

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT : SNV

N° :



DOMAINE : SNV

FILIERE : BIOTECHNOLOGIES

OPTION : BIOTECHNOLOGIE VEGETALE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par :

Boudaoud Marwa & Ameer Menar

Intitulé

**Contribution à la culture *in vitro*
de *Boswellia sacra***

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. MERNIZ Nouredine	MCA	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr GUETTOUCHI Ahlam	MCA	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Encadreur
Dr. BENMEHAIA Radhouane	MCB	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année Universitaire : 2024 /2025

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail, fruit d'années de travail, de patience et de persévérance,
A ma très chère mère SOUADIA DALILA : Autant de phrases, aussi expressives soient-elles, ne
sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta
tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de
m'encourager durant toutes les années de mes études. tu as toujours été présente à mes côtés pour
me consoler quand il fallait.*

*A mon très cher père BOUDAUD KAMEL : Pour m'avoir soutenu jusqu'à ce jour, pour leur
amour, leur encouragements. Que ce travail soit pour toi un modeste témoignage de ma profonde
affection et tendresse.*

*Que Dieu, le Tout-Puissant, te bénisse de santé, de bonheur, de tranquillité d'esprit et te protège
de tout mal*

*Merci, mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien constant et leurs sacrifices
silencieux. Vous êtes la source de ma force et de ma réussite.*

À mes chers frères, précieux et solidaires : ABEDALHAQ, WALID, RADHWANE.

A mes soeurs mes sources de Joie : MADIHA et MALEK

Que Dieu les garde et leur montre le droit chemin

*Je réserve une mention très spéciale : à ma promotrice Dr. Guettouchi Ahlam qui a encadré ce
travail Avec beaucoup d'intérêt et d'optimisme. Un grand merci pour tes précieux conseils et ton
soutien constant*

*Je remercie également tous mes professeurs pour la qualité de l'enseignement qu'ils m'ont
prodigué au cours de ces cinq années passées à l'université.*

*A toute ma promotion de la spécialité Biotechnologie Végétale, Pour notre amitié, notre
spontanéité et notre collaboration pendant les projets*

*À mes amis, mes proches et toute ma famille pour leurs encouragements sincères et leur foi en
moi.*

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment, je vous dédie ce travail avec tout mon cœur.

Et à ma collègue dans ce travail, MANAR, merci beaucoup.

Et A tous ceux qui ont Contribué de près ou de loin pour Que ce travail soit réalisé.

Marwa

Dédicaces

**A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée Pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère Nawara*

**A mon père Messaoud, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant Toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie, à m'encourager, à m'aider et à me protéger.
Que dieu me les garde et me les protèges*

**mon frère et mes sœurs : Achraf, anwar, islam, souhir*

**A tous mes amis qui me sont chers, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment, qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments les plus dévoués et mes vœux les plus sincères.*

Manar

REMERCIEMENT

« بسم الله الرحمن الرحيم »

En préambule à ce mémoire, nous tenons tout d'abord à remercier Allah, le Tout-Puissant, qui nous a donné la patience, la force et le courage nécessaires pour mener à bien ces années d'étude. Nous exprimons notre profonde gratitude à Madame au Docteur Ahlam Guettouchi pour avoir accepté de diriger ce travail, pour son soutien constant, sa patience et sa compréhension.

Nous la remercions sincèrement pour sa disponibilité, ses encouragements et la confiance qu'elle nous a accordée. Sa générosité et son implication ont été d'un grand soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions également toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de ce travail.

Nous rendons un hommage respectueux à Monsieur le Docteur MERNIZ Noureddine., président du jury, que nous remercions sincèrement pour sa bienveillance et pour avoir accepté, malgré ses nombreuses responsabilités, de présider le jury d'évaluation de notre mémoire.

Nos remerciements chaleureux vont aussi à Monsieur le Docteur BENMEHAIA Radhouane., pour avoir accepté d'examiner ce travail et pour l'honneur qu'il nous a fait en étant membre du jury.

Nous adressons notre reconnaissance la plus profonde à nos familles, à nos enseignants ainsi qu'à nos amis et collègues, pour leur soutien moral, leurs encouragements et leur présence constante tout au long de notre parcours universitaire.

Marwa & Manar

Liste des figures

Figure 1 : Photographie d'un jeune arbre à encens <i>B. sacra</i> (Par Mauro Raffaelli, prise au Parc Naturel Wadi Dowkah (Dhofar, Oman), en Mars 2014.)	5
Figure 2 : <i>Boswellia</i> et Commiphora dans la Corne de l'Afrique (Thulin et wafa, 1987)	8
Figure 3: Photographie d'arbres à encens dans leur environnement naturel (Yemen – Socotra : l'île du sang-dragon - Univers Voyage)	10
Figure 4 : Oliban (photo prise le 20 mai 2022).	11
Figure 5: Principe de la totipotence.	17
Figure 6: Totipotence et culture cellulaire végétale (Campeau-Péloquin, Roy, & Chabot, 2019)	18
Figure 7: Schéma de la régénération d'une plante (Larpen Gourgaud et Sanglier, 1992).	18
Figure 8: La culture <i>in vitro</i> (formation des organes) (Campeau-Péloquin, Roy, & Chabot, 2019).....	19
Figure 9: Differentiation et dedifferentiation chez les végétaux (2002, Ducreux)	20
Figure 10: Différentes méthodes de CIV (Lindsey et Jones., 1989).....	20
Figure 11: Pousse en développement : (a) après 2 semaines de culture et (b) après 4 semaines sur un milieu MS sans régulateurs de croissance (PGRs). Pousse (c) après 2 semaines et (d) après 5 semaines de culture sur un milieu MS contenant 1 μ M de BAP + 0,25 μ M d'IAA. À noter l'hyperhydricité observée en (b) et (d). (Wangui, 2022)	30
Figure 12: Embryogenèse somatique à partir de l'embryon zygotique de <i>Boswellia serrata</i>	32

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification phylogénétique de <i>Boswellia</i> (Roxb, 1807).....	7
---	---

Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciements.....	III
Liste des figures.....	IV
Liste des tableaux.....	V
Introduction.....	1

Chapitre I : Généralisation sur Boswellia sacra

I.1. Historique et orgine de <i>la Boswellia sacra</i>	4
I.2. Description botanique.....	5
I.2.1. L'inflorescence.....	6
I.3. Description taxonomique.....	7
I.4. Distribution biogéographique d'oliban (<i>Boswellia</i>).....	7
I.4.1. Distribution mondiale.....	7
I.5. Production végétative.....	9
I.5.1. Conditions environnementales.....	10
I.5.2. Récolte.....	10
I.5.3. Production de l'oléo-gomme_résine.....	11
I.6. Composition chimique.....	12
I.6.1. Composition de l'huile essentielle.....	12
I.6.2. Les Polysaccharides.....	12
I.6.3. Les polyterpènes.....	12
I.7. Intérêt et importance d'oliban, Usages médicaux.....	12
I.7.1. Intérêt et importance d'oliban.....	12
I.7.2. Usages médicaux.....	12
I.8. Bioactivités et applications pharmaceutiques professionnelles.....	13
I.8.1. Activité anticancéreuse.....	13
I.8.2. Effets analgésiques.....	13
I.8.3. Effets antioxydants.....	14
I.8.4. Effet anti-Alzheimer.....	14
I.8.5. Effet anti-inflammatoire.....	14
I.8.6. Effet anticonvulsivant.....	14

Chapitre II : La culture in vitro

II.1. Aspects historiques des cultures <i>in vitro</i> :.....	16
II.2. Définition.....	17
II.3. Fondement de la culture <i>in vitro</i> :.....	17

II.3.1. Totipotence	17
II.3.2. Organogenèse.....	18
II.3.3. Caulogenèse	19
II.3.4. Rhizogenès.....	19
II.4. La différenciation.....	19
II.5. La dédifférenciation	20
II.6. Les méthodes de la culture <i>in vitro</i>	20
II.7. Techniques de culture <i>in vitro</i>	21
II.7.1. Technologie de la culture des tissus.....	21
II.7.2. La culture de cals	21
II.7.3. Fusion de protoplastes.....	22
II.7.4. Embryogénèse somatique	22
II.8. Les conditions de la culture <i>in vitro</i>	22
II.8.1. Milieu de culture	22
II.9. Composition des milieux de culture.....	23
II.9.1. Les éléments minéraux :.....	23
II.9.2. Les éléments organiques :.....	23
II.10. Facteurs influençant la culture <i>in vitro</i>	24
II.10.1. Lumière et la photopériode et la température et l'humidité (Conditions d'incubation):..	24
II.10.2. Stérilisation	25
II.11. Les applications de la culture <i>in vitro</i>	25
II.12. Avantages et inconvénients des techniques de culture de tissus <i>in vitro</i>	25
II.12.1. Les avantage	25
II.12.2. Les inconvénients	26
Chapitre III : La culture <i>in vitro</i> de <i>Boswellia scara</i>	
III.1. La culture <i>in vitro</i> de <i>Boswellia sacra</i> :.....	28
III.2. Étude théorique et analytique de la culture <i>in vitro</i> de <i>Boswellia sacra</i>	28
III.2.1. <i>Boswellia sacra</i> (Micro-propagations).....	28
III.2.2. <i>Boswellia serrata</i> (Embryogénèse somatique et micropropagation).....	31
III.2.3. <i>Boswellia ovalifoliolata</i> (Micropropagation) :.....	33
Conclusion	38
Références bibliographiques.....	39

INTRODUCTION

Introduction

Durant des siècles et même des millénaires, l'homme a utilisé les plantes médicinales dans le traitement des maladies ou pour le soulagement des douleurs. En effet, il existe environ 500000 espèces de plantes sur terre, dont 80 000 possèdent des propriétés médicinales. (Ezziat, 2015). Selon l'OMS (2002), près de 80% des populations des pays de la région d'Afrique ont recours à la médecine traditionnelle.

