

Research Article

Cameroon Journal of Biological and Biochemical Sciences 2022, Vol 30, Serie 2, 121-133

ISSN 1011-6451/CJBBS.2021. Submission (April 2022). Accepted and Published Online (May 2022) www.camjournal-s.com



Extraction et Caractérisation des Huiles Essentielles de Trois Plantes Aromatiques Cultivées à l'Ouest-Cameroun : *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis* et *Cymbopogon citratus*

Boris Merlain K. DJOUSSE¹, Nasse F. NGOUNE^{1*}, Henri G. DJOUKENG¹, Leonel W. Nono¹, Harry S. SOGANG¹, Julius K. TANGKA¹

Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles de l'Université de Dschang, BP 222 Dschang, Cameroun, Unité de recherche du Génie Agricole.

* Auteur correspondant : Nasse Fetio Ngoune. ngoune.nasse@yahoo.fr

Résumé

L'objectif de cette étude était d'améliorer la capacité locale de production d'huiles essentielles. Pour se faire un extracteur électrique à vapeur a été développé et utilisé pour extraire les huiles essentielles des feuilles de *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis* et *Cymbopogon citratus*. Le titrage et la lecture directe ont permis de déterminer l'indice d'acide, d'ester et les valeurs de pH. Le temps d'extraction de la quasi-totalité de l'huile essentielle contenue dans 600 g de matière végétale a été de quatre heures pour le romarin et la sauge et de cinq heures pour la citronnelle. Elle a été réalisée à une température qui variait entre 90 et 100 °C. Les rendements en huiles essentielles ont été de 0,98 % ; 0,53 % et 1,58 % pour le romarin, la sauge et la citronnelle respectivement. Les huiles essentielles obtenues présentaient une couleur jaunâtre avec un aspect liquide huileux. L'indice d'acide des huiles était de 1,23, 1,49 et 4,48 et l'indice d'ester était de 5,66 3,92 et 22,44 respectivement pour le romarin, la sauge et la citronnelle. Leur pH variait entre 6 à 6,5. Ces valeurs montrent que les huiles essentielles n'ont pas été altérées au cours de leurs extractions. Elles peuvent donc être utilisées à de fins alimentaires, mieux encore dans l'aromathérapie. L'extracteur réalisé coûte 140 900 FCFA. Ce coût est abordable et le rendement est bon comparé à ceux importés de capacité similaire. Donc peut-être reproduit localement.

Mots clés : Extraction, Huiles essentielles, *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis*, *Cymbopogon citratus*, Ouest-Cameroun.

Abstract

The aim of this study was to improve the local capacity for essential oil production. An electric steam extractor was developed and used to extract essential oils from the leaves of *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis* and *Cymbopogon citratus*. Titration and direct reading were used to determine acid numbers, ester number and pH values. The extraction time for almost all the essential oil from 600 g of plant material was four hours for rosemary and sage and five hours for lemongrass. It was carried out at a temperature varying between 90 and 100 °C. The yields of essential oils were 0.98%; 0.53% and 1.58% for rosemary, sage and lemongrass respectively. The essential oils obtained had a yellowish colour with an oily liquid appearance. The acid value of the oils was 1.23, 1.49 and 4.48 and the ester content was 5.66 3.92 and 22.44 for rosemary, sage and citronella respectively. Their pH ranged from 6 to 6.5. These results show that the essential oils have not been altered during their extraction process. They can be used for food purposes or even in aromatherapy. The realized extractor costs 140 900 FCFA. This cost is affordable and the yield is good compared to imported ones of similar capacity. So it can be reproduced locally.

Key words: Extraction, Essential oils, *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis*, *Cymbopogon citratus*, West Cameroon.

1 INTRODUCTION

L'huile essentielle (HE) est une fraction principalement volatile et odorante isolée par un processus physique à partir de la matière végétale. Elle est produite grâce aux plantes aromatiques. Ces plantes sont utilisées comme sources de produits chimiques aromatiques et aromatisants dans les industries alimentaires et pharmaceutiques (Jouault, 2012). La plupart de ces plantes sont connues et traditionnellement utilisées dans le monde entier à des fins médicinales, à l'instar de la camomille ou du gingembre. La majorité de ces plantes a fait l'objet de recherche et agit efficacement sur la santé humaine (Iserin et al., 2001). Selon Georges (2010), les plantes ont été utilisées toujours par les êtres humains comme sources d'aliments, de produits cosmétiques et de médicaments. La source d'approvisionnement d'HE est limitée et les petites quantités d'huiles contenues dans les plantes aromatiques rendent l'HE plus précieuse (Davis et al., 1997). Le rendement des HE provenant des plantes varie considérablement, car la plupart des rendements en HE sont souvent inférieurs à 1 % (Nabil, 2011 ; Mehani, 2015). Les huiles essentielles sont des produits de grande valeur, ce qui fait d'elles des denrées attrayantes pour les petits agriculteurs et ceux des communautés isolées. Il faut toutefois noter que la tendance actuelle des consommateurs à rechercher une alimentation plus naturelle a entraîné un regain d'intérêt des scientifiques pour ces substances (Axtell et Fairman, 1992). La production des huiles essentielles à l'échelle mondiale est d'environ 30 tonnes par an (Taleb-Toudert, 2015). La procédure d'extraction est l'étape-clé pour obtenir la meilleure quantité et qualité d'huiles essentielles. Toutefois, des facteurs tels que le type de plante, la composition chimique, le lieu de stockage de l'HE dans la plante (racine, écorce, bois, rameau, feuille, fleur et/ou graine) doivent tous être pris en compte avant l'extraction (Davis et al., 1997). En raison du faible rendement et de la valeur élevée d'HE, il est essentiel que la méthode d'extraction appropriée soit utilisée pour extraire le plus d'huile possible contenue dans le matériel végétal.

Les produits chimiques de synthèse sont consommés par les Hommes à tous les niveaux de l'échelle pour leur bien-être (médicament, agroalimentaire, produit de beauté...). Cette consommation abusive entraîne de nombreux problèmes de santé dans la vie des hommes. Ceci peut être observé à travers les effets néfastes d'antibiotiques. Selon Jouault (2012), de nombreux antibiotiques sont toxiques de manière intrinsèque. Parmi les effets néfastes d'antibiotiques, on peut citer la néphrotoxicité des aminosides, l'hépatotoxicité de certains antituberculeux, les troubles de l'hémostase causée par les β -lactamines, les troubles de la minéralisation dentaire et osseuse provoquée par les tétracyclines, etc. Afin de limiter

les problèmes causés par les produits chimiques de synthèse. L'alternative est l'huile essentielle des plantes odoriférantes qui ont les mêmes utilités que ceux-ci. Ce sont des produits nobles qui résultent de la distillation d'une plante aromatique. Car elles n'entraînent pas de désagrément. Leur utilisation ne nécessite donc pas la mise en place d'une thérapie adjuvant, contrairement aux antibiotiques. En respectant les conditions d'utilisation bien établies, comme on le fait déjà pour les antibiotiques, le risque de survenue d'accidents iatrogènes serait proche de zéro.

