que le teneur en huile essentielle varie entre $1,98 \pm 0,45 \text{ ‰}$ (dt2 fert1) et $2,44 \pm 0,20 \text{ ‰}$ (dt3 fert2) (Cf. Figure 10). La comparaison statistique des données montrent une absence de différence significative entre la teneur en huile essentielle des six traitements étudiés.

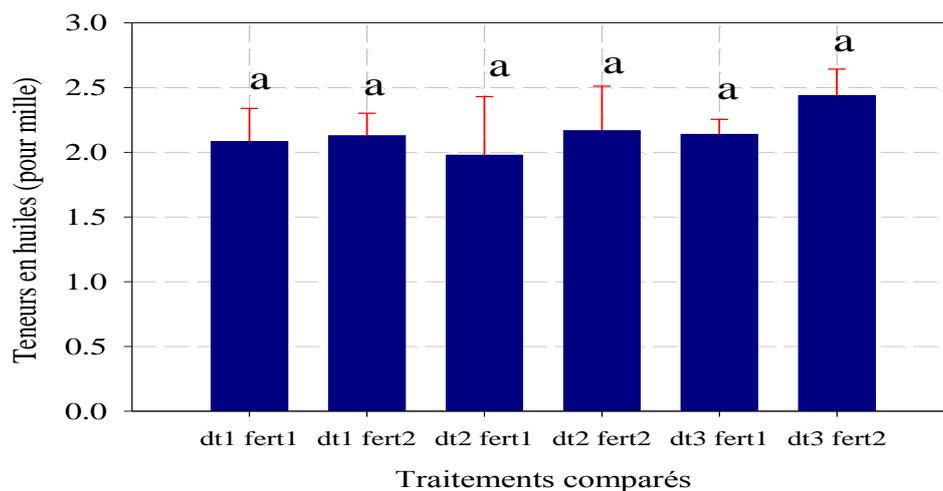


Figure 10. Teneur en huile essentielle par traitement de la première campagne

b) Effet des facteurs étudiés sur la teneur en huile essentielle

La densité 60 000 plants/ha a la meilleur teneur en huile essentielle (Figure 11A). Cette différence de rendement entre les densités de plantation n'est pourtant pas significative. ($F = 7.259$, $ddl = 2$, $p = 0.254 > \alpha = 0,05$) selon le tableau d'ANOVA en Annexe 7. Concernant le facteur fertilisation (Figure 11B), la meilleure teneur en huile essentielle est obtenue de manière non significative avec la fertilisation 300 kg d'N/ha (fert2). Nous pouvons donc conclure que les deux facteurs apportent une information non significative pour expliquer la variabilité du teneur en huile essentielle.

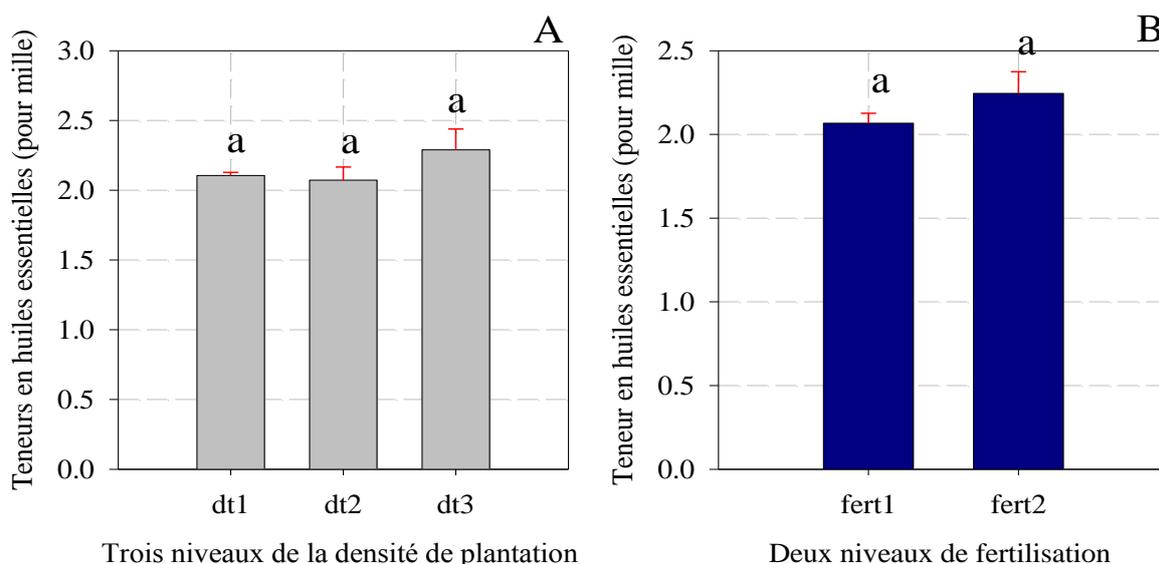


Figure 11. Effets de niveaux de la densité de la plantation (A) et niveaux de la fertilisation (B) sur la teneur en huile essentielle.

c) Effet du bloc sur la teneur en huile essentielle

La figure 12 montre la teneur en huiles essentielles sur les trois blocs. Le bloc 3 présente la meilleure teneur en huile essentielle. Sa variation entre les blocs n'est pourtant pas significative. ($F = 17.333$, $ddl = 2$, $p = 0.167 > \alpha = 0,05$) selon le tableau d'ANOVA en Annexe 7.