Boswellia sacra, appartenant au genre *Boswellia* (famille : Burseraceae), est une source naturelle de résine parfumée connue sous le nom d'encens (اللبان), qui a une importance économique, médicinale et religieuse importante depuis l'ancienne civilisation yéménite. Puisque *Boswellia* contient ces propriétés bénéfiques, et pour protéger cette arbre de l'extinction, nous avons recours à la méthode *in vitro*.

De très nombreux ouvrages ont traité de la culture *in vitro* au cours de la deuxième moitié de ce siècle décrivant toutes les méthodes déployées aussi bien dans le domaine animal que végétal. C'est une méthode de culture des plantes en condition aseptiques en utilisant des milieux de culture assez complexes (hormones, sucres, vitamines, acides aminés, Augé et al., 1989 ; Margara, 1949). Le principe de la culture *in-vitro* est de cultiver une plante en milieu nutritif. Ce milieu étant également favorable au développement des microorganismes qui est plus rapide que celui de la plante il convient de cultiver en conditions aseptiques c'est-à-dire en absence de tout microorganisme. L'asepsie est donc le problème majeur de ce mode de culture. C'est aussi son avantage : l'absence de germe favorise le développement et la multiplication de la plante qui se trouve dans des conditions "idéales" (Jay-Allemand, 1992).

La multiplication végétative par culture *in vitro*, ou micropropagation, est une technique sophistiquée de multiplication *in vitro* de plantes, qui permet de produire rapidement et efficacement des spécimens génétiquement identiques dans des conditions contrôlées. Cette méthode est particulièrement avantageuse pour produire des plantes uniformes et exemptes de maladies qui ne sont pas limitées par les contraintes saisonnières. La technique englobe diverses méthodes de propagation, notamment la culture de méristèmes, la culture de callosités et l'embryogenèse somatique, qui facilitent la production à grande échelle de plantes de haute qualité provenant de diverses espèces (Singh et al., 2023) (Gupta et al., 2020) (Butt et al., 2015).

Méthodologiquement, ce travail est subdivisé en deux grandes parties théoriques :

- Commencant par une introduction
- Chapitre I : Généralisation sur *Boswellia sacra*
- Chapitre II : Généralité sur la culture *in vitro*
- Chapitre III : La culture *in vitro* de *Boswellia sacra*

Et enfin une conclusion.

Chapitre I :
Généralisation sur *Boswellia sacra*

I.1. Historique et orgine de la *Boswellia sacra*

L'oliban à toujours tient une place importante à travers l'histoire et les civilisations. Dans l'antiquité, les Hindous, les Égyptiens, les Babyloniens, les Assyriens, les Perses, les Romains, les Chinois et les Grecs ainsi que les peuples des vieilles civilisations américaines comme les Incas, les Mayas et les Aztèques utilisaient principalement des résines naturelles pour l'embaumement et l'encens dans les cérémonies culturelles. Et aussi employée à des fins domestiques, notamment pour désinfecter le linge, les cheveux et les habitations. La combustion de ces résines naturelles s'imposa naturellement et prit une place importante de leur vie culturelle. Ils brûlaient ces résines pendant les cérémonies de sacrifice ou dans leurs rituels quotidiens pour empêcher l'influence des mauvais esprits sur leurs âmes ainsi que pour. Honorer les morts ou les personnes vivantes **(Benjamin, 2018)**.

Le Boswellia sacra, communément appelé arbre à encens, originaire de la famille des Burséracées. Cette famille comprend environ 700 espèces distribuées en 18 genres **(Rudiger et al., 2007)**.

Et une plante médicinale et aromatique importante originaire des régions arides de la péninsule arabique. Actuellement, les principales espèces productrices sont *Boswellia serrata* au nord-ouest de l'inde, *B.sacra* en Arabie (sud Yémen, Oman), *B.frereana* espèce endémique au nord de la somalie et *B.carteri* (considérée comme synonyme de *B.sacra*) qui est communément présente dans la corne de l'Afrique : nord de la somalie; soudan, Erythrée et Ethiopie **(Thulin et warfa, 1987; Dupéron, 1993; Coppens, 1195)**.

Cette espèce prospère dans les zones où l'eau est limitée et où les terres ne conviennent pas à l'agriculture traditionnelle. Les espèces du genre, appelées arbres à encens (oliban), produisent une gomme résineuse traditionnellement récoltée par incision sur le tronc des arbres ; la résine, exposée, noircit et durcit avant d'être extraite de l'incision. Parmi les espèces du genre, seules *B. serrata* Roxb. et *B. sacra* Flueck ont une importance économique.



Figure 1 : Photographie d'un jeune arbre à encens B. sacra (Par Mauro Raffaelli, prise au Parc Naturel Wadi Dowkah (Dhofar, Oman), en Mars 2014.)

I.2. Description botanique

Boswellia. Sacra est un arbre au tronc distinctif qui atteint une hauteur de 1,5 à 8 m. Les tiges se ramifient à la base et présentent une écorce brun jaunâtre pâle. Les *Boswellia* sont des arbustes généralement de plus petite taille que les autres arbres de la famille des Burseraceae et qui peuvent être pachycaules. Chez la plupart des espèces, l'écorce du tronc et les Branches pèlent (Leminih & Teketay, 2003), Les jeunes tiges peuvent être velues ou lisses. Elle est laiteuse à l'exposition, puis jaunâtre pâle une fois sèche. Les feuilles sont densément serrées, alternes et imparipennées, avec 13 à 19 folioles.

Les parties d'arbre *Boswellia*:

Feuilles



Fleurs



Encens d'oliban



I.2.1. L'inflorescence

En grappe ou en panicule. Les fleurs émergent en même temps que les feuilles. Le pédicelle mesure 2 à 8 mm de long, couvert de poils clairsemés ou lisse. Le calice est en forme de coupe ; de couleur brun rougeâtre, il mesure entre 2 et 2,5 mm de long. Les pétales sont blancs et elliptiques, et mesurent 4 à 5 × 2 à 2,5 mm. Les étamines sont nombreuses, environ 10. Le filament est lisse ; sa longueur est de 2,5 à 3 mm. Les anthères sont oblongues et blanches. Leur texture peut être velue ou lisse. Leur longueur est de 0,8 à 1,4 mm. Les fleurs sont jaunâtres à orange. Le pistil est sillonné, lisse et mesure 2,5 à 3 mm de long. Le fruit est piriforme, brun rougeâtre, et possède 3 à 4 loges. Ses dimensions sont de 8 à 12 × 3,5 à 9 mm. Les pyrènes sont trigones et souvent entourés d'une aile persistante. Ses dimensions sont de 3,5 à 5,5 × 2 à 4,5 mm. Carter a d'abord collecté cette espèce en Arabie. Il l'a nommée à tort *B. thulifera* et *B. serrate*. Flueckiger l'a identifiée comme *B. papyrifera*, puis, en 1867, comme une nouvelle espèce, « *B. sacra* ».

B. sacra est principalement une espèce saxicole. La base bombée du tronc, en forme de coussin ou de disque, permet à la plante de s'accrocher aux parois rocheuses. Cela joue un rôle important dans sa stabilisation, notamment sur les terrains très escarpés. Cette espèce est présente en Somalie, dans la majeure partie de la Corne de l'Afrique et jusqu'à la péninsule arabique. La plante poussant dans des habitats témoins et sauvages.

I.3. Description taxonomique

La position taxonomique de *Boswellia sacra*, un membre de la famille des Burséracées, a été élucidée grâce à de récentes études génomique. Cette espèce comprend plusieurs genres connus pour la production de résine, qui a une valeur culturelle et économique importante. Le séquençage du génome chloroplastique de *B. sacra* a permis de mieux comprendre sa constitution génétique et ses relations phylogénétiques, révélant ainsi sa relation étroite avec d'autres espèces telles que *Azadirachta indica* et *Citrus sinensis* (Al-Harrasi et al., 2019).