Les plantes médicinales renferment de nombreux principes actifs et produisent déjà 70 % de nos médicaments. Environ 170 000 molécules bioactives ont été identifiées à partir des plantes (Chaabi, 2008). Cependant, les plantes médicinales et leurs HE demeurent un réservoir potentiel des matières actives de soins naturels et une chance pour la médecine. On ne saurait utiliser ces HE, sans les extraire des plantes. Dans ce domaine des HE, toute une gamme d'approches est disponible : d'où la difficulté du choix de la technique d'extraction. Cependant, la distillation reste la méthode la plus utilisée pour l'obtention des composés volatils du fait qu'elle produit des substances facilement analysables (Benjilali, 2004). Bien qu'elle ait de multiples avantages, il se pose le problème de rareté des HE sur le marché. Car la technologie n'est ni facilement accessible, ni assez vulgarisée ; ajouté à cela le manque d'équipement adéquat pour la fabrication des extracteurs dans la localité. Pourtant que, les HE sont utilisés à des fins thérapeutiques dans la région de l'Ouest-Cameroun. À l'instar de l'HE de la citronnelle qui est utilisée pour parfumer les lieux et chasser les moustiques ; celle du romarin est utilisée pour traiter le rhume, le surmenage physique et intellectuel et l'huile essentielle de la sauge est principalement utilisée contre l'acné et le stress dans la région de l'Ouest.

L'objectif de cette étude est de contribuer à l'amélioration des capacités locales de production quantitative et qualitative des huiles essentielles. Spécifiquement, il a été question de concevoir et réaliser un extracteur électrique de type entraînement à la vapeur, de tester ses performances et d'analyser la qualité des HE produites.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Choix et réalisation de l'extracteur d'huile essentielle

2.1.1 Choix du type d'extracteur

Il existe plusieurs procédés d'extraction des huiles essentielles, tels que l'extraction par l'hydrodistillation, par bain au solvant, par CO₂ supercritique et entraînement à la vapeur. Le procédé par entraînement à la vapeur a été retenu. Il est moins complexe et donne les HE pures et sans résidus ;

mieux encore, il permet une extraction totale des huiles essentielles en améliorant le rendement. Il ne met pas en contact direct l'eau et la matière végétale à extraire (El-Azrak, 2017).

2.1.2 Dimensionnement de l'extracteur

1. Dimensionnement des parties de l'alambic

Selon Philipposon (1995), il n'existe pas de dimensions standards pour construire les alambics. Donc, chaque opérateur doit définir la taille de celui-ci. Selon les moyens et les activités à mener. Les dimensions de l'alambic ont été fixées en fonction de la capacité de la chambre de chargement et celle de la chaudière. Les deux compartiments sont séparés l'un de l'autre à l'aide d'un grillage en acier inoxydable de 3 mm de mailles. La chaudière est la partie dans laquelle l'on mettra de l'eau et celle située au-dessus du grillage (chambre de chargement) recevra la matière végétale.

➤ Dimensionnement de la chaudière

Il a été fait sur la base des données de la revue de littérature en tenant compte de la nécessité de limiter les ajouts d'eau lors du fonctionnement du dispositif afin de réduire la variation de la température d'extraction d'HE. Les dimensions suivantes ont été définies pour la chaudière : hauteur de 400 mm et rayon de 150 mm. L'équation (1.1) a permis de calculer le volume de la chaudière.

$$V_r = \pi \times R^2 \times h \quad (1.1)$$

Avec :

V_r = Volume de la chaudière en m³
 h = Hauteur de la chaudière en m
 R = Rayon du cylindre en m

➤ Dimensionnement de la chambre de chargement

Dans cette partie, la matière végétale a été posée sur le grillage de 3 mm de mailles. L'espace entre le niveau d'eau et le grillage a été de 50 mm. Cet espace entre le niveau d'eau dans la chaudière et le grillage est important. Il facilite la répartition uniforme de la vapeur à la base de la matière végétale. Selon Randrianarivelo (2010), la matière végétale utilisée pour produire les HE à usage médical ne doit pas être en contact direct avec l'eau chaude. Le contraire entraînerait une modification de la composition et les caractéristiques chimiques de l'huile essentielle. L'équation (1.2) a permis de calculer la capacité du réservoir de la chambre de chargement de la matière végétale. Nous avons défini la dimension de la hauteur du cylindre de la chambre de chargement à 900 mm.

$$V = \pi \times R^2 \times (H - (h + 0,05)) \quad (1.2)$$

Avec :

V = Volume du contenant en m³ et 0,05 m l'espace entre le niveau d'eau dans la chaudière et le grillage
 H = La hauteur du cylindre en m
 h = Hauteur de la chaudière en m

R = Rayon du cylindre en m

2. Volume de l'alambic

Selon Philipposon (1995), il n'existe pas de dimension standard pour construire les alambics. D'après ce même auteur, les alambics moyens permettent d'obtenir les huiles essentielles de qualité et des rendements appréciables par rapport aux alambics de grande taille. Raison pour laquelle la hauteur et le diamètre de l'alambic sont respectivement de 900 mm et de 300 mm. Son volume a été déterminé par l'équation (1.3). Les dimensions considérées sont en relations directes avec ceux de la chaudière et de la chambre de chargement.

$$V_a = \pi \times R^2 \times H \quad (1.3)$$

Avec :

H = La hauteur du cylindre en m
 R = Rayon du cylindre en m

2.1.3 Conception du condenseur et l'essencier

Le condenseur est la partie dans laquelle la chaleur est transmise d'un fluide à un autre. Il est constitué d'un serpentin hélicoïdal fait en cuivre et incorporé dans un corps cylindrique de diamètre constant. Dans le condenseur, le transfert thermique s'effectue par convection (transmission de chaleur par l'intermédiaire d'un fluide). Le choix a été motivé par des raisons suivantes : très efficace ; moins chère ; facile à réaliser et utilisable surtout modèle de distillateur. Les étapes suivantes ont été préconisées pour son dimensionnement.