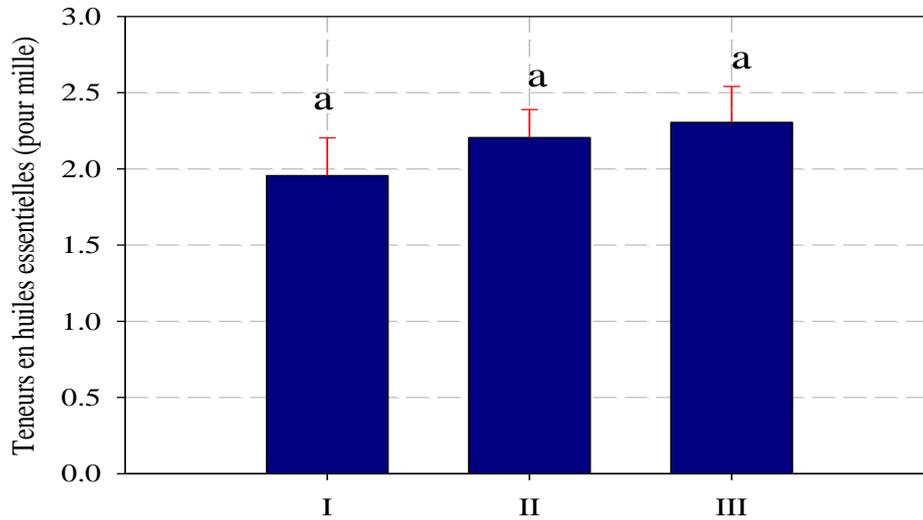


Figure 12 : Teneur en huile essentielle par bloc pour la première campagne

B. Résultats de la deuxième campagne

1. Etat végétatif

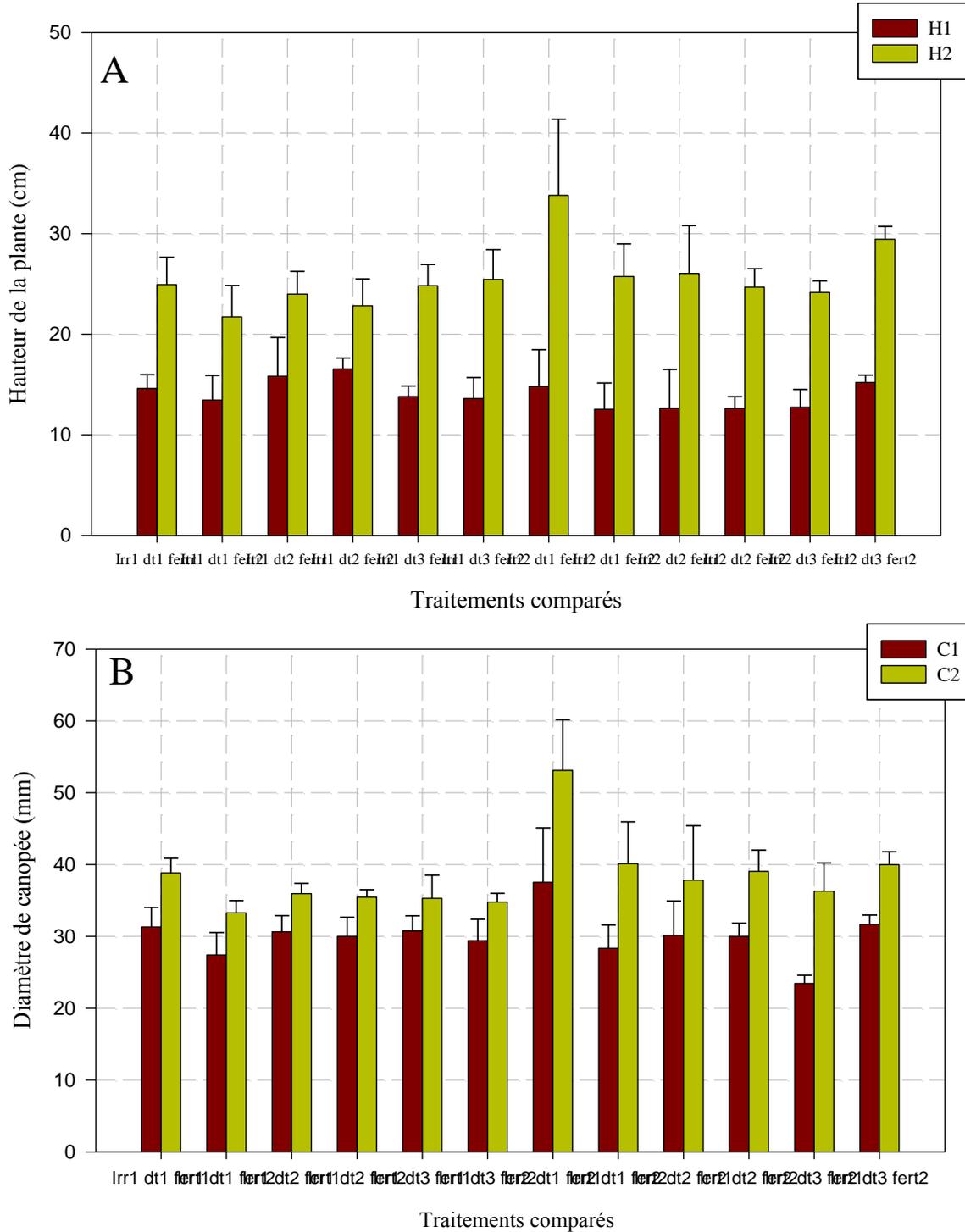


Figure 13. Variation de la hauteur de la plante (A) et le diamètre de la canopée (B) durant la deuxième campagne

H1 et H2 présentent respectivement la hauteur moyenne de la plante après un et deux mois après la plantation et C1 et C2 indiquent le diamètre moyen de la canopée de la plante après un et deux mois après la plantation. Pour tous les traitements, les allures de la courbe de variation de la hauteur et du diamètre de canopée sont les mêmes pour tous les traitements.

2. Mortalité observé

Un taux de mortalité a été observé pendant la deuxième campagne résumé par Tableau 1 .

Tableau 7. Rendement moyen par rapport aux taux de mortalité

Traitement	Rendement moyen (t/ha)	Taux de mortalité après la coupe (%)
Irr1 dt1 fert1	9,38	15
Irr1 dt1 fert2	7,03	11,25
Irr1 dt2 fert1	8,37	17,71
Irr1 dt2 fert2	8,75	13,19
Irr1 dt3 fert1	9,68	15,77
Irr1 dt3 fert2	8,03	19,94
Irr2 dt1 fert1	16,65	13,75
Irr2 dt1 fert2	11,21	17,5
Irr2 dt2 fert1	14,15	15,63
Irr2 dt2 fert2	13,42	14,93
Irr2 dt3 fert1	10,21	45,24
Irr2 dt3 fert2	18,37	11,31

En utilisant la régression linéaire, le but est d'étudier comment le taux de mortalité influence le rendement de biomasse à l'ha.

Tableau 8. Anova sur l'influence du taux de mortalité au rendement en biomasse

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Taux de mortalité après coupe (%)	1	73,674	73,674	6,764	0,015
Irrigation	1	205,037	205,037	18,825	0
Densité (pl/ha)	2	20,749	10,375	0,953	0,398
Fertilisation	1	3,375	3,375	0,31	0,582

Ce tableau nous révèle que le taux de mortalité influence aussi le rendement en biomasse.

3. Biomasse aérienne

a) Effets des traitements sur le rendement en biomasse

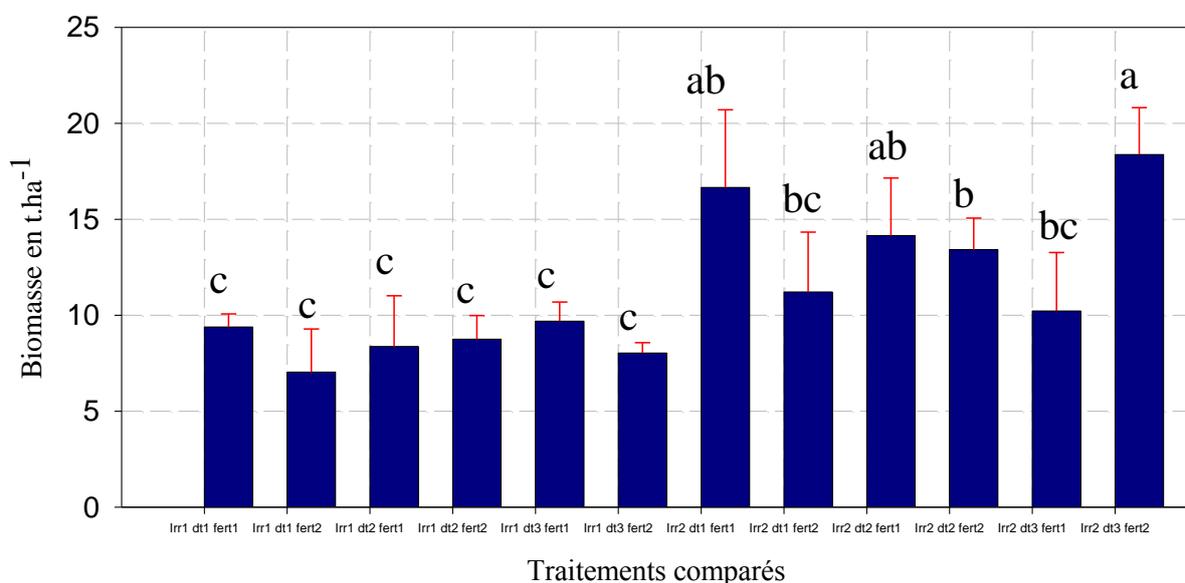


Figure 14. Rendement de biomasse par traitement de la deuxième campagne

L'analyse des données du rendement de biomasse indique que les traitements : Irr2 dt3 fert2 ont le meilleur rendement 18,37 t/ha .Ils sont suivis par le couple de facteurs Irr2 dt1 fert1a sur un rendement de 16,64 t/ha. Le modèle en ANNEXE 7 présente une différence significative entre les douze traitements ($p = 0.006 < \alpha = 0,05$). Un risque de 0.006 % est pris en concluant que les variables explicatives apportent une quantité d'information significative au modèle.

b) Effets des facteurs sur le rendement en biomasse

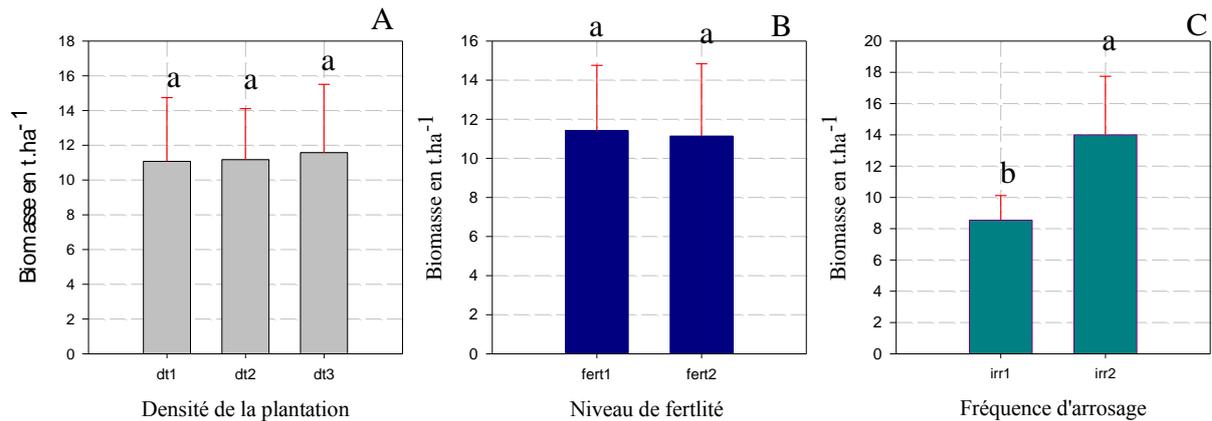


Figure 15. Effets de niveau de la densité de la plantation (A), niveau de la fertilisation (B), fréquence d'arrosage (C) sur la biomasse.

- **L'irrigation** a une influence hautement significative sur le rendement en matières vertes à l'ha : l'irrigation Irr2 présente presque le double de rendement en biomasse que celle de Irr1 . D'ailleurs, le tableau d'ANOVA en ANNEXE 7 indique une probabilité largement inférieure au seuil de signification ($\alpha = 0.05\%$) . L'irrigation est la variable qui apporte le plus d'information au modèle.