La classification est détaillée dans le Tableau ci-dessous :

Tableau1 : Classification phylogénétique de *Boswellia* (Roxb, 1807)

Régne	Plante
Embranchement	Angiospermes
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Sapindales
Famille	Burseraceae
Genre	<i>Boswellia</i>
Espèces	<i>Serrata</i> , <i>carterii</i> , <i>sacra</i> et <i>frereana</i>
Composition	Résine, gomme et l'huile essentielle

Cette famille comprend environ 700 espèces distribuées en 18 genres (Rüdiger, Siani, & Junior, 2007), actuellement, les quatre principales espèces productrices sont *Boswellia serrata* (Nord-Ouest de l'Inde), *Boswellia sacra* (Arabie), *Boswellia frereana* (espèce endémique du Nord de la Somalie) et *Boswellia carterii* (corne de l'Afrique : Nord de la Somalie, Soudan et Ethiopie) (Thulin, & Warfa, 1987). L'encens est connu sous de nombreuses dénominations comme notamment « oliban » ou « salai guggal »

I.4. Distribution biogéographique d'oliban (*Boswellia*)

I.4.1. Distribution mondiale

La famille des Burséracées, les *Commi-phora* et les *Boswellia* sont les plus illustres des plantes aromatiques. Elles fréquentent les zones arides de l'Asie occidentale et de l'Afrique. Les espèces sont particulièrement nombreuses dans le sud de la péninsule Arabique, où elles forment des peuplements plus ou moins denses. Il arrive souvent que les deux genres partagent le même territoire avec divers *Acacia* à gomme (Coppen, 1995; Chikamai et al., 2000). On trouve aussi des *Boswellia* et des *Commiphora* dans toutes les régions de la Corne de l'Afrique, mais en moins grand nombre au-dessous de 700 m d'altitude. En Ethiopie, certaines espèces montent jusqu'à 2 000 m (Gottsche, 1986). Dans la péninsule Arabique comme en Somalie, les peuplements concentrés de *Boswellia* se trouvent sur les piémonts à quelques kilomètres de la côte, où ils sont

arro- sés par les moussons (Monod, 1979 ; Thulin et Warfa, 1987). Ils se prolongent en Érythrée, dans la province éthiopienne du Tigré et au Soudan. Des *Boswellia* se mêlent aux *Commiphora* dans l'Ogaden éthiopien et aux abords du Kenya, les seconds étant prédomi- nants vers la Somalie (Ansel, 2002). « Les résines connues sous les noms de Myrrhe et d'encens ne proviennent pas d'une seule espèce mais de plusieurs groupes d'espèces. La floraison de ces arbres (hauts d'une dizaine de mètres au maximum) est généralement discrète et fugace et leur feuillage tombe souvent très rapidement sous l'effet de la sécheresse. C'est pourquoi ils sont difficiles à identifier. » (Monod, 1979). Leur nomenclature comporte de nombreuses obscuri- tés et synonymies. Des débats de spécialistes sur l'identité botanique de telle ou telle résine sont fréquents. On sait maintenant que *Boswellia sacra* et *B. carteri* ne sont qu'une seule et même espèce (Thulin et Warfa, 1987), mais l'identité botanique de la myrrhe douce ne fait toujours pas l'unanimité (Thulin et Claeson, 1991).



Figure 2 : *Boswellia* et *Commiphora* dans la Corne de l'Afrique (Thulin et wafa, 1987)

I.5. Production végétative

La plupart des espèces de *Boswellia* sont très importantes et rares, et un très petit nombre de pépinières offrent des graines et des plantes propagées pour certaines espèces de *Boswellia*., révèle les conditions environnementales et les méthodes appropriées pour la propagation des espèces de *Boswellia*. Diverses espèces de *Boswellia* poussent dans différentes conditions environnementales. Par exemple, certaines espèces peuvent pousser dans les tropiques humides et certaines poussent dans les régions tropicales sèches ; par conséquent, le milieu du sol peut être différent pour ces espèces. De même, la quantité d'eau nécessaire à la croissance de *Boswellia* varie d'un environnement à l'autre et d'une saison à l'autre. Pour les plantes de *Boswellia*, un engrais de base à croissance vigoureuse avec NPK et métaux chélatés équilibrés est suffisant. En outre, la propagation clonale par l'utilisation de techniques de culture tissulaire se substitue aux pratiques végétatives utilisées dans le passé. Cette approche a le potentiel d'offrir une plus grande multiplication des génotypes uniformes en peu de temps et fournit un substitut à l'espèce qui sont difficiles à cultiver. Dans certaines espèces de *Boswellia*, l'enracinement des boutures de tiges s'est avéré être une stratégie très facile, peu coûteuse et réussie pour la multiplication de masse. La plupart du temps, les jeunes plants de *Boswellia* cultivés dans des pépinières auraient mal poussé sur le terrain.

- Cependant, la propagation végétative par délimitation par les boutures de racines est prévue pour donner de bons résultats sur le terrain.
- Les techniques in vitro sont utilisées pour la conservation des espèces de *Boswellia*, comme cela a déjà été rapporté par divers chercheurs. En outre, un certain nombre d'associations hormonales ont été contrôlées sur diverses espèces de *Boswellia* telles que *B. serrata*, et certaines combinaisons ont été trouvées réussies pendant quelques mois (**harrasi & Lkhan & Asaf & Rawahi**).
- Les espèces du genre *Boswellia* sont limitées par plusieurs facteurs biologiques intrinsèques. Il s'agit d'arbres à reproduction sexuée qui se régénèrent naturellement à partir de graines (**Eshete 2002**). Les plantes sont dioïques, les individus mâles et femelles étant séparés (**Sun nichan et al., 2005**). Ces arbres sont auto-incompatibles, ce qui signifie qu'ils ont besoin du pollen d'un autre individu pour la fertilisation, et dépendent donc de croisements (**Vaishnav & Janghel, 2018**). Dans une étude ayant porté sur plus de 675 spécimens de *Boswellia* et menée pendant 4 ans sur trois sites en Inde, (**Sun nichan et al., 2005**) ont relevé des fleurs stériles sur trois arbres d'une seule population pendant toute la durée de l'étude. Les fleurs non fertilisées ne se développent pas en fruit. La stérilité des fleurs pourrait être due à une infestation par des insectes ou pourrait constituer un mécanisme permettant d'améliorer la pollinisation. En pollinisation libre, la nouaison est faible, ne s'élevant qu'à 10 % environ.

Une mauvaise nouaison limite le nombre de descendants. L'endosperme est absent à la maturité de l'embryon (graine) (Judd et al., 2008), ce qui signifie que les cotylédons charnus contenant des réserves nourrissent l'embryon à partir de la germination.

I.5.1. Conditions environnementales

Sol et climat : *Boswellia sacra* prospère dans les sols arides et carbonitiques d'Oman, où l'agriculture traditionnelle n'est pas faisable (Alaamri, 2012).

Impact de l'élévation : Les arbres situés en altitude produisent des graines plus viables, ce qui suggère que l'altitude affecte la croissance et la reproduction (Swartout & Solowey, 2018).

I.5.2. Récolte

L'exsudat d'encens est obtenu suite à l'entaille des arbres (tapping), à l'aide d'un outil de coupe permettant de faire des incisions dans l'écorce de l'arbre afin d'obtenir la gomme-résine odorante.

Plusieurs grades permettent de caractériser la qualité d'une résine, en fonction des contaminants présents dans celle-ci lorsqu'elle se solidifie. Ensuite, la résine est laissée à durcir sur l'arbre ou ramassée puis stockée dans des endroits ventilés (drainage) avant d'être vendue. La plupart du temps, la récolte des encens a lieu pendant la ou les saisons sèches, afin d'éviter le lessivage de la résine par la pluie. Les arbres sont entaillés environ 12 fois/an selon l'âge de l'arbuste, ce qui donne 1q-3kg de résine par arbre (Leminih, & Teketay, 2003).



Figure 3: Photographie d'arbres à encens dans leur environnement naturel ([Yemen – Socotra : l'île du sang-dragon - Univers Voyage](#))

Comme le montre la Figure 3, l'arbre à encens a besoin de chaleur et de Sécheresse pour se développer : il est donc retrouvé dans des régions arides.

I.5.3. Production de l'oléo-gomme_résine

L'oléo-gommo-résine d'encens est le résultat de la sécrétion issue de l'écorce de l'arbre, qui se présente sous forme d'une résine pâteuse se solidifiant lentement à l'air libre. Elle est mise à sécher pendant trois mois minimum, puis triée selon des critères de qualité, de couleur, de flaveur, de forme et de taille des cristaux avant l'utilisation ou la vente (**Iserin, Masson, Restellini, Ybert, De Laage de Meux, Moulard, & Botrel, (2001)**). Ces concrétions ressemblent à des larmes figées, d'un or translucide avec une odeur balsamique, camphrée et légèrement citronnée. L'oléo-gomme-résine est extraite de l'arbre par raclage d'une portion de l'écorce de 15 à 20 cm de large. La technique consiste à réaliser des incisions transverses en amont et en aval de la portion voulue puis de détacher l'écorce du tronc. La résine est alors collectée durant les 10 à 12 jours suivants et chaque arbre donne environ 1 kg de résine par an (**Majeed, Badmaev, Gopinathan, Rajendran, Norton, & Braly, (1996)**). La meilleure qualité de résine est recueillie dans les zones les plus arides, au cours des mois les plus chauds. Elle est réservée à un usage médicinal alors que la résine ramassée dans des conditions moins favorables ou sur le bas des troncs, réputée de qualité inférieure, trouve un usage pendant les cérémonies religieuses. Aujourd'hui, la Somalie est le plus grand exportateur d'oliban, approvisionnant certains pays d'Europe (France, Allemagne et Italie)



Figure 4 : oliban (photo prise le 20 mai 2022).

I.6. Composition chimique

L'oliban contient des molécules qui peuvent être séparées en trois parties :

I.6.1. Composition de l'huile essentielle

Monoterpènes : L'huile essentielle comprend 97,3 % de mono terpènes, avec l'E- β -ocimène et le limonène comme constituants principaux (*al-Harrasi & al-Saidi, 2008*).

Acides boswelliques : Les composés de haut poids moléculaire, y compris les acides boswelliques, sont abondants dans l'huile essentielle, en particulier lorsqu'elle est distillée à des températures plus élevées (*Suhail et al., 2011*) (*Ni et al., 2012*).

I.6.2. Les Polysaccharides

La fraction de gomme représente respectivement environ 30 % et 60 % de l'extrait total d'encens, La composition chimique de la résine extraite de *Boswellia* est relativement similaire. Il est composé de monosaccharides tels que le galactose, l'arabinose et le 4-O-méthyl-D-glucuronique, qui se combinent pour former des polysaccharides (**Jana Machenaud, 2017**).