1. Quantité de chaleur à transférer

D'après la revue de littérature, l'échangeur de chaleur à contre-courant a des performances supérieures à celles de l'échangeur en co-courant. Selon Jannot (2016), le flux de chaleur transférée est toujours plus élevé avec les condenseurs à contre-courant. La quantité de chaleur à céder pour qu'il y ait condensation est déterminée par l'équation (1.4) de la conductivité thermique. La relation ($T_{ve} - T_{cs}$) représente l'écart de température entre la vapeur d'eau et l'eau de refroidissement à l'entrée de l'échangeur.

$$Q_t = W \times C_w (T_{ve} - T_{cs}) \quad (1.4)$$

Avec :

Q_t = Quantité de chaleur à céder en kcal/h
 W = Débit massique en 2 kg/h
 C_w = Capacité spécifique de la chaleur de l'eau à 100 °C est de 1,0057 kcal/kg °C
 T_{cs} = Température de condensation de la vapeur 25 °C (à la sortie du serpentin)
 T_{ve} = Température d'entrer de la vapeur 100 °C

Selon Aura Industrie (2018), une résistance chauffante de 1,4 kW produit une pression de vapeur douce comprise entre 0,1 et 0,3 bar nécessaire pour extraire des huiles essentielles de qualités recommandées pour l'aromathérapie. Cette capacité

de résistance chauffante permet d'obtenir un débit de vapeur de 2 kg/h.

2. Différence de température logarithmique moyenne

La différence de température logarithmique moyenne est la différence de température à l'entrée et à la sortie de l'échangeur de chaleur. Elle se donne par l'équation (1.5) utilisée par Marija et al., (2016). Selon Aura Industrie (2018), la température de la vapeur d'extraction d'HE ne dépasse pas 105 °C. La distillation sous haute pression et haute température donne des huiles essentielles souillées de goudrons cancérigènes.

$$DTLM = \frac{(T_{ve}-T_{fe})-(T_{fs}-T_{cs})}{\log \frac{T_{ve}-T_{fe}}{T_{fs}-T_{cs}}} \quad (1.5)$$

Avec :

$DTLM$ = La différence de température logarithmique moyenne entre les deux fluides en °C

T_{ve} = Température d'entrée de la vapeur 100 °C

T_{fe} = Température du fluide à l'entrée (20 °C)

T_{fs} = Température du fluide à la sortie (30 °C)

Les températures fixées ci-dessus permettent de produire les HE de bonne qualité. Le liquide doit être absolument froid à la sortie du condenseur. Selon Philipposon (1995), le rendement et la qualité des huiles essentielles dépendent de ces conditions.

3. Longueur du serpent

Le serpent de refroidissement ou le tube est trempé dans un baquet d'eau. Selon Tony (2011), le coefficient de transfert thermique est compris dans l'intervalle 100-200 W/m²°C. La longueur nécessaire pour réaliser le serpent de refroidissement utilisé dans le condenseur est déterminée par l'équation (1.6), proposée par Marija et al., (2016). Le dessin de l'extracteur dimensionné a été réalisé à l'aide du logiciel SolidWorks version 2017.

$$L = \frac{Q_t}{K_c \times \pi \times d_o \times DTLM} \quad (1.6)$$

Avec :

K_c = Valeur moyenne de coefficient d'échange de chaleur 100 W/m²°C

L = Longueur du serpent en m

d_o = Diamètre extérieur du tuyau 12 mm

$DTLM$ = La différence de température logarithmique moyenne entre les deux fluides en °C

2.1.4 Réalisation de l'extracteur

Selon Philipposon (1995), la nature du métal est importante pour obtenir les huiles essentielles de qualité garantie. Cet auteur préconise l'utilisation de l'acier inoxydable. Car il est plus conseillé pour sa qualité dans les industries agroalimentaires.

Les différents composants de l'extracteur réalisé sont les suivants :

- L'alambic
- Le couvercle
- Le condenseur et l'essencier
- Le support

2.2 Tests d'extraction

2.2.1 Récolte et fanage des échantillons

Les plantes ont été choisies par rapport à la richesse de leurs organes en huiles essentielles (Taleb-Toudert, 2015), leurs utilisations figurent aussi dans l'assaisonnement de certains aliments et les médicaments ainsi que leurs disponibilités dans la région de l'étude. Les feuilles du romarin, de la sauge et de la Citronnelle ont été récoltées au mois d'avril 2018 sur les plantes d'environ 4 ans d'âge dans l'arrondissement de Mbouda. Il est situé dans la région de l'Ouest-Cameroun, il s'étend de 2°30' au 5°40' de latitude Nord et du 10°15' au 10°20' de longitude Est. Il a un climat soudano-guinéen tempéré, encore appelé climat Camerounien d'altitude 1200-2710 m. Les températures maximales et minimales oscillent autour de 13 °C et 27 °C. Les feuilles (figure 1) fraîchement récoltées ont été coupées, pesées et fanées pendant cinq jours à l'ombre à température ambiante. Ces plantes ont un usage médicinal et sont généralement consommées après infusion à des fins thérapeutiques dans la localité. Ces excellentes boissons sont habituellement substituées aux thés classiques. La masse des feuilles fanées (échantillons) a été déterminée à l'aide d'une balance de précision 0,01 de marque SEEDBURO Model 8800 Computer Grain SCA.



Rosmarinus officinalis

Salvia officinalis

Cymbopogon citratus

Figure 1 : Feuilles des essences végétales utilisées pour l'extraction d'HE.

2.2.2 Détermination de la teneur en eau de la matière végétale

Les études de Mehani (2015), ont montré qu'il convient d'extraire l'huile essentielle des feuilles à environ une semaine après leur récolte, puisque la teneur en huiles essentielles est à son maximum. La teneur en eau du matériel végétal après fanage a été déterminée par la méthode de Dean et Stark. Une masse de 10 g de feuilles fraîches a été mise dans l'étuve à 105 °C et séchée jusqu'à un poids relativement constant. Au bout du temps de séchage, la matière sèche des échantillons a été obtenue par pesée à l'aide d'une balance de précision 0,01 de marque SEEDBURO Model 8800 Computer Grain SCA. La teneur en eau de la matière végétale avant extraction est déterminée à l'aide de l'équation 1.7. Selon Mehani (2015), le rendement en huiles essentielles varie avec la durée de séchage.

$$T_e = \frac{M_a - M_f}{M_f} \times 100 \quad (1.7)$$

Avec :

T_e = Teneur en eau en %

M_a = Masse de matière végétale après fanage en g

M_f = Masse sèche de la matière végétale après fanage en g

2.2.3 Extraction des huiles essentielles

Une quantité de 25 litres d'eau a été utilisée pour extraire l'HE dans 600 g de chaque échantillon de matière végétale. La matière végétale a été chargée dans son compartiment de manière régulière et en la tassant moyennement pour éviter le passage préférentiel de la vapeur d'eau. Le flux de vapeur sous pression traverse la matière végétale située au-dessus de la grille faite en acier inoxydable. Durant le passage de la vapeur à travers le matériel, les cellules éclatent et libèrent l'huile essentielle qui est vaporisée sous l'action de la chaleur pour former un mélange d'eau plus HE. La vapeur est ensuite refroidie dans le condenseur où elle se condense en produisant un mélange d'eau dite florale et d'huiles

recueillies dans un essencier. L'huile essentielle étant de faible densité par rapport à l'eau florale surnage et est récupérée à l'aide d'une bouteille alimentaire à travers le robinet. L'étude cinétique de chaque espèce a été étudiée pour une meilleure détermination de la durée d'extraction des HE obtenues.