- **Sur la densité de plantation** : le rendement augmente avec la densité de plantation .On a le meilleur rendement sur dt3 mais cette différence n'est pourtant pas significative selon le tableau d'ANOVA $p = 0.920 > \alpha = 0.05\%$. (ANNEXE 7)

- **Sur la fertilisation** , le niveau fert1 est plus productif en matière de biomasse mais cette différence n'est pourtant pas significative selon la table d'ANOVA ($p = 0.800 > \alpha = 0.05\%$) . (ANNEXE 7)

c) Effets de blocs sur la biomasse

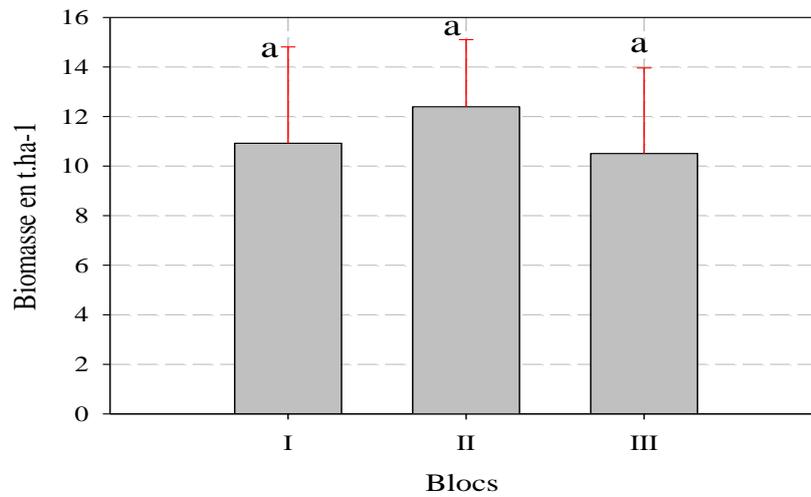


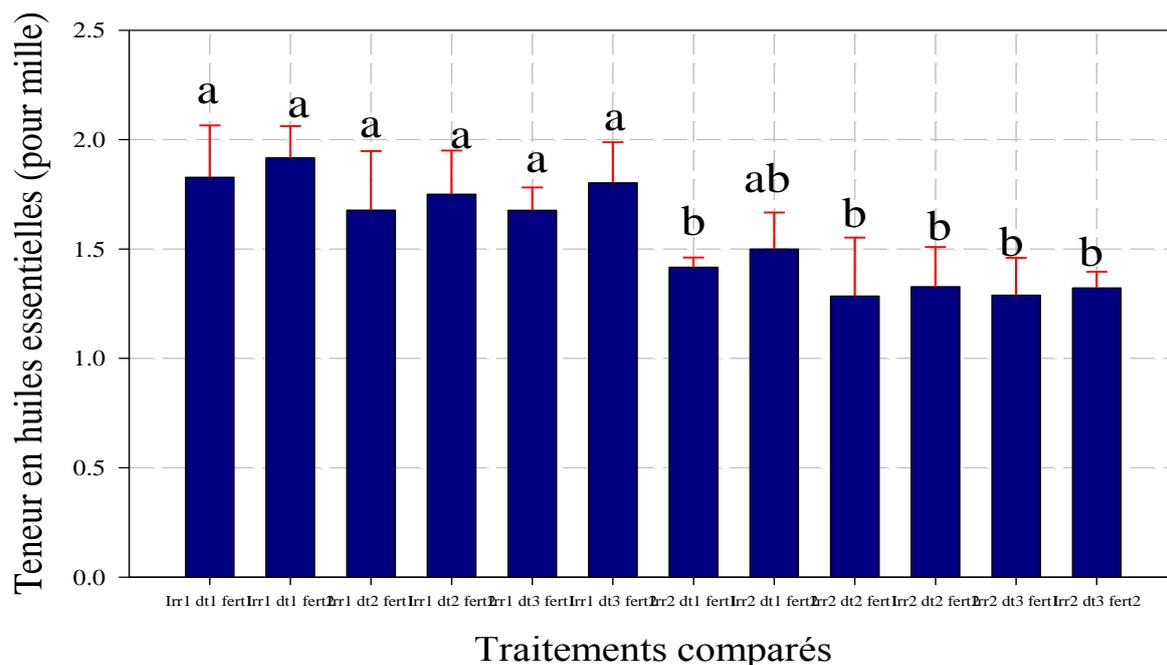
Figure 16. Rendement moyen de biomasse par bloc

La figure 16 montre qu'on a plus de rendement en biomasse sur le bloc II. La différence de rendement entre les trois blocs de la parcelle expérimentale n'est pourtant pas significative selon le tableau d'ANOVA (ANNEXE 7) puisque $p=0.333 > \alpha = 0.05\%$.

4. Teneur en huile essentielle

a) Effets des traitements sur la teneur en huile essentielle

Figure 17 : effet des traitements sur la teneur en huile essentielle de la deuxième campagne



L'analyse des données du rendement en huiles essentielles indique que le traitement Irr1 dt1 fert2 a la meilleure teneur en huile essentielle, le plus bas c'est Irr2 Dt3 fert1 .La différence entre les douze traitements sont significatives ($F = 7,965$, $ddl = 31$, $p = 0,028 < \alpha = 0.05\%$) selon (ANNEXE 7). Nous pouvons donc conclure que les variables et leur interaction apportent une information significative pour expliquer la variabilité du rendement.

b) Effets des facteurs sur la teneur en huile essentielle

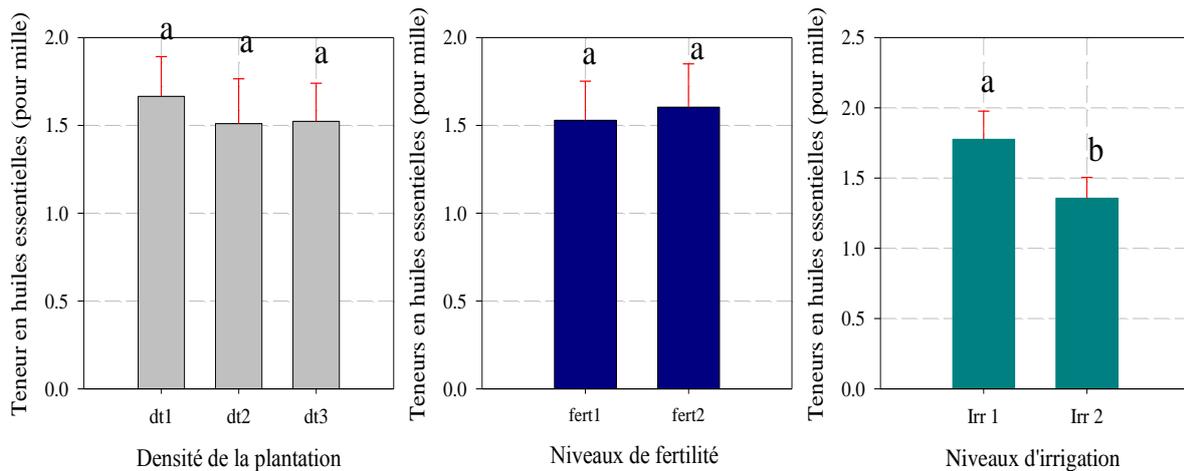


Figure 18 : Effets de niveau de la densité de la plantation (A), niveau de la fertilisation (B), fréquence d'arrosage (C) sur la teneur en huile essentielle.

✓ **L'irrigation** a une influence considérable sur la teneur en huile essentielle. L'irrigation une fois par semaine a la meilleure teneur. D'ailleurs, le tableau d'ANOVA en ANNEXE 7 indique une probabilité largement inférieure au seuil de signification (0.05%).

✓ **La densité** dt1 a la meilleur teneur en huiles essentielles (Figure 18). Cette différence de rendement entre les densités de plantation n'est pourtant pas significative. ($F = 6.065$, $ddl = 2$, $p = 0.0651 > \alpha = 0.05\%$) selon le tableau d'ANOVA

La meilleure teneur en huiles essentielles correspond à la fert2. La différence de teneur entre ces deux niveaux de fertilisation n'est pourtant pas significative selon tableau d'ANOVA ($F = 60.06$, $ddl = 2$, $p = 0.06 > \alpha = 0.05\%$)

c) Effets de blocs sur la teneur en huile essentielle

La figure 16 montre la teneur en huiles essentielles par bloc de la deuxième campagne, les résultats obtenus montrent une absence de différence significative entre les trois blocs ($F = 27$; $ddl = 2$; $p = 0,167$) selon le tableau d'ANOVA en ANNEXE 7.

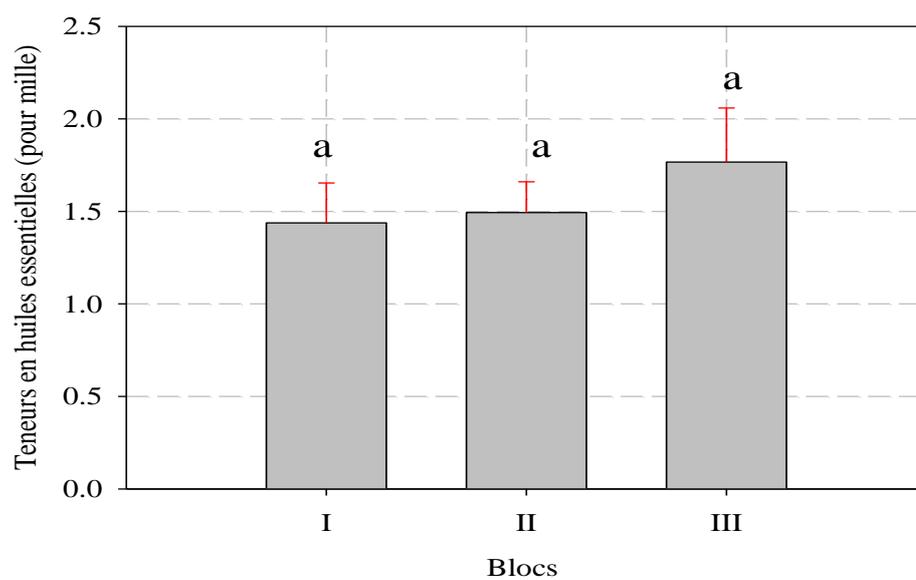


Figure 19 : Teneur en huile essentielle par bloc de la deuxième campagne

C. Comparaison des deux campagnes

Tableau 9. Synthèse des résultats de la première campagne

Campagne	1ère campagne					
	Période de pluie					
Irrigation	150			300		
Fertilisation kg (N.ha-1)	150			300		
Densité (pl/ha)	40 000	50 000	60 000	40 000	50 000	60 000
Rendement moyen en biomasse (t/ha)	39,45	42,51	40,02	37,36	38,33	43,94
Pourcentage de matière lignifiée par rapport à la biomasse	15	15	15	15	15	15
Rendement en MV à distiller (t/ha)	33,53	36,13	34,02	31,76	32,58	37,35
Teneur en huile essentielle (‰)	2,08	1,98	2,14	2,13	2,17	2,44
Taux de mortalité après la coupe	-	-	-	-	-	-
Rendement en huile à l'ha (kg/ha)	69,75	71,54	72,8	67,64	70,7	91,13