I.6.3. Les polyterpènes

Sont des composés que l'on retrouve en grande quantité dans la résine d'encens. Cette résine représente entre 30 et 60 % de l'extrait total d'oléo- gomme-résine d'encens et est non volatile. Elle est constituée d'acides polyterpéniques mélangés à certains alcools, aldéhydes et esters (**Langenheim, 2004**).

-Les diterpènes

-Les triterpènes

I.7. Intérêt et importance d'oliban, Usages médicaux

I.7.1. Intérêt et importance d'oliban

Encens d'oliban est particulièrement réputée pour ses effets psycho-émotionnels. Elle est efficace contre la déprime, le stress, les tensions nerveuses. Elle équilibre les émotions et relax. Les huiles essentielles d'encens sont également recommandées pour la peau, en raison de ses vertus cicatrisantes, réparatrices et régénérantes. Elle est utilisée dans les soins anti-âges pour peau mature, peau sèche et abimée. Elle est antifongique, intéressante pour traiter les mycoses cutanées. Aussi utilisée pour booster la défense immunitaires, libérer les vois respiratoires.

I.7.2. Usages médicaux

Les plantes du genre *Boswellia* sont réputées pour leurs oléorésines aromatiques, largement utilisées pour leur parfum et en médecine traditionnelle. L'espèce *Boswellia sacra* Fleuck., originaire d'Oman, est généralement considérée comme produisant une oléorésine de la plus haute qualité. Elle est particulièrement connue pour ses propriétés anticancéreuses, anti-inflammatoires, antidiabétiques et antimicrobiennes. De nombreux effets thérapeutiques de *B. sacra* sont corrélés à la teneur en antioxydants de l'oléorésine. Les terpénoïdes, en particulier, ont été mis en évidence

pour leurs effets bénéfiques. L'acide boswellique, un composé triterpénoïde, (et ses dérivés), a été particulièrement bien étudié pour son activité anticancéreuse et anti-inflammatoire, tandis que des terpénoïdes volatils plus petits ont été associés à l'activité antibactérienne de la résine. De plus, les flavonoïdes de *B. sacra* contribuent aux propriétés thérapeutiques de cette plante par de multiples mécanismes. Cependant, malgré les propriétés thérapeutiques et la phytochimie intéressante de *B. sacra*, d'autres espèces de *Boswellia* (en particulier *Boswellia serrata*) ont été étudiées plus en détail.

I.8. Bioactivités et applications pharmaceutiques professionnelles

I.8.1. Activité anticancéreuse

L'huile essentielle de *B. sacra* induit une cytotoxicité spécifique des cellules cancéreuses du sein. L'huile essentielle de *B. sacra* peut inhiber l'agressivité tumorale des cellules cancéreuses du sein humaines résistantes aux médicaments et métastasées en culture. *B. sacra* a montré des propriétés pro-apoptotiques, antiprolifératives et anti-invasives dans des lignées cellulaires cancéreuses du sein humaines (Suhail, Mondalek, Shih, & Lin, 2011). L'huile essentielle de *B. sacra* inhibe la viabilité et induit l'apoptose dans des lignées cellulaires cancéreuses du pancréas humaines.

L'huile essentielle de gomme-résine de *B. sacra* a été suggérée comme agent thérapeutique alternatif utile pour les patients atteints d'adénocarcinome pancréatique, le principal type de cancer agressif du pancréas. Français En outre, une autre étude a suggéré que l'huile essentielle était efficace contre les cellules cancéreuses du côlon telles que les cellules CD133+ et CD133-Colo-320, et il a également été considéré que l'huile essentielle obtenue à partir de *B. sacra* conduisait à une réduction des molécules de signalisation de la β -caténine qui jouent un rôle essentiel dans la prolifération des cellules cancéreuses. Dans une étude de rapport de cas, l'administration orale de résine de gomme de *B. sacra* s'est avérée efficace dans le carcinome à cellules urothéliales.

I.8.2. Effets analgésiques

Les huiles essentielles de *B. sacra* sont traditionnellement utilisées pour traiter les infections microbiennes et fongiques. Une étude in vitro des monoterpénoïdes de l'huile essentielle de *B. sacra* a montré une activité antimicrobienne contre *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Propionibacterium acnes*. Les huiles essentielles d'encens ont également montré un effet antifongique significatif contre *Candida albicans* et *Malassezia furfur*.

L'effet inhibiteur de différentes concentrations de résine, d'extrait de feuille et d'huile essentielle de *B. sacra* a été évalué sur la croissance et la production d'aflatoxines par *Aspergillus flavus* et *Aspergillus parasiticus*. Cette étude a révélé que la poudre de résine et l'huile essentielle de *B. sacra* réduisent considérablement la production d'aflatoxines. Par conséquent, la poudre de résine et l'huile essentielle de *B. sacra* peuvent être recommandées comme conservateurs

alimentaires naturels sûrs pour augmenter la durée de conservation des produits alimentaires et des aliments pour animaux, en référence à leurs activités antimicrobiennes et inhibitrices des aflatoxines. (Al-Harrasi, Hussain, Rehman, Ahmed, & Al-Rawahi, (2014).

I.8.3. Effets antioxydants

Il a été démontré que l'huile essentielle de gomme-résine de *B. sacra* possède un puissant effet antioxydant dans la méthode de piégeage des radicaux DPPH.

I.8.4. Effet anti-Alzheimer

Le genre *Boswellia* pourrait guérir ou prévenir les maladies neurodégénératives grâce à ses effets anti-inflammatoires, antioxydants, anti-amyloïdogènes et anti-apoptotiques.

L'évaluation de l'effet de l'huile essentielle obtenue à partir des résines de *B. sacra* a montré que l'huile essentielle d'encens pouvait inhiber significativement l'acétylcholinestérase (AChE). L'inhibition de l'AChE entraîne une augmentation des taux d'acétylcholine dans le cerveau et améliore la mémoire chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer. Par conséquent, *B. sacra* en tant que plante médicinale, pourrait protéger contre les pertes de mémoire liées à la maladie d'Alzheimer (Abbas, Albroumi, Rehman, Hussain, & Al-Harrasi, 2016).

I.8.5. Effet anti-inflammatoire

L'inhalation d'huile essentielle de *B. sacra* a un effet thérapeutique potentiel sur l'inflammation allergique des voies respiratoires, en augmentant les taux de cytokines Th1 (IFN- γ) et en diminuant les taux de cytokines Th2 (IL-4, IL-5 et IL-13). (Kang, 2008)

I.8.6. Effet anticonvulsivant

Plus récemment, Wolfender et ses collègues ont publié une étude approfondie sur l'activité anticonvulsivante de la résine de *B. sacra*. Les résultats de cette étude ont démontré que, parmi tous les terpénoïdes isolés, l'acide β -boswellique, un dérivé triterpénoïde, était le plus actif et entraînait une réduction de 90 % des crises induites par le pentylènetétrazole (PTZ) à 100 $\mu\text{g/ml}$. L'activité pharmacologique de la résine de gomme de *B. sacra* et de ses composés **photochimiques** (Brillatz, Jacmin, Queiroz, Marcourt, Morin, Shahbazi, & Wolfender, 2021).

Chapitre II :
La culture *in vitro*

II.1. Aspects historiques des cultures *in vitro* :

Les premières tentatives de la culture *in vitro* pour maintenir en survie des organes vivants isolés datent de plus de 140 ans il s'agit alors de la création. Les principes théoriques d'un système artificiel permettant la survie des organes en dehors de l'influence de l'organisme entier ont été établis.

- Depuis lors, cette direction de recherche, d'abord lente puis plus rapide, a conduit à d'importants développements en biologie. (**Mozeran, 1972**).
- Les premiers travaux de la culture *in vitro* de tissus végétaux sont dus à un allemand, (**Haberland, 1902**), qui énonce le concept de la totipotence cellulaire.
- Il a fallu attendre 1922, pour que de nouveaux espoirs apparaissent pour la culture de tissus végétaux, grâce à ROBBINS, qui réussit à maintenir des pointes de racines en survie près de six mois et à obtenir des fragments qui passèrent de quelques millimètres à six centimètres de long.
- A partir de 1941 il était possible d'obtenir des plantes entières à partir de petits fragments d'organes ou de colonies tissulaires. L'enracinement de ces plantes ne posait aucun problème grâce à l'utilisation des auxines rhizogènes, dont la manipulation était déjà connue depuis un certain temps. (**Margara, 1989**).
- En 1956, SKOOG et MULLER régénèrent des racines et des tiges de tabac à partir de cals, sous l'influence d'auxine et de cytokinines.
- A partir de 1962 le développement de solutions minérales spécifiquement adaptées a enfin facilité la multiplication végétative *in vitro*. (**Margara, 1989**).
- En 1966 ont réussi à obtenir des plantes haploïdes de *Datura innoxia* M. L à partir de cultures d'a en Inde, ont réussi à obtenir des plantes haploïdes de *Datura innoxia* M. L à partir de cultures d'anthères. (**Guha et Maheswari, 1966**).
- En 1971 ont réussi à régénérer des plantes entières de *Nicotiana tabacum* à partir de protoplastes. (**Anonyme, 1996**).
- En 1976 : San Noem crée les premières plantes transgéniques transformées par *Agrobacterium tumefaciens*, un tabac résistant à la kanamycine.
- En 1978 portant sur différentes parties de la plante, et ont donné des résultats de plus en plus prometteurs. (**Bouguedoura, 1979**).
- En 1983, Herrera-Estrella et *al.* ont réalisé une avancée significative dans le domaine de la biotechnologie végétale en créant les premières plantes transgéniques en Belgique. Cette innovation a été réalisée en utilisant *Agrobacterium tumefaciens*, une bactérie connue pour sa capacité à transférer des gènes dans les cellules végétales.