2.2.4 Étude de la cinétique d'extraction des huiles essentielles

La durée d'extraction est définie comme le temps nécessaire pour récupérer la totalité de l'huile contenue dans la matière végétale. Bien qu'il soit difficile de récupérer toute l'HE contenue dans la plante (Nabil, 2011). Cependant, la cinétique d'extraction a été étudiée en utilisant 600 g de matière végétale pour observer les rendements d'huile essentielle de chaque plante aromatique durant la période d'extraction. Le distillat ainsi obtenu est récupéré dans des bouteilles polyéthylène téréphtalate (PET) toutes les 60 minutes et laissé au repos avant de séparer l'HE de l'eau florale. Après cette HE a été mise dans les flacons préalablement pesés à vide pour déterminer la masse de l'huile essentielle à l'aide de la balance de précision 0,01 de marque SEEDBURO. La fin de l'extraction correspond au moment où l'huile essentielle n'est presque plus observée dans le distillat.

Le rendement en huile essentielle, exprimée en pourcentage (%) est calculé par l'équation (1.8) est défini comme étant le rapport entre la masse de l'huile essentielle obtenue après extraction et la masse de la matière végétale séchée (Nabil, 2011).

$$R_h = \frac{m_h}{m_s} \times 100 \quad (1.8)$$

Avec :

R_h = Rendement en huile essentielle en %

m_h = Masse d'huile essentielle obtenue en (g)

m_s = Masse de matériel végétal fané (g)

2.3 Caractéristiques organoleptiques et physicochimiques des HE extraites

Les caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles extraites ont été évaluées grâce aux facteurs sensoriels. La couleur a été appréciée par la vue, l'odeur par l'odorat et l'aspect perçu par la vue et le toucher. Cette analyse prend en compte la couleur qui varie en fonction du vieillissement et de l'oxydation, allant souvent dans le sens d'un brunissement. Généralement, les huiles essentielles de mauvaise qualité ou falsifiées ont un goût désagréable qui s'amplifie avec le vieillissement (Baudoux et al., 2006). Cependant, ces caractéristiques n'étaient pas suffisantes pour évaluer la qualité des huiles essentielles. Il s'est avéré nécessaire de s'appesantir sur les analyses physicochimiques pour déterminer la nature des huiles et leurs degrés de pureté.

2.3.1 Indice d'acide

L'indice d'acide des HE a été calculé par l'équation (1.9). Il indique le comportement et la quantité d'acides libres présents dans l'huile (Naouel, 2015). Il a été déterminé au laboratoire de biochimie de l'université de Dschang à l'aide du protocole expérimental proposé par Naouel (2015). Mélange de 1 g d'HE, 5 ml d'éthanol à 96 % et environ 5 gouttes d'indicateur coloré (phénolphthaléine) dans un erlenmeyer. Ensuite, titration par une solution alcoolique d'hydroxyde de potassium (KOH) 0,1 N jusqu'à ce que la solution vire au rose.

$$I_a = \frac{V \times C \times 56,11}{M} \quad (1.9)$$

Avec :

I_a = Indice d'acide

V = Volume de KOH utilisé en ml

C = Concentration exacte, en moles par litre de la solution de KOH

M = Masse de la prise d'essai

2.3.2 Indice d'ester

L'indice d'ester calculé par l'équation (1.10) est le nombre de mg d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire pour neutraliser les acides libérés par hydrolyse en milieu basique des esters contenus dans 1g d'HE (Naouel, 2015). Mélanger 1g d'HE et 25 ml d'une solution alcoolique d'hydroxyde de potassium (KOH) 0,5 M à l'aide d'une burette, ainsi que quelques pierres ponce. L'ensemble est porté au reflux pendant 1 h. Après refroidissement de la solution, 20 ml d'eau distillée a été ajouté et 5 gouttes de phénolphthaléine.

$$I_e = \frac{28,05 \times (V_1 - V_0)}{M_1} \quad (1.10)$$

Avec :

I_e = Indice d'ester ;

V_1 = Volume en ml de HCl utilisé dans cette détermination ;

V_0 = Volume en ml de HCl utilisé dans cette détermination de l'essai à blanc ;

M_1 = Masse de la prise d'essai.

2.3.3 Détermination du potentiel d'hydrogène

Le potentiel d'hydrogène (pH) mesure l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+) en solution. Il a été mesuré par lecture directe avec électrode à l'aide d'un pH-mètre de marque PHT-028.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Extracteur d'huile essentielle conçu et réalisé

3.1.1 Dimensions de l'alambic

À l'issue de la méthodologie décrite, il découle que l'alambic a un volume total de 0,063 m³. Il est constitué de deux compartiments donc une chaudière de capacité 0,027 m³ et la chambre de chargement du matériel végétal à une capacité de 0,032 m³.

3.1.2 Dimensions du condenseur

La quantité de chaleur à transférer à l'eau pour qu'il y ait condensation est de 150,855 kcal/h. L'échangeur dans lequel la chaleur cédée par le fluide chaud est intégralement transmise au fluide froid a une différence de température logarithmique moyenne de 27,051 °C. La longueur nécessaire pour condenser la vapeur d'eau est de 1,447 m. La vapeur d'eau refroidie est produite à l'aide d'une résistance électrique de 1400 W. L'essencier utilisé pour recueillir le distillat a un volume de 0,003 m³.

3.1.3 Dimensions du support

L'ensemble des éléments de l'extracteur sont posés sur un support de 100 mm de hauteur. Il a une longueur de 800 mm et une largeur de 300 mm. Il permet d'assurer la stabilité du dispositif lors de son fonctionnement. Il est fabriqué avec les lattes issues de l'eucalyptus qui est la principale essence que les menuisiers utilisent pour la construction des meubles et autres dans la région de l'Ouest-Cameroun.