Tableau 10. Synthèse des résultats de la deuxième campagne

Campagne	2ème campagne											
	Une fois/semaine						Deux fois/semaine					
Fertilisation (kg N/ha)	150			300			150			300		
Densité (pl/ha)	40 000	50 000	60 000	40 000	50 000	60 000	40 000	50 000	60 000	40 000	50 000	60 000
Rendement moyen en biomasse (t/ha)	9,38	8,37	9,68	7,03	8,75	8,03	16,65	14,15	10,21	11,21	13,42	18,37
Pourcentage de matière lignifiée par rapport à la biomasse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rendement en MV à distiller (t/ha)	9,38	8,37	9,68	7,03	8,75	8,03	16,65	14,15	10,21	11,21	13,42	18,37
Teneur en huile essentielle (‰)	1,83	1,68	1,68	1,92	1,75	1,8	1,42	1,43	1,29	1,5	1,33	1,32
Taux de mortalité après la coupe	15	17,71	15,77	11,25	13,19	19,94	13,75	15,63	45,24	17,5	14,93	11,31
Rendement en huile à l'ha (kg/ha)	17,15	14,05	16,24	13,48	15,31	14,48	23,59	20,26	13,17	16,82	17,81	24,29

La comparaison de résultats obtenus au cours des première et deuxième campagnes montrent que la première campagne offre des meilleurs rendements en huiles par hectare, en matières vertes et en teneur en huile essentielle malgré la lignification de la partie basale des plants de Géranium. Concernant la deuxième campagne, l'irrigation deux fois par semaine est intéressante en matière verte à l'ha et en rendement d'huile à l'ha même si la teneur en huile par rapport à l'irrigation une fois/semaine est intéressante. Elle est compensée par l'augmentation de biomasse



III. DISCUSSION

A. Effet de l'irrigation

Le facteur le plus influant sur le rendement en matière verte et en teneur en huile essentielle revient à l'irrigation. L'analyse statistique des données a montré que la réduction de la fréquence d'irrigation induit une réduction significative de rendement de biomasse. Cette augmentation de rendement de la matière verte pourrait être expliquée par l'action turgescence de l'eau de l'arrosage. En effet, l'eau des cellules exerce une pression sur leur paroi et donnent de la rigidité aux parties souples de la plante (tige, feuille, jeunes pousses...), ce qui entraîne forcément l'augmentation des poids fraîches de la biomasse de géranium.

Ce qui n'était pas le cas de la teneur en huile essentielle. L'augmentation de la fréquence de l'irrigation a un effet négatif sur la teneur en huiles essentielles. Ces résultats rejoignent à ceux trouvés par Bahlebi *et al* (2008), ils avancent que la diminution de la fréquence de l'irrigation et l'arrêt de cette opération une semaine avant la coupe accroissent d'une manière significative le rendement en huiles essentielles à l'hectare. L'étude courant indique aussi que le déficit hydrique provoque la réduction parallèle des métabolites primaires et secondaires, les huiles essentielles figurent parmi ces métabolismes secondaires cités par Srivastava & Luthra (1993). Rajeswara Rao (2002) a également signalé que le rendement d'huile essentielle à l'hectare du géranium rosat a été inversement coorellées avec le rendement de biomasse verte.

B. Effet de la densité de plantation

Bien que les trois modalités de densité de plantation n'aient pas d'influence significative sur le rendement en biomasse. Il existe cependant une légère tendance à la hausse du rendement de biomasse en fonction de la densité : c'est le nombre de plants par unité de surface qui en est la plus responsable. Une étude statistique plus approfondie et plus détaillée pourrait en tirer des résultats significatifs . Par rapport à ces observations, l'augmentation de la densité de la culture est proposée puisqu'elle donne un meilleur rendement en matières vertes, mais dans la présente étude l'écartement idéale n'est pas encore trouvé, une expérimentation beaucoup plus pointue sera nécessaire pour déterminer l'écartement idéale pour la culture de géranium dans la Région d'Ihorombe.

La teneur en huile essentielle diminue de manière non significative selon l'Anova de dt1 à dt3 résultant de la concurrence en lumière entre les plants. Plus c'est moins dense, plus les plants sont tous exposés à la lumière du jour et peuvent faire la photosynthèse librement. Ainsi, la forte quantité de lumière couplée à la faible compétition entre les plantes aurait permis à celles-ci de réaliser plus efficacement la photosynthèse et par conséquent, de produire ses métabolites. Une étude statistique plus approfondie s'avère nécessaire pour en tirer significations des résultats.

C. Effet de la Fertilisation

Bien que l'azote fasse partie des oligoéléments de nutrition des plantes, et ayant une influence positive sur rendement de biomasse aérienne. Entre 150 kg d'N/ha et son double, une absence de différence significative est constatée. Ce qui fait que par rapport à la présente expérimentation deux hypothèses peuvent être proposée par rapport aux résultats, soit l'optimum de rendement en matière verte dans le contexte étudié est autour de 150 unités d'azote, ce qui fait que l'augmentation au double n'a pas d'effet significatif sur le rendement, il pourrait être que les surplus d'azote apporté sont lixiviés, soit le double d'apport d'azote n'arrive pas encore à faire la différence, pour voir la dose optimale, il est conseillée d'augmenter le nombre des niveaux doses testés.

D. Climat et autres

Les données obtenues au cours de cette étude indiquent que le climat est un facteur déterminant de rendement en matière verte et en huile essentielle. En comparant les résultats obtenus au cours de la première (été chaud et humide) et de la deuxième campagne (froid et sec), la saison joue un rôle important sur la hauteur et la canopée de géranium. Ces deux paramètres mesurés sont plus importants durant la première campagne que la deuxième campagne. La variation de la température et de la pluviométrie pendant les deux campagnes sont montrés dans l'annexe 10. Pendant la première campagne, les géraniums sont bien exposés au soleil, avec une température mensuelle moyenne de l'ordre de 22,5 °C, ils sont également bien arrosés puisque la pluviométrie pendant la campagne s'élève à 696 mm. Lors de la deuxième campagne, les plantes ne bénéficient pas de ces conditions optimales, puisque la croissance et la récolte se coïncident en période hivernale. Ces observations rejoignent à ceux rapporté par Rajeswara Rao *et al.* (1996).

Entre autre, Motsa *et al.* (2006) ont rapporté que le teneur en huile essentielle de géranium a tendu à diminuer avec la diminution des températures de nuit. Cette recherche entreprise par Motsa *et al.* (2006) permet de mieux expliquer la différence des rendements en huilles essentielles obtenus au cours de deux campagnes.

Outre la facteur climatique, la différence entre les rendement en biomasse vertes de la première et de la deuxième campagne est également liée au mode de coupe et la difficulté de reprise des plantes coupées. En effet, après une coupe sévère à la fin de la première campagne, une lignification de la partie basale des plantes est constatée et le taux de mortalité est important, surtout sur les lignes inférieures des blocs causés par l'ombrage des *Acacia sp* (haie) qui délimitent le côté bas du bloc expérimental. Pour diminuer le taux mortalité et le stress après coupe, il est proposé de réduire la campagne pendant la période de pluie donc de récolter quand les tiges sont encore vertes et de laisser quelques feuilles sur les plantes coupées pour servir de tire-sève, indispensable pour que le phénomène de la photosynthèse puisse passer dans des conditions convenables.

E. Interaction entre les facteurs

Parmi les trois facteurs étudiés, l'irrigation a une influence significative sur le rendement en biomasse et en teneur en huile essentielle par hectare. Cette observation est bien visible lors de la deuxième campagne pendant laquelle le facteur irrigation est bien différencié. Concernant, l'interaction entre les facteurs étudiés, une forte interaction existe entre la densité de la plantation et la fertilisation mais elle est plus accentuée avec le facteur le plus influent qui est l'irrigation.

La fertilisation et la densité n'agissent pas indépendamment sur le rendement, pour la fertilisation 150kg N/ha fert1: le rendement en biomasse à l'ha diminue en fonction de la densité tandis que sur la double unité d'azote, il augmente de manière significative . Plus la densité est élevé, plus il faut apporter de fertilisant puisqu'il y a beaucoup plus de plantes qui en ont besoin. La population de plante à l'ha est proportionnelle à la fertilisation.