II.2. Définition

La culture *in vitro* ou culture de tissus est un mode de reproduction asexué (reproduction végétative artificielle) (**Boccon-Gibbod, 1989**). Est une méthode de multiplication végétative asexuée qui repose sur la capacité totipotente des cellules végétales, similaire à celle des cellules animales. Cette propriété permet la régénération d'une plante à partir de cellules ou de tissus végétaux (appelés explants) cultivés dans un milieu nutritif artificiel spécifique, favorisant ainsi la formation d'une plante entière (**Hobbelink, 1988; Boutherin et Bron, 1989**).

Le terme de culture *in vitro* est appliqué à toute culture sous verre (tube, bocal, etc...) et nécessite l'utilisation de régulateurs de croissance (hormones végétales) et un environnement contrôlé comprenant la régulation de la température, du pH et de l'éclairage, le tout dans des conditions d'asepsie strictes (**Hobbelink, 1988; Boutherin et Bron, 1989**). C'est une technique qui s'améliore progressivement, et qui promet beaucoup; ses objectifs sont de résoudre les problèmes de reproduction et de cout de production des plants fruitiers, ainsi que de satisfaire rapidement les exigences des professionnels (**Benettayeb Ayeb 2011**).

II.3. Fondement de la culture *in vitro* :

Le fondement de la culture *in vitro* repose sur plusieurs principes biologiques et techniques qui permettent la culture et la régénération de plantes à partir de tissus ou de cellules dans un environnement contrôlé. Voici les principaux éléments qui constituent ces fondements:

II.3.1. Totipotence

La totipotence est une dédifférenciation expérimentale qui peut être induite par la perturbation des corrélations organiques, des traumatismes, de l'action des phytohormones ou de leur suppression (**Demarly et Sibi, 1996**).

La totipotence est la propriété qu'ont certaines cellules de pouvoir régénérer un individu lorsqu'elles sont placées dans des conditions appropriées (Figure 1).

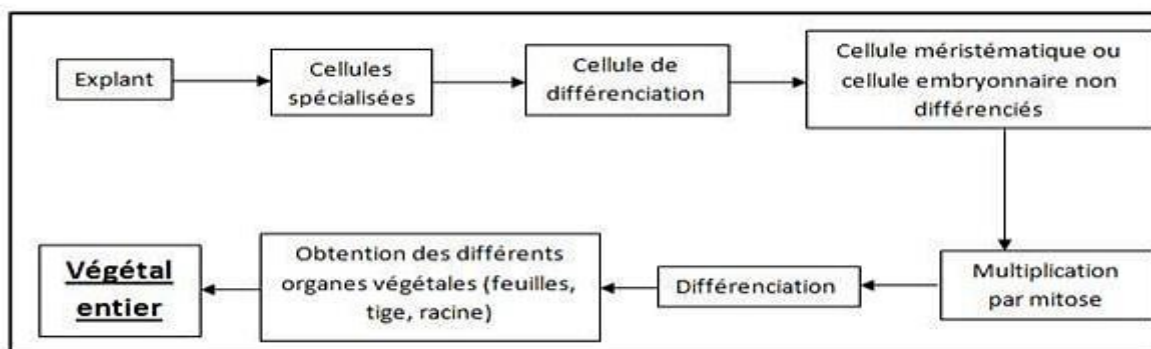


Figure 5: Principe de la totipotence.

La totipotence est l'aptitude de la cellule végétale à exprimer la totalité de ses potentialités pour donner un organisme entier (**Bhojwani et Razdan, 1986**) (Figure 2)

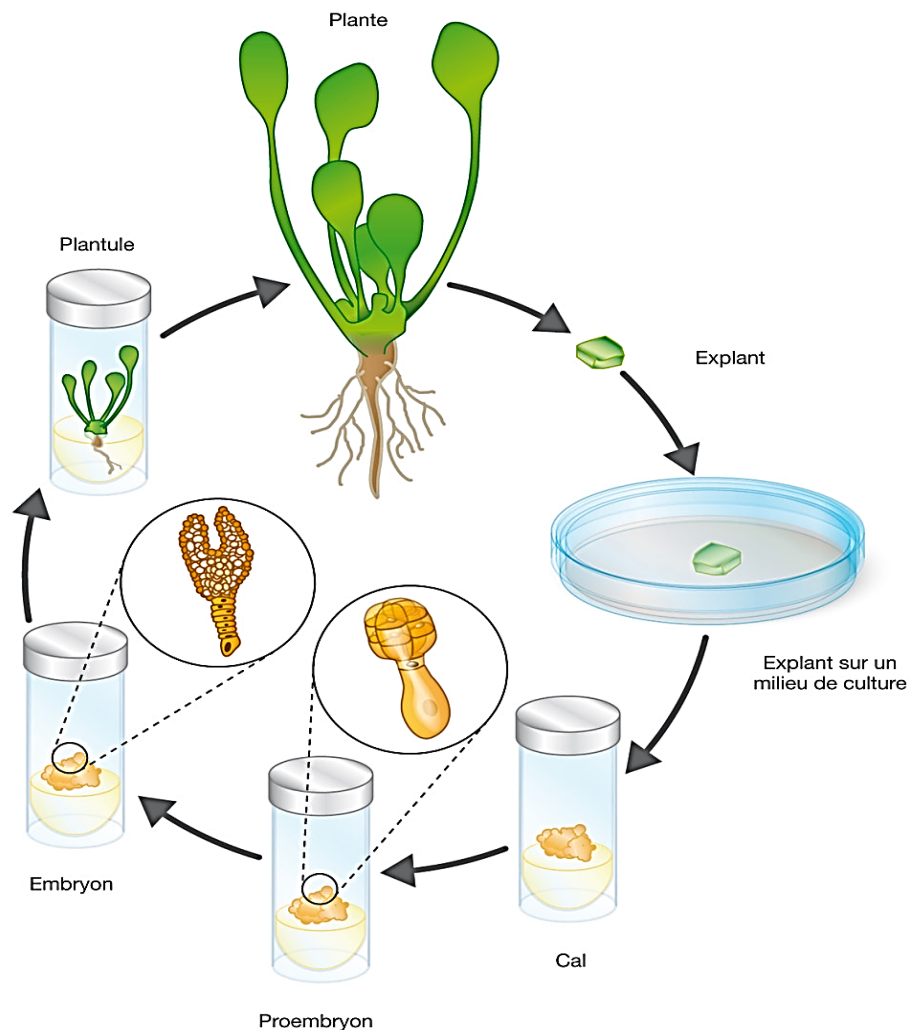


Figure 6: Totipotence et culture cellulaire végétale (Campeau-Péloquin, Roy, & Chabot, 2019)

II.3.2. Organogénèse

Organogénèse implique un processus dédifférenciation cellulaire, contrairement à la dédifférenciation, qui se produit dans des tissus déjà spécialisés. Ce phénomène peut aboutir à la formation de nouveaux massifs méristématiques. Cette capacité met en évidence la totipotence des cellules végétales, c'est-à-dire leur aptitude à se diviser et à se redifférencier en réponse à des conditions expérimentales spécifiques (Larpent Gourgaud et Sanglier, 1992).

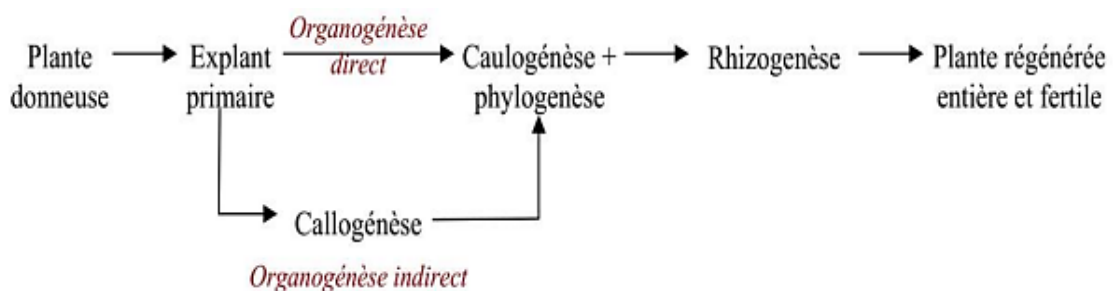


Figure 7: Schéma de la régénération d'une plante (Larpent Gourgaud et Sanglier, 1992).

II.3.3. Caulogénèse

La caulogénèse désigne à la fois l'initiation et le développement des tiges (Figure 4). Les tiges néoformées *in vitro* peuvent apparaître sur l'explant initial ou sur une cal. Ils sont induits sur n'importe quel type d'organe ou de tissu y compris sur ceux qui ne les produisent pas dans les conditions naturelles (Margara, 1989).

II.3.4. Rhizogénès

La rhizogénèse désigne la néoformation et la croissance de racine (Figure 4). Est un phénomène complexe, il comporte différentes phases:

- Dédifférenciation : formation d'amas de cellules méristématiques,
- Différenciation : et organisation des amas méristématiques en primordium racinaire qui se développeront en jeunes racines (Margara, 1989).