3.1.4 Vue d'ensemble du dispositif d'extraction conçu et réalisé

L'extracteur réalisé (figure 2) est constitué de quatre parties démontables, à savoir l'alambic, le condenseur, l'essencier et le support. Le fait d'être démontable est bénéfique pour le transport. Selon Bego (2001), la vapo-hydrodistillation est le procédé le mieux adapté à l'extraction des essences, lorsqu'elles sont destinées à des fins thérapeutiques. Cette méthode est considérée comme étant la meilleure. Elle est la seule acceptée pour des HE à usage médical. Outre ce qui précède, elle est rapide, à un meilleur rendement, meilleure qualité des huiles obtenues, permet de distiller les plantes nécessitant une température élevée et un gain de temps. La distillation commence juste après le chargement (Randrianarivelo, 2010).



Figure 2 : (a) représente le dessin SolidWorks et (b) l'extracteur d'HE réalisé

3.2 Test et Évaluation de l'Extracteur

1. Teneur en eau du matériel végétal fané

Le tableau 1 présente les teneurs en eau des trois espèces végétales. Elles ont été déterminées pour exprimer les valeurs des rendements huiles essentielles par rapport à la matière sèche.

Tableau 1 : Masses et teneur en eau finale des espèces étudiées

Espèce	Masse fraîche (g)	Masse après fanage (g)	Teneur en eau (%)
<i>Rosmarinus officinalis</i>	2480,20	1144,30	63,94
<i>Salvia officinalis</i>	2787,30	729,00	38,89
<i>Cymbopogon citratus</i>	3164,50	1144,30	35,14

Il ressort du tableau ci-dessus que la teneur en eau du romarin est élevée par rapport à celle de la sauge et de la citronnelle qui ont des feuilles un peu plus larges. Ceci peut s'expliquer par la variation du stade végétatif des plantes étudiées. Les travaux de Mehani (2015), ont montré que la teneur en huile essentielle augmente proportionnellement lorsque le taux d'humidité diminue. En se référant sur cette base, on peut s'attendre à ce que la quantité de l'HE produite par la citronnelle soit un peu plus élevée par rapport à celle produite par la sauge et le romarin. Par ailleurs, il est constaté que l'HE issu du romarin a un rendement un peu plus faible. Il a une teneur en eau avant extraction de 63,94 % qui est élevée par rapport à celle de la citronnelle 35,14 % et 38,89 % pour la sauge.

2. Rendements en huiles essentielles

Le tableau 2 montre la variation des rendements de l'HE produite en fonction des différentes espèces étudiées. Cette variation peut être due à la teneur en eau de la matière végétale avant extraction. Ainsi que la quantité d'huile contenue dans les espèces étudiées.

Tableau 2 : Rendements en huiles essentielles

Nom de la plante	Quantité extraite (g)	Quantité d'huile essentielle (g)	Rendement en HE (%)
<i>Rosmarinus officinalis</i>	600	5,90	0,98
<i>Salvia officinalis</i>	600	3,20	0,53
<i>Cymbopogon citratus</i>	600	9,50	1,58

La littérature montre que la matière végétale à faible teneur en eau devrait donner un rendement d'huile

essentielle importante par rapport à celui qui a une teneur d'eau élevée (Tchoumboungang et al., 2009, Taleb-Toudert, 2015). Cela n'a pas été le cas pour la

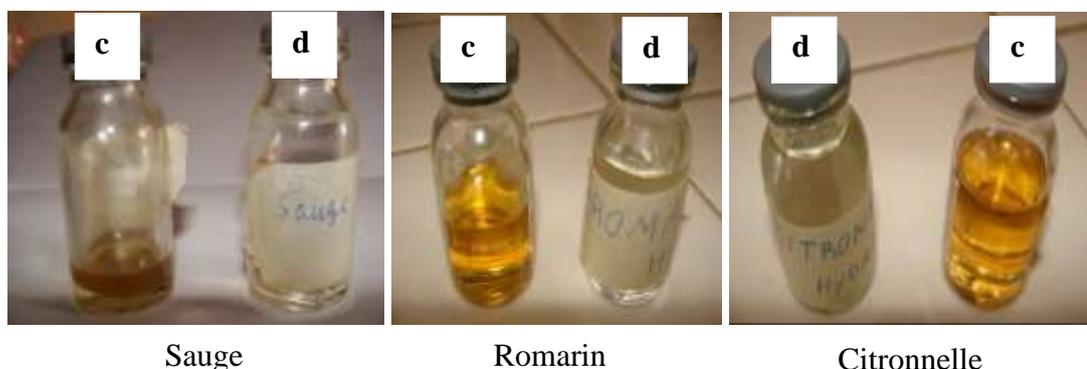
sauge, car le rendement de l'HE du romarin est de 0,98 % pour une teneur en eau de 63,93 %. Il est un peu plus élevé comparé à celui de la sauge qui est de 0,53 % avec une teneur en eau avant extraction de 38,89 %. En effet, la variation peut être due non seulement à l'arôme ou l'odeur de la plante qui est relativement faible, mais aussi à une faible quantité d'huile essentielle contenue dans la sauge. Selon Jouault (2012), toutes les plantes ne se valent pas en quantité d'huile qu'elles contiennent.

Le rendement en huile essentielle du *Rosmarinus officinalis* qui est de 0,98 % est meilleur comparé au rendement de 0,5 % et 0,35 % obtenu respectivement par El-Azrak (2017), et Taleb-Toudert (2015), en utilisant le procédé hydro distillation. La variation du rendement peut être due à l'âge de la plante qui est de 4 ans 5 mois.

La Sauge a donné un rendement d'HE de 0,53 % par ailleurs, Laraqui (2016) et Taleb-Toudert (2015), avait obtenu un rendement d'extraction d'huile essentielle de 1,73 % et 0,2 % pour la Sauge. Les fluctuations constatées entre les rendements peuvent être attribuées à l'origine de la plante, mais aussi la méthode d'extraction, le temps et les conditions de séchage des feuilles. Taleb-Toudert (2015), a séché les feuilles de *Salvia officinalis* pendant une semaine, à l'abri de la lumière et à une température ambiante allant de 20°C à 27°C. Il a eu un rendement d'HE de 0,2 g pour un taux d'humidité de 5,32 %.

Cependant, El-Azrak (2017), avait obtenu les rendements d'HE de sauge de 1,01 % ; 2,05 % ; 2,50 % 2,90 % et 0,09 % pour la Tunisie, France, Hongrie, Portugal et l'Iran respectivement. Par ailleurs, les études faites par Gomes et al., (2004), avaient montré l'influence de la méthode d'extraction d'une part et d'autre part l'influence du cycle végétatif sur le rendement et la qualité de l'HE.