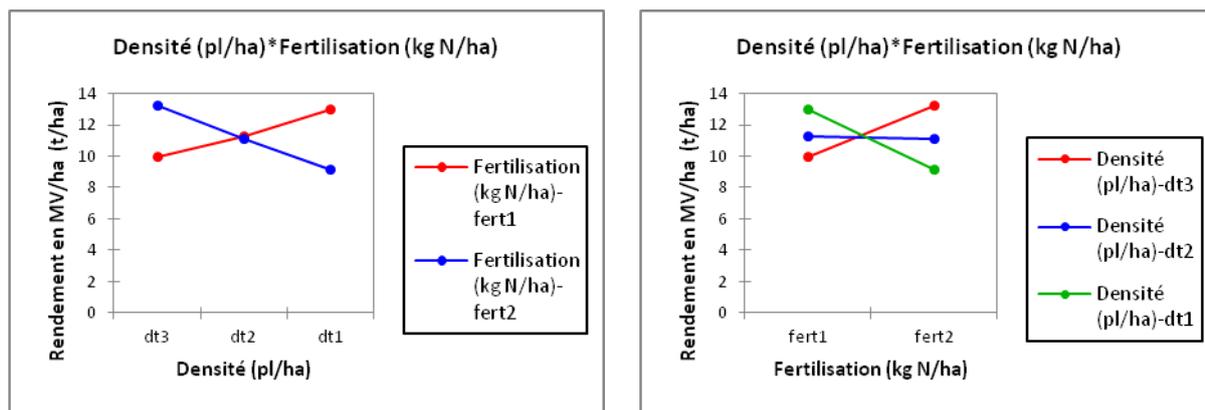


Figure 20: Interaction entre densité de plantation et fertilisation

Cette interaction est beaucoup plus accentuée par l'irrigation deux fois par semaine selon les résultats en cours. L'interaction est plus importante en présence de l'eau puisque l'engrais jouera son rôle sans que le manque d'eau agisse comme facteur limitant. Cette interaction revient à la conclusion sur l'étude de l'effet de la fertilisation organique et minérale sur la production en biomasse et en huile essentielle de citronnelle dans la région des cascades de TOUGMA Wendllassida. 2006).

F. Effet bloc

La teneur en huiles essentielles sur le Bloc III est plus importante par rapport aux deux autres (Bloc I et bloc II). Cette différence est attribuée au planning de coupe et de distillation, en fait le planning de coupe via la distillation va du bloc I vers le bloc III. Au moment de la première coupe et la distillation l'irrigation est suspendue. Ce qui fait que le géranium sur bloc III a bénéficié l'effet de stress hydrique, un facteur indispensable pour favoriser l'augmentation de la teneur des huiles essentielles, qui est déjà évoqué par la recherche entreprise par Bahlebi *et al.* (2008).

CONCLUSION

A l'issue de cette étude, il a été déduit que l'amélioration de rendements de biomasse verte et l'huile essentielle de *Géranium rosat* nécessite la maîtrise de plusieurs facteurs parmi lesquels l'irrigation, la fertilisation, et la densité de plantation que les producteurs doivent être tenu compte pour obtenir un meilleur résultat. Par rapport à cette investigation quelques points méritent d'être soulignés, en faite :

- pendant la première campagne: tous les traitements n'ont pas d'influence sur le rendement en biomasse et en teneur en huile essentielle. Tandis que pour la campagne 2 : La densité de plantation et la fertilisation traités indépendamment n'ont pas d'influence significative sur le rendement en biomasse. Par contre il existe une interaction entre-elles et plus influente encore avec l'irrigation. Economiquement parlant, il est intéressant d'utiliser la fertilisation 150 unité d'N à l'ha , puisque le double unité d'N ne répond pas une augmentation significative de biomasse et de rendement en huile.
- Le facteur le plus influant sur le rendement en matières vertes et en teneur en huiles essentielles est l'irrigation. Le rendement en matières vertes et le teneur en huiles essentielles exprimée en ‰ ont répondu positivement à l'irrigation. (Cas pratique). Ce qui donne un rendement d'huile essentielle à l'ha plus élevé.
- une importance augmentation en matières végétales et en teneur en huiles essentielles est marquée pendant la campagne 1 correspondant à une tempéature et pluviométrie optimale au développement de *Géranium rosat*. Les géraniums ont eu une croissance soutenue .Un meilleur rendement d'huiles essentielles à l'ha en est alors trouvée malgré la lignification de la partie basale des plants de géranium. L'évaluation de cette partie lignifiée, impropre à la distillation conduit à une proposition de réduire la campagne de coupe pendant la saison de pluie, au moment où la base de la tige est sont encore verte.
- Un arrêt d'irrigation pendant une semaine et plus avant la distillation accroît la teneur en huiles essentielles. Ce traitement est très pratique dans le cas ou le volume de l'alambic est limitant, economise aussi la combustible pour le brûleur puisqu'il y a un meilleur teneur en huile essentielle (rendement par distillation).
- Ces deux campagnes de trois mois a permis d'avoir un intervalle de production d'huiles essentielles entre 81 et 115 kg/ha pour selon les traitements en un semestre sur le plateau d'Ihorombe. Cette culture est alors promotteuse surtout que l'offre ne satisfait pas la demande sur le marché national et international. Ces résultats pourraient servir d'outils

d'aide à la gestion de culture de géranium afin d'optimiser les rendements à l'ha d'huile essentielle de géranium en particulier dans la région d'Ihorombe.

Cette étude qui est en fait une partie d'une protocole qui va durer toute une année nous a permis de déterminer le facteur le plus déterminant du rendement en biomasse et en huile essentielle. Elle sera complétée par l'analyse qualitative sous CPG des huiles par traitement afin de voir aussi s'il y a une influence de ces facteurs sur la qualité d'huile . La protocole d'une année va permettre d'obtenir le rendement annuel de la biomasse et d'huile à l'ha, la variation du rendement en biomasse et en teneur en huile essentielle au cours de l'année afin d'intervenir sur la conduite de culture.

Bien que le facteur le plus déterminant des rendements en biomasse et en huiles soit trouvé. Des nombreux points méritent encore d'être entrepris pour compléter les informations dans le but d'améliorer les rendements de production de la biomasse et les teneurs en huiles essentielles. Par rapport à ce souci d'amélioration, ces paramètres seront envisagés :

- ✓ Analyses foliaires pour déterminer le poids secs et d'évaluer ainsi les rendements par rapport aux poids secs ; les exportations du géranium par rapport au sol;

- ✓ Approfondissement de l'étude sur la dose optimale d'azote qui donne les meilleurs rendements en biomasse et en huile essentielle ;

- ✓ Etude de besoins effectifs en eau du géranium. Quantifier (mm/par coupe, mm/kg huile, etc.) ;

- ✓ Etude de la hauteur de coupe et la date de récolte optimales sur les rendements en biomasse et en huile essentielle de géranium.

Ces perspectives sont vivement sollicité afin d'augmenter la connaissance sur le géranium à Madagascar,

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Piccaglia, R.; Marotti, M.; Giovanelli, E.; Deans, S.G.; Eaglesham, E. 1993, Antibacterial and antioxidant properties of mediterranean aromatic plants. *Ind. Crops Prod.* 2, 47–50.

FOFIFA-SCAC, 2003. Etude de Filière : Plantes Aromatiques et Médicinales et Huiles Essentielles, Propositions de scénarios de mécanisme fiscal et de système de contrôle, SCAC, FOFIFA/DRD, DGEF/SVE/LABEL CBD, Mars, 94 p.

HALPERN G.M., WEVERKA P., 2003. *The Healing Trail: Essential Oils of Madagascar*, Basic Health Publications, Inc., North Bergen NJ, ISBN 1-59120-016-4.

MAEP UPDR., 2004. Filière Plantes à parfums et Huiles essentielles. Fiche n° 112

DEMARNE F & VAN DER VALT JJA. 1989. Origin of the rose scented Pelargonium cultivar grown on Réunion Island. *S. Afr. J. Bot.*, 55 (2), 1984-191.

FAROOQI, AA, SCREERAM, BS. 2001. Geranium. In: *Cultivations of medicinal and aromatic crop.* pp. 356-362.

NARAYANA MR, PRAKASA RAO EVS, RAO BBR, SASTRY KP., 1986. Geranium cultivation in India: potentials and prospects. *Pafai J.* 8, 25–30.

MATTHEWS AJ., 1995. Geranium leaves for cracked nipples. *Aust. J. Hosp. Pharm.* 25:538-539.

BAUER D, GRABE H, SURBURG, 1997. *Common Fragrance and Flavor Materials: Preparation, Properties and Uses.* Fourth, Completely Revised Edition Wiley-VCH weinheim- New York- Chichester-Brisbane- Singapore- Toronto. 291 pages.

RAJESWARA RAO B.R., KAUL P.N, SYMASUNDARA KV, RAMESHS S, 2002. Water soluble fractions of rose-scented geranium (Pelargonium species) essential oil. *Bioresource Technology*, 84, 243–246.

MCA-Madagascar., 2008. Etude sur les opportunités d'investissement et de marché dans les zones d'intervention de MCA-Madagascar Identification des opportunités d'investissement – Rapport R4 Annexes.

BAMEX, 2006. Fiche produit : Huiles essentielles de Géranium - Huiles essentielles de Girofle - Huiles essentielles de Ravintsara, 2 p.

VAHINALA RAHARINIRINA, 2009. Valorisation économique de la biodiversité par les contrats de bio-prospection et la filière huiles essentielles : le cas de Madagascar. *Economies and finances.* Université de Versailles-Saint Quentin en Yvelines, 425 pages.