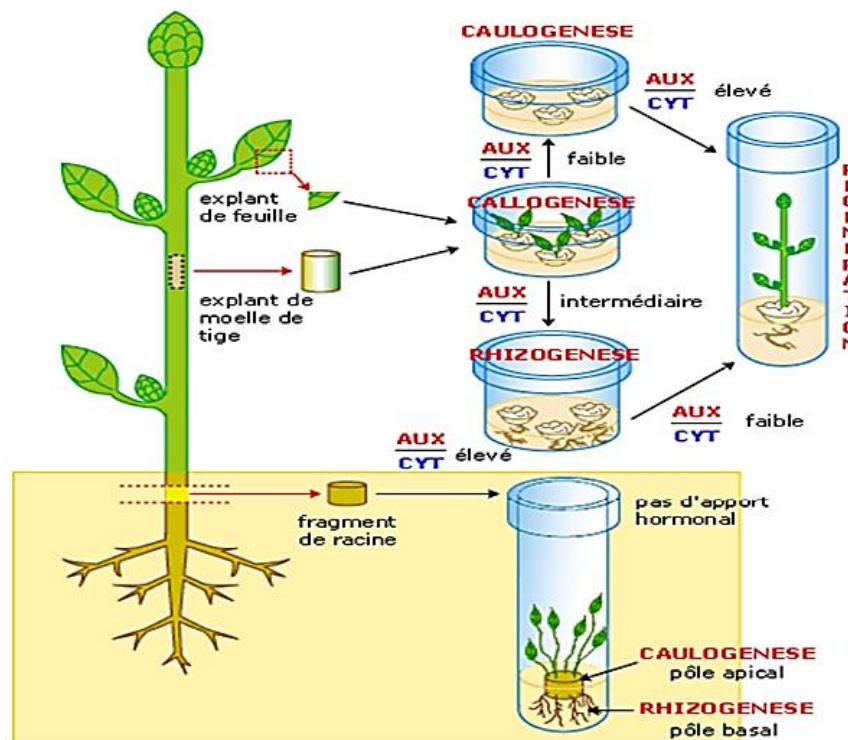


Figure 8: La culture *in vitro* (formation des organes) (Campeau-Péloquin, Roy, & Chabot, 2019)

II.4. La différenciation

La différenciation cellulaire est le processus par lequel une cellule méristématique évolue pour devenir une cellule spécialisée, remplissant des fonctions spécifiques essentielles à la vie de la plante (Ducreux, 2002). Ce mécanisme est régulé par des signaux de position émis par les cellules environnantes tout au long du développement. Cela entraîne une perte progressive des caractéristiques cytologiques et physiologiques des cellules embryonnaires, ainsi que l'acquisition des traits distinctifs des cellules adultes (Peyecru et al., 2007).

II.5. La dédifférenciation

Il est évident que le passage d'un état différencié à un état de cellules méristématiques proliférantes ne se fait pas sans que des modifications profondes apparaissent dans la structure de la cellule. Ces modifications ramènent la cellule adulte à un état juvénile, où elle retrouve des caractéristiques cytologiques et les potentialités des cellules embryonnaires, lui permettant de se différencier en n'importe quel organe. Selon la composition du milieu de culture, les cellules dédifférenciées continuent de proliférer pratiquement à l'infini, devenant parfois capables de poursuivre leur prolifération même en l'absence de substances stimulantes telles que les auxines et les cytokinines. Les cellules végétales se dédifférencient et reviennent à un état cellulaire indifférencié, soit embryonnaire soit méristématique. Cette perte de l'inhibition corrélative permet l'expression de toutes les possibilités embryonnaires (Rajnochapel, 1987).

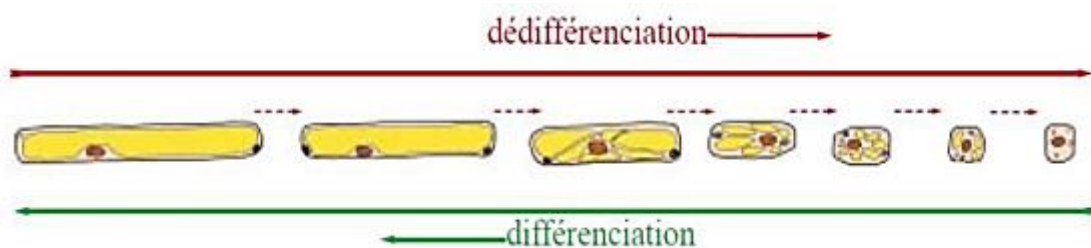


Figure 9: Differentiation et dedifferentiation chez les végétaux (2002, Ducreux)

II.6. Les méthodes de la culture *in vitro*:

La culture *in vitro* englobe deux modes de multiplication conforme et non conforme.

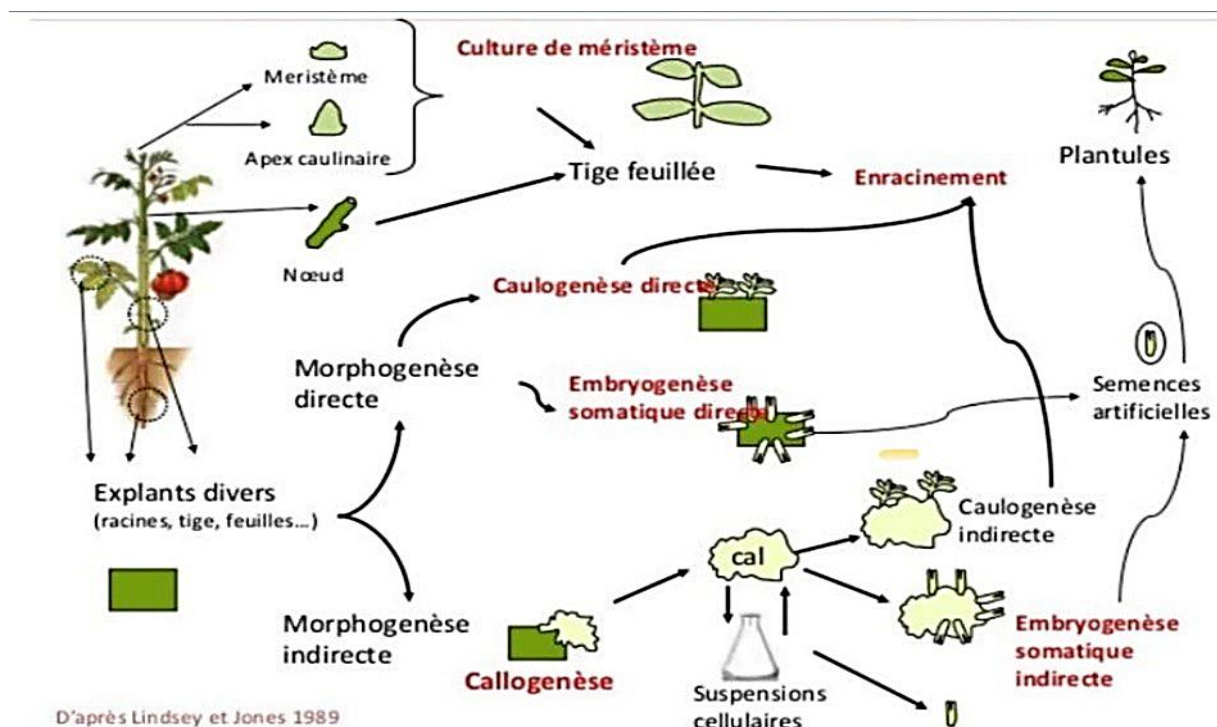


Figure 10: Différentes méthodes de CIV (Lindsey et Jones., 1989)

Méthodes conformes:

A : bourgeonnement axillaire.

B : bourgeonnement adventif.

C : Embryogenèse somatique.

Méthodes non conformes: des méthodes qui peuvent induire des variations génétiques ou phénotypiques.

A: formation de plantes haploïdes phénotypiques.

- **Organogenèse directe:** Formation d'organes à partir de tissus sans formation de callus.
- **Organogenèse sur callus (callogenèse):** Production de callus qui peut mener à des plantes avec des variations.
- **Haplo méthodes:** Obtention de plantes haploïdes, souvent pour des études génétiques.
- **Culture et fusion de protoplastes:** Fusion de cellules dénudées, générant des variations génétiques. Il existe différentes techniques de culture *in vitro* qui se distingue par leurs applications, telles que la micropropagation:
 - la culture de méristèmes
 - l'embryogenèse somatique
 - le sauvetage d'embryons
 - l'haplo-diploïdisation, etc.

II.7. Techniques de culture *in vitro*:**II.7.1. Technologie de la culture des tissus**

La culture tissulaire désigne la culture *in vitro* de divers types de cultures végétales, de grains, d'embryons, de cellules, de protoplaste, d'organes (tels que les branches, les apex, les bourgeons, les racines, les anthères, les méristèmes, etc.), adaptés à de nombreuses espèces végétales sur des milieux nutritifs dans des conditions contrôlées. Elle repose sur la capacité des cellules végétales différenciées à entrer dans un état de méristème dédifférenciée, puis à se différencier à nouveau pour former une plante complète. Ces cultures de tissus offrent un large champ d'investissement et de gestion dans le domaine de l'amélioration des cultures végétales, comprenant notamment (Senane, 2019)

II.7.2. La culture de cals

La culture de cals est obtenue grâce à la culture d'explants de tissus ou d'organes différenciés. Il s'agit d'un tissu indifférencié plus ou moins organisé. Il est utilisé en culture cellulaire pour la production de métabolites secondaires, que ce soit en laboratoire ou sur le terrain. Elle permet d'améliorer la technique de clonage somatique en sélectionnant des variantes présentant des caractères agronomiques améliorés.

II.7.3. Fusion de protoplastes

Maintenus sur un milieu approprié, ces protoplastes peuvent régénérer et diviser leurs parois, produisant ainsi des callosités puis la plante entière. Puisqu'il n'y a pas de paroi, la fusion entre des protoplastes appartenant à différentes espèces incompatibles avec le sexe peut être induite par le traitement pour favoriser la fusion. Ce type d'hybridation de cellules somatique n'est pas en proie à des problèmes d'incompatibilité, qui limitent généralement l'hybridation traditionnelle dans l'application de la technologie (Senane, 2019).