Les feuilles de *Cymbopogon citratus* se sont révélées riches en huile essentielle avec un rendement appréciable 1,58 % qui est élevé par rapport à celui rapporté par Tchoumboungang et al., (2009), qui est de 0,67 % obtenu à partir des feuilles provenant d'un champ à Douala-Cameroun. Le chercheur Alfa (2000), avait obtenu un rendement 1,4 % par le procédé hydro distillation qui corrobore au résultat obtenu. Selon Ram et al., (2003), les amendements minéraux contribuent à l'augmentation de la masse végétale et donc celui du rendement en HE. Les variations observées sur les rendements en HE peuvent être attribuées à l'origine de la plante, mais également à l'imbrication d'une multitude de facteurs tels que la température, l'humidité, la durée totale d'insolation, le régime des vents, le temps de séchage, apport des engrais organiques et/ou minéraux et aux méthodes d'extraction. Ainsi que la période de récolte et l'âge de la plante. L'hydrolat représente le produit obtenu en distillant de l'eau sur les plantes aromatiques et HE (figure 3) sont les résultats des extractions des plantes odoriférantes.



(c) représente l'huile essentielle recueillie et (d) l'hydrolat obtenu après extraction de l'HE.

Figure 3 : Huile extraite par le procédé d'entraînement à la vapeur

3. Cinétique des rendements par échantillon

La figure 4 présente la courbe de l'évolution du rendement des huiles essentielles des trois espèces étudiées en fonction du temps d'extraction.

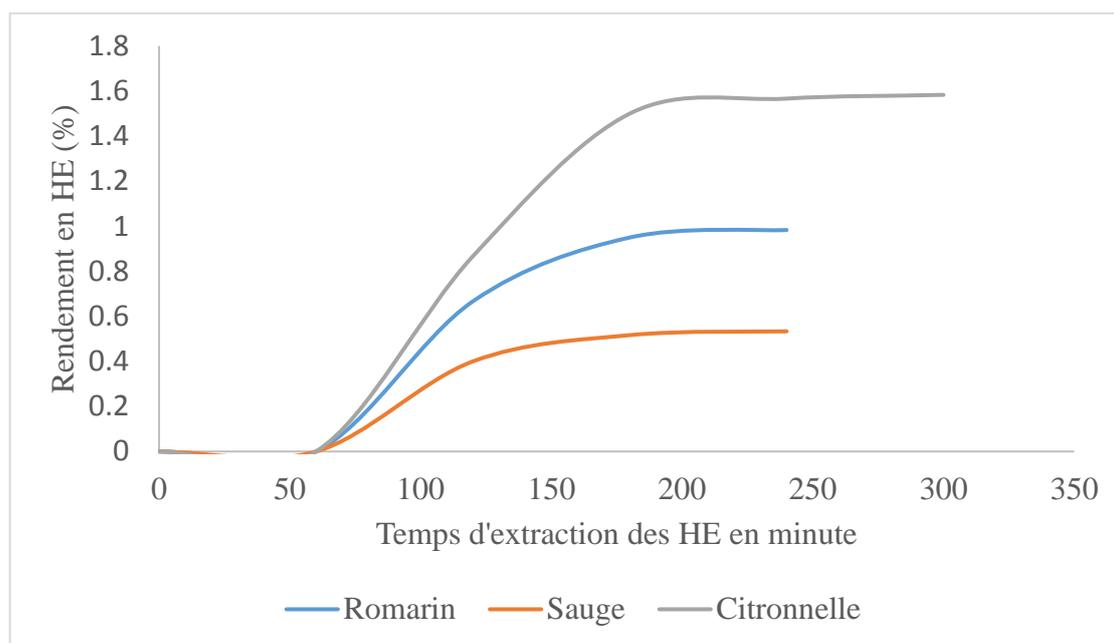


Figure 4 : Rendement en huile essentielle du Romarin, de Sauge et de la Citronnelle

Les courbes des rendements cinétiques ci-dessus montrent l'existence de trois étapes observées lors de la durée d'extraction :

➤ La première phase (0 à 50 minutes) est relative au chauffage de l'eau et de la matière végétale. Lors de cette phase, aucun hydrolat n'est obtenu. Elle correspond à l'augmentation de la température au sein de l'alambic ;

➤ La seconde phase (60 à 200 minutes) correspond à l'étape où il y a production d'huile essentielle et de l'hydrolat. Elle est identique chez les espèces étudiées. Cependant, les quantités HE et l'hydrolat obtenu différencient d'une espèce à l'autre. Ces courbes de rendement en huiles essentielles présentent une croissance progressive des HE qui sont fonction de la durée d'extraction. Durant cette étape, plus de 80 % HE est extraite en plus il y a augmentation de la température de la vapeur qui avoisine les 100 °C ;

➤ Dans la troisième phase, les courbes tendent à être constantes, ceci montre que le maximum d'huile a été extrait. Cette dernière étape a marqué la fin de l'extraction des huiles essentielles. Cependant, la citronnelle a pris environ 50 minutes de plus que le romarin et la sauge. Ceci montre que cette plante est riche en huile essentielle que les autres espèces étudiées. Cela est d'ailleurs dû à son parfum ; car les parties aériennes sont plus odoriférantes que les autres espèces. Sans toutefois oublier la variété de la citronnelle. La durée d'extraction est conforme à celle rapportée par différents auteurs pouvant s'étendre de 3 à 5 h (Taleb-Toudert, 2015) et 5 h (Tchoumboungang et al., 2009).

La plus grande quantité d'huiles essentielles a été obtenue après 120 minutes depuis le début de la distillation, soit respectivement 4 g, 2,4 g et 5,2 g pour *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis* et *Cymbopogon citratus*. Les quantités d'huiles collectées baissent après la première collecte. Ceci s'explique, car le premier passage de la vapeur d'eau se charge d'une plus grande quantité de molécules d'huile essentielle contenue dans les feuilles.

3.3 Caractéristiques organoleptiques et physicochimiques des HE extraites

1. Caractéristiques organoleptiques des HE

Le tableau 3 présente les caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles obtenues par entraînement à la vapeur des plantes étudiées. À l'issue des distillations faites et de l'analyse sensorielle, l'HE obtenue est de couleur jaune avec une odeur prononcée par leurs arômes.

Tableau 3 : Caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles

Huile essentielle	Couleur	Odeur	Aspect
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Jaune clair	Forte odeur Romarin	Liquide huileux
<i>Salvia officinalis</i>	Jaune	Odeur Sauge	Liquide huileux
<i>Cymbopogon citratus</i>	Jaune clair	Forte odeur citronné	Liquide huileux

Les huiles essentielles obtenues par entraînement à la vapeur possèdent des émanations proches des arômes des plantes fraîches utilisées. Elles sont de couleur jaune et jaune clair. Leurs odeurs possèdent des arômes très prononcés issus des plantes utilisées. L'étude menée par Taleb-Toudert (2015), a montré que l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* de Kabylie a une couleur jaune et épicée. Cependant, Nabil (2011), dans ses travaux a trouvé que l'HE du romarin a une couleur jaune pâle, une odeur légèrement camphrée avec une légère note citronnée et un aspect liquide mobile. L'huile essentielle de *Salvia officinalis* originaire de Kabylie est un liquide incolore. Les extractions des HE de la sauge obtenue par Laraqui, (2016) avaient fourni une couleur jaunâtre avec une très forte et persistante odeur de la sauge (Laraqui, 2016).