WRB (World reference base for soil resources). 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *WORLD SOIL RESOURCES REPORTS* 106 FAO and AOUN Rome, 181p.

LUGLIO, 2013. Rapport sur une étude pédologique des parcelles de Tozzi Green : caratterizzazione dei suoli finalizzato alla valutazione della attitudine dei suoli alla coltivazione sostenibile. Tozzi green - Satrokala – Madagascar. 90 pages.

BAHLEBI K.E, PUFFY S, STEYN JM, 2008. High Irrigation Frequency and Brief Water Stress Before Harvest Enhances Essential Oil Yield of Rose-scented Geranium (*Pelargonium capitatum* × *P. radens*). 43 (2) 500-504.

RAJESWARA RAO B.R., KAUL P.N, MALLAVARAPUS G.R, RAMESHS S, 1996. Effect of Seasonal Climatic Changes on Biomass Yield and Terpenoid Composition of Rose-scented Geranium (*Pelargonium* species). *Biochemical Systematics and Ecology*, 24 (7-8): 627-635.

RAJESWARA RAO, B.R.R., 2002. Biomass yield, essential oil yield and essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* species) as influenced by row spacings and intercropping with cornmint (*Mentha arvensis* L.f. *piperasces* Malinv. Ex Holmes). *Ind. Crops Prod.* 16, 133–144.

MOTSA, October 2006, Essential Oil yield and composition of rose-scented geranium (*pelargonium* Sp) as influenced by harvesting frequency and plant shoot age ,112pages

TOUGMA Wendlassida .Juin 2006. Effet de la fertilisation organique et minérale sur la production en biomasse et en huile essentielle de citronnelle dans la région des cascades (Ouest de Burkina Faso).71pages

RATRIMO Adrien Marie. 2011. Etude expérimentale et simulations pour améliorer la productivité dans la production d’huiles essentielles de géranium rosat. Cas de la mise en place de la société SOUTH EDEN , 98 pages

ANDRIANJAKA TAHINA FIDISOA, 2006. Contribution à l’amélioration de la fertilisation du *Géranium rosat* en paysannat. cas de la commune rurale d’Ambatomena – Antsirabe II. 96pages

ANDRIANTSOA Dera Andrianina , 2006. Contribution à l’amélioration des systèmes de cultures et itinéraires culturels du géranium en paysannat ». cas de la commune rurale d’Ambatomena – Antsirabe II 105 pages

MONOGRAPHIE DE LA REGION IHOROMBE., 2013. 163 pages.

CHANG J., 2000. Medicinal herbs: Drugs or dietary supplements. *Biochem. Pharmacol.* 59, 211–219.

Department of Agriculture, FORESTRY AND FISHERIES February 2012 Directorate: Plant Production, ”Rose geranium production”

PAULA B, GOMES, VERA G, MATA AHRIO E, RODRIGUES, 2006. Production of rose geranium oil using supercritical fluid extraction. *J. of Supercritical Fluids* 41 (2007) 50–60 doi:10.1016/j.supflu.2006.08.018

ANNEXE 1 : LE MARCHÉ DES HUILES ESSENTIELLES

A. Le marché mondial des huiles essentielles

Les principaux importateurs de ces dix dernières années sont l'île Maurice, l'Allemagne, les États-Unis, la Belgique et la France.

L'huile de géranium figure parmi les huiles essentielles les plus demandées dans le monde, dans le même échelle que le clou de girofle, le vétiver, la menthe, le citron vert l'Orange.

Les huiles essentielles sont valorisées principalement sur les marchés de l'aromathérapie, de la parfumerie et de la cosmétique. Elles peuvent, soit rentrer dans la composition de produits plus élaborés (crèmes, parfums, bougies,...), soit être utilisées en l'état. Elles sont recherchées pour leurs propriétés odorantes ou thérapeutiques. Les principaux marchés de consommation sont les pays développés (Europe, Japon et Amérique du Nord) qui représentent 80% des débouchés mondiaux.

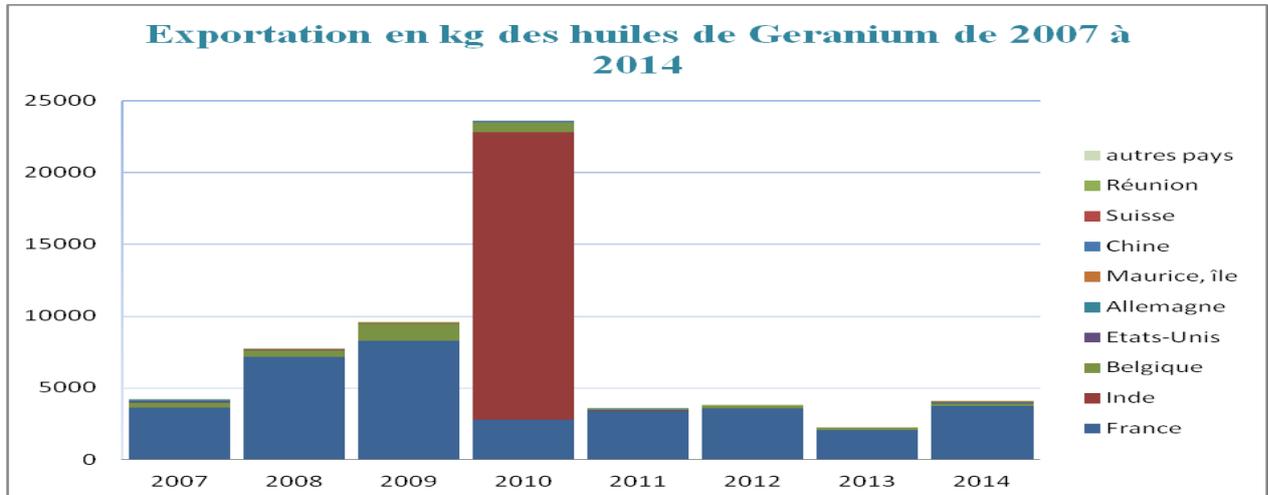
Actuellement, le marché mondial de géranium est estimé à environ 600 tonnes en 2008, partant de 400 tonnes en 2002. La Chine, l'Égypte, le Maroc et les pays de l'ex Union soviétique ont aussi augmenté leur production de géranium dans les années 90, mais la qualité de leur production n'a pas atteint la qualité du géranium Bourbon. Le prix est essentiellement lié à la qualité de l'huile. Il y a également de fortes primes pour l'huile bio. La Réunion fournit près de 50 à 60 tonnes d'huile de géranium de bonne qualité sur le marché mondial.

De même, il y a une très forte demande internationale en huile de géranium Bourbon, qui offre un grand potentiel pour le développement si la qualité du produit peut être assurée et la production augmentée nettement. (*Source : Madagascar Matin du mercredi 25 août 2010, n°0352*)

B. Le marché national des huiles de Géranium

Actuellement, les exportations d'huile essentielle de géranium de Madagascar s'élèvent à environ 2,2 tonnes, dont environ 200 kg viennent de la région Amoron'i Mania. Depuis 2005, les exportations d'huile essentielle de géranium ont augmenté considérablement, aussi bien en volume qu'en valeur. En effet, en 2005, les exportations ont été évaluées à 197 095 millions ariary, représentant 1 968 kg. Le prix moyen d'exportation (FOB) a plafonné à 88 832 Ar le kg en 2005 contre 52 545 ariary le kg en 2001. Les principaux importateurs de ces dix dernières années sont la Belgique, la France, les USA, l'Allemagne et Maurice. De petites quantités ont été exportées au Canada, Singapour, Taiwan, Italie et Suisse, certains de ces pays pouvant représenter de possibles marchés d'exportation à long terme. 90% de la production en huiles essentielles sont destinées à l'exportation (CNARP), malgré l'existence de quelques acteurs dans la transformation telle l'homéopharma, la ferme de Morarano, ...

Grphe 1: Exportation en kg des huiles de Géraium de 2007 à 2014



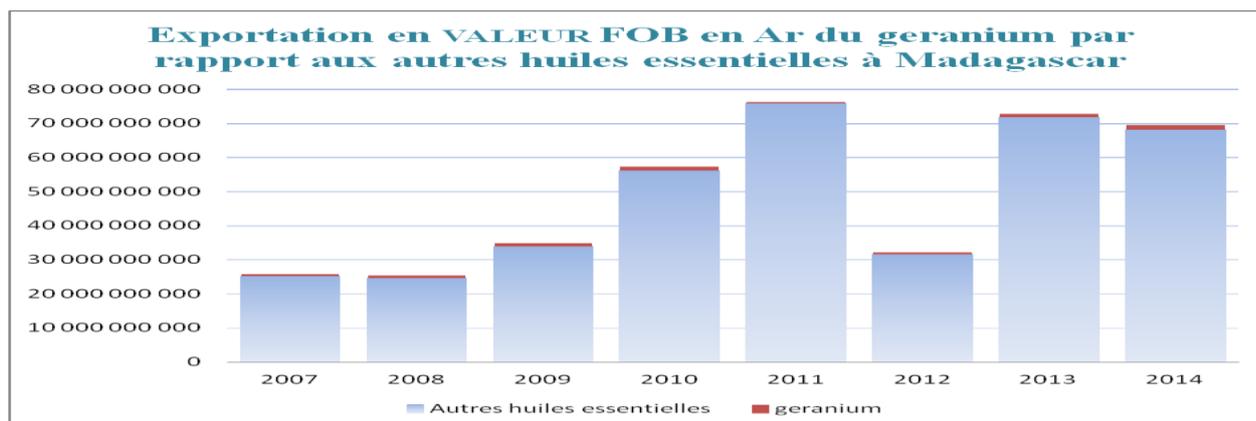
Source: DGINSTAT/D S E/SSES/COMEXT/octobre 2014

C. Potentiel d'exportation

Par rapport au volume des autres huiles essentielles exportées par Madagascar, l'huile de géranium représente un faible volume; mais sa valeur compte parmi les plus élevées. En effet, l'huile de géranium bio est vendue à 180 euros le kg, alors que celle d'ylang-ylang est à 59 euros, toujours le kg. Parmi les huiles essentielles exportées, les pays asiatiques comme Singapour et l'Indonésie sont respectivement la seconde et la troisième destination des exportations malgaches, après la France.