II.7.4. Embryogénèse somatique

La culture *in vitro* des tissus végétaux est une méthode moderne d'embryogénèse. L'embryogénèse somatique est le processus par lequel les cellules du sporophyte ou du gamétophyte produisent des embryons qui passent par une phase embryonnaire distincte sans fusion de gamètes (Hamdani, 2001).

L'embryogénèse somatique offre une méthode plus simple par rapport à la micropropagation traditionnelle, qui nécessite plusieurs milieux de culture différents pour cultiver les tiges, les racines et obtenir des plants complets (Senane, 2019). Les embryons somatiques suivent les mêmes stades de développement morphologique que les embryons zygotiques, passant par des stades sphériques, corde, torpille et cotylédon (Egertsdotter et Arnold, 1998). Leur structure chromosomique est généralement similaire à celle des plantes mères dont ils sont dérivés (Ronchi, 1995).

Le critère d'identification des embryons somatiques est leur structure bipolaire, se développant précocement et formant simultanément des méristèmes de tige et de racine (Ronchi, 1990). Il existe deux méthodes principales d'embryogénèse somatique.

Embryogénèse somatique directe : Dans ce processus, les embryons somatiques se développent directement à partir des explants initiaux mis en culture sans qu'il y ait formation de cal. Ce processus est cependant rarement observé (Guedira, 1989).

Embryogénèse somatique indirecte : C'est un processus beaucoup plus fréquent et au cours duquel la formation d'embryons nécessite une callogénèse, caractérisée par une activité cellulaire élevée. Dans ce modèle, la formation d'embryons se fait à partir de cal (Thorpe, 2007).

II.8. Les conditions de la culture *in vitro*

La réussite de la culture de tissus végétaux dépend de la composition chimique des milieux de culture utilisés ainsi que d'autres facteurs ambiants:

II.8.1. Milieu de culture

Bien que plus de 50 formulations de milieux différents aient été utilisées pour la culture *in vitro* de tissus de diverses espèces végétales (Gamborg et al, 1976; Huang et Murashige, 1977),

la formulation décrite par **Murashige et Skoog (1962)** (milieu MS) est la plus couramment utilisée.

Le milieu nutritif (ou base nutritive) est composé de tous les éléments nutritifs essentiels majeurs et mineurs des plantes, de vitamines, de régulateurs de croissance des plantes, ainsi que d'un hydrate de carbone comme source de carbone, avec d'autres substances organiques facultatives en tant qu'additifs. (**Murashige et Skoog 1962**)

II.9. Composition des milieux de culture

II.9.1. Les éléments minéraux :

- **Macroéléments:** il s'agit de six éléments minéraux présents à des concentrations élevées tel que l'azote (N), le calcium (Ca), soufre (S), phosphore (P), magnésium (Mg), et le potassium (K).
- **Microéléments:** ou oligoéléments, principalement : le fer (FE), le cuivre (CU), le zinc (Zn), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le bore (B), le chlore (CL), le cobalt (Co), et le nickel (Ni). Sont nécessaire à la plante qu'en faible concentration. (**Murashige et Skoog 1962**)

II.9.2. Les éléments organiques :

- **Le saccharose:**

Le saccharose permet assurer la survie et le développement de l'explant il est indispensable d'ajouter une source d'énergie (le plus souvent du saccharose) dans le milieu de culture est nécessaire pour fournir à l'explant une source de carbone (**Gautheret, 1959**).

- **Les vitamines:**

L'emploi de diverses vitamines tels que: la thiamine, l'acide nicotinique, la pyridoxine, favorise fréquemment la croissance des tissus des cultures *in vitro*.

- **Les régulateurs de croissance (phytohormones):**

Ce sont des substances indispensables au bon démarrage et à l'entretien des tissus végétaux des cultures *in vitro*, les régulateurs naturels de croissances des végétaux, appelés aussi hormones de croissance, se répartissent actuellement en cinq groupes: Auxines, Cytokinines, Gibbérellines, Acides abscissiques, Ethylènes. Ces substances de croissance peuvent agir en synergie ou en antagonisme. (**Murashige et Skoog 1962**)

- **Les auxines**

L'auxine est un composé à noyau indole dont la formule brute est $C_{10}H_9NO_2$, dont le nom est Acide Indole Acétique (AIA); la synthèse de l'auxine se situe au niveau des très jeunes feuilles, dans les bourgeons en activité, au niveau des ébauches forales et des jeunes fruits.

De nombreux composés de synthèse présentent des propriétés similaires à celle de l'auxine naturelle l'AIA : Acide 2,4-dichlorophénoxyactique (2,4-d), Acide Indole 3 butyrique (AIB),

Acide 1 Naphtalène Acétique (ANA). Les auxines stimulent l'élongation des tiges, la différenciation et la croissance des racines, la maturation des fruits et l'abscission des feuilles et des fruits (ZRYD *et al.*, 1988; AUGE, 1989; HELLER *et al.*, 1995).

- Les cytokinines

Les cytokinines sont des adénines substituées dont la zéatine (Zéa) est naturelle; élaborée essentiellement par les racines et au niveau des embryons.

Les cytokinines les plus généralement utilisées sont:

La kinétine (Kin), la benzyladénine (BAP), la 2 isopentényl adénine (2IP), le thidiazuron (TDZ), elles sont synthétisées dans les tissus de croissance active plus particulièrement dans les racines, les embryons et les fruits (ZRYD *et al.*, 1988; HELLER *et al.*, 1995).

Les cytokinines sont souvent utilisées pour stimuler la prolifération des tissus en culture, déclencher la néoformation des bourgeons sur des cals.

- Les gibbérellines

En culture des tissus, seul l'acide gibbérellique (GA3) est utilisé, il favorise la croissance cellulaire, l'allongement des entre nœuds et la levée de la dormance des grains (HELOIR, 1999).

II.10. Facteurs influençant la culture *in vitro*

II.10.1. Lumière et la photopériode et la température et l'humidité (Conditions d'incubation):

La lumière, la température et l'humidité relative sont des paramètres importants lors de l'incubation de la culture *in vitro*. Pendant les phases initiales de la culture, l'activité photosynthétique n'est pas très importante, mais à des stades ultérieurs, le matériel de culture est induit à devenir autotrophe dans une certaine mesure (Murashige, 1977).

La lumière joue un rôle essentiel dans les processus morphogénétiques tels que l'initiation des pousses, des racines et de l'embryogenèse somatique. La qualité et l'intensité de la lumière, ainsi que la photopériode, sont des éléments critiques pour le succès de certaines expériences de culture (Murashige, 1977). Une exposition à la lumière pendant 12 à 16 heures par jour, fournie par des lampes fluorescentes fraîches et blanches, est généralement recommandée. Une lumière claire favorise la formation des pousses, tandis qu'une lumière rouge induit l'enracinement dans de nombreuses espèces (Murashige, 1977).

La température est également un élément important lors de la pratique des cultures *in vitro*, elle doit être en générale constante et régulée suivant les besoins de l'organisme en culture

La température généralement utilisée dans la salle d'incubation de la culture *in vitro* est d'environ 25°C. Les espèces tropicales nécessitent généralement une température plus élevée (27-30°C) (Tisserart, 1981).

II.10.2. Stérilisation

Les conditions stériles sont obtenues par une désinfection des explants, une stérilisation du milieu de culture et des flacons ou tubes de culture. Les différentes opérations de mise en culture sont réalisées dans un environnement stérile obtenu par une hotte à flux laminaire horizontal : de l'air stérile est propulsé vers le vitroculteur. Les conditions stériles sont primordiales à obtenir afin qu'aucun champignon ou bactérie ne viennent coloniser les milieux de culture, très favorables à leur prolifération, sous peine de nécrose de l'explant. (George, Hall, & De Klerk, 2008)

II.11. Les applications de la culture *in vitro*

Les applications de la culture *in vitro* sont diverses de nos jours, que ce soit dans des domaines pratiques tels que l'horticulture et la sylviculture, ou dans le domaine de la recherche, en particulier pour l'amélioration des plantes. Elle joue également un rôle important dans la préservation de la diversité variétale et la sauvegarde des espèces menacées.

La culture *in vitro*, peut être utilisée pour:

- L'assainissement des plantes virosées.
- La multiplication de masse ou micropropagation rapide.
- Conservation de la biodiversité.
- La multiplication de nouvelles espèces/variétés ou de plantes stériles.

II.12. Avantages et inconvénients des techniques de culture de tissus *in vitro* :

II.12.1. Les avantages:

La technologie de culture tissulaire *in vitro* présente de nombreux avantages, qui peuvent être résumés comme suit:

- La conservation des ressources végétales et l'établissement d'une banque de géotypes pour les plantations en dehors de la saison de croissance (Lê *et al.*, 2002).
- La possibilité de reproduire végétativement des espèces qui ne possèdent pas ces capacités dans des conditions conventionnelles (Sibi, 1981).
- Certaines espèces qui produisent des graines rares et difficiles à couper ou à greffer par des méthodes conventionnelles peuvent être propagées *in vitro*.
- Les plantes multipliées *in vitro* sont généralement de meilleure qualité que celles obtenues par des techniques traditionnelles. Une sélection phytosanitaire permet de produire des plantes exemptes de virus en utilisant des plants apex (El Hamouni, 1999).
- La reproduction rapide est favorisée par une prolifération cellulaire accrue grâce à ces techniques (Smith *et al.*, 1985; Collet *et Lê*, 1988).
- Amélioration variétale: Rôle clé dans la sauvegarde de géotypes, production d'haploïdes, et création de plants génétiquement modifiés via différentes techniques de régénération.