Les travaux de Tchoumboungang et al., (2009), ont montré que l'huile essentielle des feuilles de *Cymbopogon citratus* récoltées à Douala et étudiées avait une couleur jaune clair. Ce qui corrobore nos recherches. Les différences observées sur les propriétés organoleptiques des trois espèces étudiées peuvent être attribuées à l'origine géographique ou même au stade du cycle végétatif au moment de la récolte (De Figueiredo et al., 2008).

2. Caractéristiques physicochimiques des HE

Le tableau 4 montre les valeurs des indices d'acide d'HE extraites et analysées au laboratoire de Biochimie.

Tableau 4 : Indices d'acide et d'ester des huiles essentielles

Huile essentielle	I_a	I_e
<i>Salvia officinalis</i>	1,49	3,92
<i>Rosmarinus officinalis</i>	1,23	5,66
<i>Cymbopogon citratus</i>	4,48	22,22

Dans le tableau 4, il est observé que l'indice d'acide d'HE de *Cymbopogon citratus* est élevé par rapport à ceux de *Salvia officinalis* et *Rosmarinus officinalis*. Les valeurs d'indices d'acides des huiles essentielles de *Salvia officinalis* et *Rosmarinus officinalis* laissent penser que les huiles essentielles n'ont pas été altérées lors de leurs extractions. Les huiles essentielles extraites par Fellah et al., (2006), à partir des feuilles aériennes de *Salvia officinalis* collectées dans deux régions de Tunisie géographiquement, montrent des indices d'acides compris entre 0,49 et 1,41. L'indice d'acide obtenu 1,49 est supérieur à la première valeur et sensiblement égal à la deuxième soit 1,41. L'indice d'ester de la sauge 3,92 est moins élevée comparé à la valeur de 5,7 obtenue par Taleb-Toudert (2015), après analyse des HE obtenues sur les feuilles de la sauge.

L'indice d'acide d'HE de l'espèce *Rosmarinus officinalis* 1,23 est proche de celui obtenu par Taleb-Toudert (2015), qui est de 1,12. Un indice d'acide faible indique que les huiles essentielles sont stables et ne provoquent pas d'oxydation. L'huile, en s'oxydant, il se dégrade rapidement et provoque une augmentation de l'indice d'acidité (De Cliff et Harerimana, 2013). Cependant, son indice d'ester 5,66 est faible par rapport à 22,8 trouvé par Taleb-Toudert en 2015 dans ses travaux.

Par ailleurs, les huiles essentielles ayant des indices d'acide 1,49 et 1,23 respectivement pour l'espèce *Salvia officinalis* et *Rosmarinus officinalis* vont moins se dégrader. Les faibles indices d'acides provoquent une faible altération des huiles

essentielles. Pour les constantes chimiques, l'indice d'acide donne une idée sur le taux d'acides libres et dans notre étude, ces valeurs sont relativement faibles. Ceci montre que les huiles essentielles seront conservées pour une longue durée à cause de leur faible quantité d'acides libres. Pourtant, l'HE de l'espèce *Cymbopogon citratus* a un indice d'acide de 4,48 et d'ester de 22,44 qui est élevé comparé aux autres. Il pourra avec le temps oxyder vite tout en augmentant son indice d'acidité. À partir de ces valeurs d'indices d'acides, il en ressort que toutes ces constantes sont influencées par les conditions climatiques ainsi que les pratiques culturelles. Pour maximiser la conservation de l'huile essentielle, il vaut mieux la conserver à l'abri de la lumière pour éviter la prolifération des acides libres qui peuvent altérer la qualité de l'huile essentielle. Les valeurs des indices d'esters de l'ensemble des huiles extraites sont élevées par rapport à celle de l'indice d'acide. Ceci montre que les HE contiennent beaucoup d'acide libre et sont donc de bonne qualité. Selon Hilan et al., (2006) plus l'indice d'ester est élevé mieux est la qualité de l'huile.

3. Potentiel d'hydrogène

Le pH des huiles essentielles mesuré est de 6,11 ; 6,53 et 6,33 respectivement pour la Citronnelle, le Romarin et la Saugé. Selon Naouel (2015), les HE avec un pH inférieur à 7 permet de conserver les produits alimentaires.

4 CONCLUSION

Cette étude avait pour but de produire des huiles essentielles à partir de trois plantes aromatiques que

sont *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis* et *Cymbopogon citratus*. On a ainsi développé et testé les performances d'un extracteur d'huile essentielle par entraînement à la vapeur, les huiles obtenues ont été analysées et caractérisées. Les quantités d'HE obtenues pour 600 g de feuilles fanées sont respectivement 9,5 g, 5,9 g, 3,2 g et pour *Cymbopogon citratus*, *Rosmarinus officinalis* et *Salvia officinalis*. Les huiles essentielles obtenues ont été étudiées et comparées par l'olfaction ce qui a permis de définir les propriétés organoleptiques. La couleur des huiles essentielles des trois espèces était jaune et jaune clair avec un aspect liquide huileux. L'analyse physicochimique à l'instar des indices d'acides et esters ont montré que les huiles essentielles sont de bonne qualité donc favorable et acceptable pour être utilisée dans leurs différents domaines d'application. Le procédé d'extraction d'huile par entraînement à la vapeur d'eau permet de préserver au mieux la qualité des produits obtenus.

5 REMERCIEMENTS

Nous remercions le laboratoire des énergies renouvelables du département du génie rural pour avoir appuyé ce travail. Ensuite, le laboratoire de biochimie de l'université de Dschang pour les analyses physicochimiques de base et enfin M. NGOUNE FETIO Thomas et Mme FOUATA Bertine pour la fourniture des trois espèces utilisées dans ce travail et leurs encouragements.