L'Inde, pour sa part, se fournit de manière régulière en huiles essentielles de Madagascar, alors que Hong Kong et la Chine en importent de façon plus irrégulière. Néanmoins, les marchés prédominants qui semblent bien installés sont la France, la Belgique et les USA; et c'est probablement avec ces pays qu'il vaut mieux établir une offre à long terme.

Graphe 2: Exportation en kg des huiles de Géranium de 2007 à 2014



Source: DGINSTAT/D S E/SSSES/COMEXT/octobre 2014

L'exportation du géranium en valeur FOB en Ar par rapport aux autres huiles essentielles est faible.

ANNEXE 2 : GENERALITES SUR LES HUILES ESSENTIELLES DE GERANIUM

L'huile essentielle de géranium compte plus de 200 composants aromatiques, ce qui en fait une substance d'une grande richesse olfactive, très utilisée en parfumerie, mais elle entre aussi dans la composition de nombreux remèdes médicaux et d'huiles de massage. Elle sert aussi de fixateur pour les parfums.

A. LES HUILES ESSENTIELLES

Les Constituants responsables des principales propriétés sont :

- ✓ Citronnellol : 20 à 30 %
- ✓ Géraniol : 10 à 20 %
- ✓ Formiate de citronnellyle : 6 à 10 %
- ✓ Formiate de géranyle : 4 à 8 %

Elle a des propriétés :

- ✓ Bactéricide
- ✓ Antivirale
- ✓ Antifongique
- ✓ Calmante : Calme les troubles cutanés
- ✓ Antispasmodique
- ✓ Hémostatique
- ✓ Anti-inflammatoire
- ✓ Cicatrisante
- ✓ Parasiticide
- ✓ Insectifuge : Anti-moustiques puissants
- ✓ Lutte contre la cellulite et prévient les vergetures, Anti-âge et apaisante des

troubles cutanés

- ✓ - Anti-peau grasse et anti acné
- ✓ Active et préventive de la chute des cheveux
- ✓ Tonicité et fermeté de la peau

Le parfum du géranium est dû à la présence de citronnellol et de géraniol. L'essence de géranium entre dans la composition d'eaux de toilette haut de gamme et de divers produits cosmétiques. Le prix de vente de cette essence dépend de la qualité : la Réunion produit une

essence de qualité supérieure (géranium *Bourbon*), la Chine vend de l'essence d'une qualité moindre.

La qualité tient :

- ✓ au respect de standards de production pour la culture et l'extraction de l'essence
- ✓ aux caractéristiques agro-climatiques du lieu de production : les conditions écologiques jouent un rôle certain dans la qualité des huiles. Cela explique la valorisation de certaines origines (comme pour le vin) : le géranium et le vétiver Bourbon de la Réunion en sont deux exemples. Les standards de qualité pour les huiles essentielles sont définis à l'échelle internationale, comme pour les autres produits, par l'Organisation internationale de standardisation (ISO), localisée à Genève.

En raison du coût très élevé de certaines huiles essentielles, en particulier celles qui sont utilisées pour la parfumerie de luxe, des produits altérés ou des substituts sont parfois mis en vente. Les pratiques frauduleuses sont :

- l'addition de substances provenant d'autres huiles essentielles ;
- l'addition du composé à l'origine de l'odeur recherchée (renforcement de l'odeur) ;
- la reconstitution à partir de composés naturels ou synthétiques ;
- la dilution du produit (augmentation du volume et diminution de la qualité) : cette pratique est autorisée si elle est déclarée.

Les propriétés des huiles essentielles proviennent de leur composition biochimique. Les composés qui les constituent peuvent être classés en six groupes distincts, ayant chacun des caractéristiques spécifiques :

i. Les terpènes naturels

Ce sont des hydrocarbures cycliques et volatils de formule $C_{10}H_{16}$ composés d'unités. A la série isoprénique, se rattache des composés acycliques : certains contenant 5 carbones (hémiterpènes constitués d'unités isoprène), d'autres à 10 carbones (hydrocarbures, alcools et aldéhydes) qui possèdent un enchaînement se retrouvant régulièrement dans beaucoup de terpènes cycliques. Cette section réunit les mono terpènes, les sesquiterpènes, les diterpènes. Tous ont généralement des effets assez faibles mais leurs usages secondaires complètent l'action des autres constituants de l'huile. Ils ont surtout des propriétés bactéricides, antiseptiques, analgésiques, antivirales, expectorantes et anti-inflammatoires. Cependant, certains d'entre eux peuvent irriter la peau.

ii. Les alcools

Les alcools présents dans les huiles essentielles sont issus de terpènes et d'hydroxyles (ex : le menthol $C_{10}H_{14}O$ figure 2). Les principaux composants résultant de ces liaisons sont les

monoterpénols, les sesquiterpénols et les diterpénols. Ce sont de puissants bactéricides et antiviraux ; ils possèdent de plus la particularité de purifier le sang et ont des effets équilibrants sur le système endocrinien. D'autre part, ils n'irritent pas la peau et les huiles qui les contiennent en forte proportion sont les moins dangereuses pour les enfants et les personnes âgées. Les diterpénols ont une structure semblable à celle d'une hormone humaine.

iii. Les phénols

Dans les essences étudiées, ces constituants ont une action plus importante que les alcools. Leur pouvoir antiseptique puissant leur a permis de servir comme désinfectant pendant la Première Guerre Mondiale. Ils agissent également sur les systèmes nerveux et immunitaire. Cependant, un usage abusif peut irriter la peau.

iv. Les aldéhydes

Formés par l'oxydation des alcools, les aldéhydes dégagent en général un arôme puissant. Ils présentent aussi de nombreuses propriétés communes aux phénols et aux cétones : ils sont anti-infectieux, anti-inflammatoires, hypotenseurs, calmants et antipyrétiques. Toutefois certains de ces effets peuvent être annulés par d'autres constituants des huiles essentielles. Le citral, le citronellal et le néral sont, par exemple, trouvés dans les huiles essentielles de citronnelle.

v. Les cétones

Les quantités de cétones dans les huiles essentielles sont négligeables ; certaines d'entre elles sont des neurotoxiques. Pourtant, utilisés avec modération, ces composés ont un effet calmant et sédatif. Ils peuvent aussi faire « fondre » les graisses, fluidifier les sécrétions et favoriser la cicatrisation. Enfin, comme de nombreux autres composés, ils possèdent des propriétés d'analgésiques, de stimulants et d'expectorants.

vi. Les acides et les esters

Les acides organiques et les esters jouent un rôle important dans les essences végétales. Ce sont des dérivés oxygénés des terpènes. En effet, ils ont la particularité de présenter un arôme fruité mais peuvent aussi servir d'anti-inflammatoires et de fongicides. Ils sont également efficaces contre les affections cutanées et ont un effet régulateur sur le système nerveux, calmant ou dynamisant, suivant les cas. Dans les agrumes, différents esters sont trouvés comme le citronellyl acétate, l'acétate de néryle ou encore les esters de géranyle (acétate, propionate...).

Présentes en plus ou moins grandes quantités et mélangées les unes aux autres, ces molécules vont donner aux huiles essentielles des propriétés nouvelles en plus de celles spécifiques à chaque composé pris séparément. Ainsi, le nombre de propriétés apportées par

les huiles essentielles s'élève à plus d'une centaine. Cette observation va induire l'action d'une huile essentielle et donc son utilisation dans un domaine précis.

ANNEXE 3 : PRESENTATION DE LA SOCIETE TOZZI-GREEN

MADAGASCAR

La société Tozzi Green, de statut juridique SARL (Société anonyme à Responsabilité limitée), est une société agricole mécanisée implantée dans la région d'Ihorombe plus précisément dans la commune de Satrokala et d'Andiolava ; une filiale du groupe italien TOZZI HOLDING de la branche énergétique TOZZI RENEWABLE ENERGY. La société œuvre dans le secteur agricole et énergie renouvelable en Europe et au niveau mondiale.

Depuis 2010, la société Tozzi green s'est destinée à l'agriculture et s'est implantée dans le sud de Madagascar, dans la région d'Ihorombe. Elle a commencé avec la plantation de Jatropha et investit fortement dans les recherches agronomiques car elle reste persuadée que le Jatropha peut devenir une importante source d'énergie pour Madagascar.

Tozzi Green s'est diversifié avec la plantation de matières premières alimentaires comme le maïs, le tournesol et de légumineuses. Entretemps dans la pépinière de la base vie, la société a commencé à faire des investigations sur les cultures pour les huiles essentielles (principalement géranium bourbon) avec comme but l'implantation de techniques agronomique et technologique très avancées.