RÉFÉRENCES

- Alfa K D, (2000). Analyse des huiles essentielles de quelques plantes de la flore du Burkina Faso appartenant aux familles des lamiaceae (*Hyptis spicigera* Lam. *Hyptis suaveolens* poit, *Ocimum americanum* L.) et des poaceae (*Cymbopogon schoenanthus* L.) Spreng, *Cymbopogon giganteus* Chiov et *Cymbopogon Citratus* (DC) Stapf. Thèse de doctorat en chimie organique appliquée. Université Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso, 168 p.
- Aura industrie, (2018). Alambic INOX et distillateurs de plantes, fleurs pour production des huiles essentielles et d'hydrolats. Disponible sur www.alambic-inox.com/production-vapeur-alambic-distillateur/principe.htm. Consulté le 09/03/2018.
- Axtell, B.L., Fairman, R.M., 1992. Minor oil crops: Part I-edible oils. Part II-non-edible oils. Part III-essential oils. Rome, Italie: FAO, 241 p.
- Baudoux D, Blanchard J M, Malotau A F, (2006). Les cahiers pratiques d'aromathérapie selon l'école française : Soins palliatifs. 1^e éd. Luxembourg : Inspir., 318 p.
- Bego G V, (2001). Connaître l'essentiel sur les huiles essentielles. Sablons, France : MDR (Medical device reporting), 230 p.
- Benjilali B, (2004). Extraction des plantes aromatiques et médicinales : cas particulier de l'entraînement à la vapeur d'eau et ses équipements. Rabat, Maroc : Hassan II, 20 p.
- Chaabi M, (2008). Étude phytochimique et biologique d'espèces végétales africaines : *Euphorbia stenocla* Baill. (*Euphorbiaceae*), *Anogeissuslio carpus* Guill. Et perr. (*Combrétaceae*), *Limoniastrum feei* (Girard) Batt. (*Plumbaginaceae*). Thèse de doctorat en pharmaco chimie. Université Louis Pasteur et Université MENTOURI de Constantine, Alsace, France, 200 p.
- Davis E, Hassler J H, Hover A, Kruger W, (1997). Huile essentielle. Disponible sur http://www.wsu.edu/~gmhyde/433_web-pages/433oil-web-pages/essenceoils.html, consulté le 3 Février 2018.
- De Cliff S, Harerimana P C, (2013). Extraction de l'huile essentielle complète des fleurs de *Cananga odorata* de la plaine de l'Imbo : vers la vulgarisation d'une nouvelle filière de plantes industrielles au Burundi. Revue de l'Université de Burundi, Journal Série Sciences exactes, 28 : 1-17.
- De Figueiredo A C, Barroso J G, Pedro L G, Scheffer J C, (2008). Factory affecting secondary metabolites production in plants : volatile components and essential oils .Flavour Fragrance Journal Vol.23 : 213-226 .
- El-Azrak H, (2017). Extraction et distillation d'une plante aromatique et médicinale : *Rosmarinus officinalis*. Rapport de fin d'études. Fez, Morocco : Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, 33 p.
- Fellah S, Romdane M, Abderraba M, (2006). Extraction et étude des huiles végétales de *Salvia officinalis* L. Cueillie dans deux régions différentes de la Tunisie. Journal de la Société algérienne de Chimie, 2 : 193-202
- Georges PR, (2010). Guide des plantes médicinales, bibliothèque éducation et santé. Madrid, Espagne : Édition Safeliz, S. L. Tome 2, 844 p.
- Gomes P B, Mata V G, Rodrigues A E, (2004). Characterization of Portuguese grown geranium oil (*Pelargonium* sp.) Journal of the Essent. Oil Res. 16: 490–495.
- Hilan C, Sfeir R, Jawish D, Aitour S, (2006). Huiles essentielles de certaines plantes médicinales libanaises de la famille des Lamiceae. Lebanaise Science Journal. Vol.7 (2) : 13- 22.
- Iserin P, Masson M, Reslellini J, (2001). La rousse encyclopédie des plantes médicinales. Paris, France, Larousse, 335 p.
- Jannot Y, (2016). Les échangeurs de chaleur. Cours de l'école des mines de Nancy 2^{ème} année département EPT. Paris-France, 22 p.
- Jouault S, (2012). La qualité des huiles essentielles et son influence sur leur efficacité et sur leur toxicité. Thèse doctorat pour l'obtention du diplôme d'état de docteur en pharmacie. Université de Lorraine, Lorraine, France, 146 p.
- Laraqui, F Z, (2016). Etude de l'activité biologique des extraits de feuilles et fleurs de deux plantes aromatiques : la sauge et la lavande. Master Sciences et Techniques : CMBA Chimie des Molécules Bio Actives. Fez, Morocco: Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, 55 p.
- Marija L, Henk H, Alihan K, Steven L, George K, Michel De P, (2016). Performance Evaluation of a Helical Coil Heat Exchanger Working under Supercritical Conditions in a Solar Organic Rankine Cycle Installation. Journal of Energies 9, 432 ; doi:10.3390/en9060432.
- Mehani M, (2015). Activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Eucalyptus camendulensis* dans la région d'Ouargla. Thèse. Ouargla, Algérie : Université Kasdi Merbah – Ouargla, 175 p.

- Nabil B, (2011). Extraction des huiles essentielles riches en antioxydants à partir de produits naturels et de coproduits agroalimentaires. Thèse en cotutelle présentée pour obtenir le grade de docteur en sciences des procédés, sciences des aliments UMR A 408 INRA. Université d'Avignon et des pays de Vaucluse et École Nationale Supérieure Agronomique, Avignon, France, 175 p.
- Naouel O, (2015). Étude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil. Thèse doctorat Université d'Oran 1, wilaya d'Oran, Algérie, 239 p.
- Philipposon R R, (1995). Manuel rapide et utile pour la production d'huile essentielle. Antananarivo, Université d'Antananarivo, Madagascar, 26 p.
- Ram M, Ram D, Roy S K, (2003). *Influence of an organic mulching on fertilizer nitrogen use efficiency and herb and essential oil yields in geranium (*Pelargonium graveolens*)*. *Journal of Bioresource Technology* 87: 273–278.
- Randrianarivelo R, (2010). Étude de l'activité antimicrobienne d'une plante endémique de Madagascar « *Cinnamosma fragrans* », alternative aux antibiotiques en crevetticulture. Thèse de Doctorat à la Faculté des sciences. Université d'Antananarivo, Ambohitsaina, Madagascar, 179 p.
- Taleb-Toudert K, (2015). Extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatiques provenant de la région de Kabylie (Nord Algérien). Évaluation de leurs effets sur le bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). Université MOULOU MAMMERI de Tizi-Ouzou, Kabylie, Algérie, 206 p.
- Tchoumboungang F, Dongmo P M, Sameza M L, Mbanjo E G N, Fotso G B T, Zollo P H A, Menut C, (2009). Activité larvicide sur *Anopheles gambiae* Giles et composition chimique des huiles essentielles extraites de quatre plantes cultivées au Cameroun. *Journal of Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 1 : 77-84.
- Tony A, (2011). Distiller de l'alcool à la maison. Consulté le 08/04/2018 sur le site principal, <http://homedistiller.org> ; traduire par le site <http://www.fairesagnole.eu/> en français.