Le géranium n'y était qu'une petite horticulture, mais des nettes productions en matières vertes (biomasse à distiller) ont pu être observées. Une plantation de géranium rosat de 6ha est faite en même temps, en parallèle avec une expérimentation sur petite parcelle.

La société est optimiste pour la géraniculture, est compte s'investir sur 70ha de plantation mécanique avec une irrigation goutte à goutte dans les années à venir.

ANNEXE 4 : DONNES CLIMATOGRAPHIQUES DE IHOROMBE

Tableau 11 : Résumé des données climatologiques annuelles recueillies dans la station météorologique de Ranohira

mois	jan	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
T° moyenne(°C)	23,99	23,22	23,78	22,32	20,14	18,53	17,66	19,06	20,56	22,63	23,14	23,74
Pluviometrie (mm)	229,90	147,65	89,80	36,04	12,93	3,08	11,64	3,83	10,55	40,02	99,62	221,34

Tableau 12 : Résumé des données climatologiques annuelles recueillies dans la station météorologique de Ranohira.

Année	Pluviométrie (mm)	amplitude thermique	T° moyenne annuelle	Nombre de mois sec
1997	1721,3	17,4	21,98	7
1998	867	15,8	21,72	6
1999	528,3	13,8	22,03	10
2000	877,4	19	21,48	8
2001	1069,2	17,8	21,46	5
2002	801,5	28,3	21,32	7
2003	801,5	23,1	21,07	8
2004	1047,4	22,5	20,71	5
2005	941,5	23,2	23,17	7
2006	591,8	20,5	21,81	7
2007	995,8	21,8	21,49	7
2008	741,8	22,9	20,57	7
2009	732,8	21,5	21,11	7
2010	735,9	18,2	21,73	7
2011	855,1	22,8	22,39	7
2012	1058,8	18,3	21,08	6

ANNEXE 5 : ANALYSE DE L'HORIZON SUPERIEUR DU PROFIL

PEDOLOGIQUE

Horizon	Ap
Sable (2,0 - 0,05 mm) (%)	45,2
Limon (0,05 - 0,002 mm) (%)	9,8
Argile (<0,002 mm) (%)	45
Sable très fine (0,05-0,10mm) (%)	3,1
Classe USDA	Abs
pH	4,8
Conductivité électrique (dS/m)	0,02
Substance organique (%)	0,89
Calcaire totale	Abs
Phosphore changeable (P2O5) - (ppm)	7
Capacité d'échange cationique à pH7 (meq/100 g)	3,34
Calcium changeable (ppm)	140
Magnésium changeable (ppm)	28
Sodium changeable (ppm)	21
Potassium changeable (ppm)	31
Acidité (meq/100 g)	2,24
Saturation basique (%)	32,9
Capacité d'échange cationique effective (meq/100 g)	2,1
Calcium changeable (meq/100 g)	0,7
Magnésium changeable (meq/100 g)	0,23
Potassium changeable (meq/100 g)	0,08
Sodium changeable (meq/100 g)	0,09
Hydrogène (meq/100 g)	0,25
Aluminium (meq/100 g)	0,75
Saturation d' H+Al (meq/100 g)	48

(Luglio, 2013)

ANNEXE 6. CALCUL DE FERTILISATION DES DEUX CAMPAGNES

Tableau 13: Calcul de fertilisation de base et d'entretien pour la première campagne

Dose (N Kg/ha)	Plot (m ²)	N (Kg/plot)	Fertilisation de base avec de NPK 11-22-16							Fertilisation d'entretien avec de l'Urée 46%				
			NPK (Kg/plot)	NPK (Kg/ha)	N apporté (kg/plot)	N apporté (kg/ha)	N	P	K	Reste N à apporter /plot (kg)	Reste N à apporter /ha (kg)	Urée	Urée (Kg/plot)	Urée (Kg/ha)
150	20	0,3	1	500	0,11	55	0,11	0,22	0,16	0,19	95	46%	0,41	206,52
300	20	0,6	1	500	0,11	55	0,11	0,22	0,16	0,49	245	46%	1,07	532,61

Le calcul de l'apport pour la deuxième campagne est montré par le tableau ci-après :

Tableau 14: Calcul de fertilisation de base et d'entretien pour la deuxième campagne

Dose (kg N/ha)	Superficie plot (m ²)	Taux d'N dans Urée	Urée pour un ha (kg)	Quantité urée pour 1 plot (kg)	Nombre de ligne binaire par plot	Nombre d'apport par ligne binaire	Quantité apporté par ligne (g)
150	20	46	326,1	0,7	4	2	81,5
300	20	46	652,2	1,3	4	2	163,0

ANNEXE 7. ANOVA

Tableau 15. ANOVA du rendement en biomasse aérienne pendant la première campagne

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
densité (plant/Ha)	2	3,609	1,805	0,027	0,974
Fertilisation (Kg N/Ha)	1	5,962	5,962	0,089	0,816
Id bloc	5	200,777	40,155	0,597	0,748
densité (plant/Ha)*Fertilisation (Kg N/Ha)	2	95,663	47,831	0,711	0,643
densité (plant/Ha)*Id bloc	10	219,666	21,967	0,327	0,889
Fertilisation (Kg N/Ha)*Id bloc	5	49,007	9,801	0,146	0,953
densité (plant/Ha)*Fertilisation (Kg N/Ha)*Id bloc	9	288,017	32,002	0,476	0,819
Modèle	34	862,700	25,374	0,377	0,887
Erreur	1	67,268	67,268		
Total corrigé	35	929,968			

Tableau 16. ANOVA de la teneur en huile essentielle de la première campagne

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Densité (pl/ha)	2	0,163	0,082	7,259	0,254
Fertilisation	1	0,142	0,142	12,642	0,175
Bloc	2	0,390	0,195	17,333	0,167
Densité (pl/ha)*Fertilisation	2	0,049	0,025	2,189	0,431
Densité (pl/ha)*Bloc	4	0,556	0,139	12,346	0,210
Fertilisation*Bloc	2	0,468	0,234	20,790	0,153
Densité (pl/ha)*Fertilisation*Bloc	3	0,271	0,090	8,018	0,253
Modèle	16	2,039	0,127	11,326	0,230
Erreur	1	0,011	0,011		
Total corrigé	17	2,050			

Tableau 17. ANOVA du rendement en biomasse aérienne de la deuxième campagne

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Irrigation	1	268,411	268,411	26,304	< 0,0001
Densité (pl/ha)	2	1,710	0,855	0,084	0,920
Fertilisation (kg N/ha)	1	0,674	0,674	0,066	0,800
Bloc	2	23,622	11,811	1,157	0,333
Irrigation*Densité (pl/ha)	2	0,379	0,190	0,019	0,982
Irrigation*Fertilisation (kg N/ha)	1	7,854	7,854	0,770	0,390
Densité (pl/ha)*Fertilisation (kg N/ha)	2	76,698	38,349	3,758	0,039
Irrigation*Densité (pl/ha)*Fertilisation (kg N/ha)	2	72,421	36,210	3,549	0,046
Modèle	13	451,769	34,751	3,406	0,006
Erreur	22	224,495	10,204		
Total corrigé	35	676,265			

Tableau 18. ANOVA de la teneur en huile essentielle de la deuxième campagne.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Irrigation	1	1,398	1,398	121,220	0,000
Densité (pl/ha)	2	0,140	0,070	6,065	0,061
Fertilisation	1	0,023	0,023	1,951	0,235
Bloc	2	0,641	0,321	27,813	0,005
Irrigation*Densité (pl/ha)	2	0,017	0,008	0,727	0,538
Irrigation*Fertilisation	1	0,019	0,019	1,633	0,270
Irrigation*Bloc	2	0,177	0,089	7,692	0,043
Densité (pl/ha)*Fertilisation	2	0,020	0,010	0,848	0,493
Densité (pl/ha)*Bloc	4	0,141	0,035	3,054	0,153
Fertilisation*Bloc	2	0,033	0,016	1,422	0,342
Irrigation*Densité (pl/ha)*Fertilisation	2	0,011	0,005	0,473	0,654
Irrigation*Densité (pl/ha)*Bloc	4	0,156	0,039	3,379	0,133
Irrigation*Fertilisation*Bloc	2	0,001	0,000	0,031	0,969
Densité (pl/ha)*Fertilisation*Bloc	4	0,072	0,018	1,559	0,339
Modèle	31	2,847	0,092	7,965	0,028
Erreur	4	0,046	0,012		
Total corrigé	35	2,893			

ANNEXE 8 : MATERIELS DE DISTILLATION



Marmite

Condenseur

*Vase
florentine*

Décanteur

ANNEXE 9 : TYPES DE BALANCE POUR LA DISTILLATION



Cliché 10: Balances de précision : (g) max 3kg pour peser les matières vertes pour distiller, (d) max 100g pour peser l'huile

ANNEXE 10. VARIATION DE LA TEMPERATURE ET DE LA PLUVIOMETRIE PENDANT LES DEUX CAMPAGNES DE PLANTATION

Mois	Température moyenne (°C)	Pluviométrie (mm)
Fin Novembre	22,3	34,6
Décembre	22,7	144,6
Janvier	22,1	373,8
Février	22,4	140,8
Mars	23,5	32,8
Avril	18,3	17,6
Mai	17,9	2,5
Juin	17	2,4