II.12.2. Les inconvénients:

Culture *in vitro* présente certaines limites, notamment

- Risque d'obtenir des plantes non qualifiées.
- Problèmes d'asepsie: Nécessite un soin strict pour maintenir des conditions stériles; infections pouvant provenir de champignons ou de bactéries.
- Difficulté d'acclimatation: Transition vers des conditions normales délicate après un séjour *in vitro*. (2017, Articles Biotech)

Chapitre III

La culture *in vitro* de *Boswellia scara*

III.1. La culture *in vitro* de *Boswellia sacra*:

L'intérêt croissant pour *Boswellia sacra*, en raison de ses nombreuses applications dans les industries pharmaceutique, cosmétique et de la parfumerie, a entraîné une augmentation significative de la demande à l'échelle mondiale. En réponse à cette pression, des efforts ont été entrepris pour développer des techniques de propagation modernes, notamment la culture *in vitro* (micropropagation et culture de tissus), afin d'assurer sa conservation et sa multiplication (Wangui, 2022).

Étant une espèce menacée (Fay, 1992), *B. sacra* nécessite des stratégies efficaces de régénérations, parmi lesquelles la micropropagation occupe une place importante. Deux principales approches de micropropagation sont utilisées : l'organogenèse et l'embryogenèse somatique.

L'organogenèse consiste à induire le développement de pousses adventives à partir d'explants cultivés dans des milieux nutritifs spécifiques, sous des conditions contrôlées. Elle peut être directe (sans phase callogène) ou indirecte (passant par la formation d'une cal). Des cas d'organogenèse directe ont été rapportés chez plusieurs espèces ligneuses, telles que *B. ovalifoliolata* (Chandrasekhar et al., 2005) et *B. serrata* (Purohit et al., 1995). L'embryogenèse somatique, quant à elle, permet la formation d'embryons à partir de cellules somatiques méristématiques, qui peuvent ensuite se développer en plantes complètes (Phillips et Garda, 2019; Thorpe, 1983). Cette méthode peut également être directe ou indirecte, selon qu'elle soit précédée ou non par une phase calogène (Gaj, 2004). L'embryogenèse somatique est souvent préférée à l'organogenèse, car cette dernière présente des limitations, notamment au niveau de l'enracinement des pousses chez certaines espèces (Lu et Thorpe, 1987).

III.2. Étude théorique et analytique de la culture *in vitro* de *Boswellia sacra*

En raison de la rareté des études publiées sur les techniques de culture *in vitro* du *Boswellia sacra*, nous avons entrepris l'étude et l'analyse de trois expérimentations dans ce domaine, comprenant une étude sur *Boswellia sacra* et deux autres sur deux espèces différentes du même genre *Boswellia serrata* et *Boswellia ovalifoliolata*.

Dans le cadre de cette étude, une analyse comparative de trois travaux portant sur la culture *in vitro* de *Boswellia* a été réalisée. Cette comparaison porte sur les milieux de culture utilisés, les types de régulateurs de croissance appliqués (hormones) ainsi que les résultats obtenus.

III.2.1. *Boswellia sacra* (Micro-propagations)

III.2.1.1. Milieux de culture utilisés:

Le milieu de base utilisé dans cette étude est le milieu Murashige et Skoog (MS), enrichi en saccharose à 30 g/L et solidifié avec de la gélrîte à 2 g/L. Le pH du milieu a été ajusté à 5,8 avant

stérilisation. Dans certains milieux, du polyvinylpyrrolidone (PVP) a été ajoutée afin de limiter l'oxydation phénolique des explants.

III.2.1.2. Les hormones végétales utilisés:

Concernant les régulateurs de croissance des plantes (PGRs), plusieurs hormones ont été utilisées en fonction des objectifs expérimentaux:

6-benzylaminopurine (BAP) : cytokinine favorisant la multiplication des bourgeons. Acide indole-3-acétique (IAA): auxine impliquée dans l'élongation cellulaire et l'enracinement. Acide naphthalèneacétique (NAA): auxine synthétique utilisée pour stimuler la formation de racines.

TDZ (Thidiazuron): Cytokinine puissante Favorise l'induction de cal (callogenèse) et l'embryogenèse somatique.

mTR (meta-Topoline Riboside): Cytokinine (alternative au BAP, plus stable et moins toxique)

Peut aider à réduire l'hyperhydricité et améliorer la qualité des pousses.

Les hormones ont été ajoutées aux milieux à partir de solutions mères stériles, soit avant, soit après l'autoclavage, selon leur sensibilité thermique.

III.2.1.2.1. Les effets des hormones:

III.2.1.2.1.1. Organogenèse directe

BAP et TDZ testés sur des explants foliaires et de bourgeons ont entraîné une bonne survie initiale, mais sans formation de pousses. Tous les explants sont morts après quelques semaines.

Le BAP a montré une meilleure induction de la rupture des bourgeons axillaires que le TDZ, mais la croissance n'a pas été maintenue.

L'ajout de PVP (1 g/L) a permis de réduire le brunissement du milieu, prolongeant légèrement la viabilité des explants.

III.2.1.2.1.2. Organogenèse indirecte (via cal)

Le TDZ seul ou combiné au MemTR a été le plus efficace pour induire la formation de cals, surtout sur les pétioles.

Les combinaisons BAP + IAA ont amélioré légèrement l'induction des cals par rapport au BAP seul.

III.2.1.2.1.3. Embryogenèse somatique

Le BAP seul a permis une embryogenèse somatique modérée (60 % max), surtout à faible concentration (1 μ M).

Les combinaisons BAP + ANA ont montré un effet synergique important, atteignant jusqu'à 100 % d'embryogenèse dès la 2e semaine.

Le développement des pousses à partir des embryons somatiques est resté faible, avec une mortalité élevée et des signes d'hyperhydricité.

La régénération directe par organogenèse a échoué. La voie indirecte via cal et embryogenèse somatique, en particulier avec les combinaisons TDZ + MemTR et BAP + ANA, est plus prometteuse, bien que le développement final des pousses nécessite des ajustements pour éviter l'hyperhydricité et la nécrose.

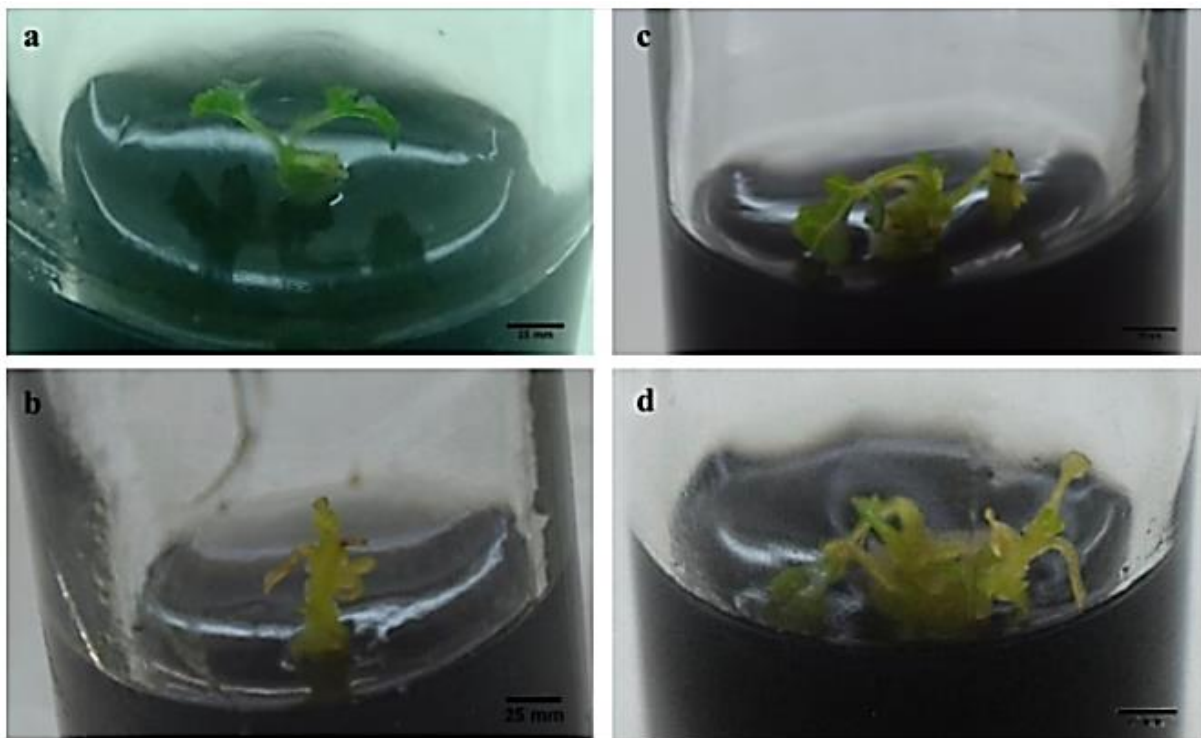


Figure 11: Pousse en développement : (a) après 2 semaines de culture et (b) après 4 semaines sur un milieu MS sans régulateurs de croissance (PGRs). Pousse (c) après 2 semaines et (d) après 5 semaines de culture sur un milieu MS contenant 1 μM de BAP + 0,25 μM d'IAA. À noter l'hyperhydricité observée en (b) et (d). (Wangui ,2022)

III.2.1.3. Résultats:

III.2.1.3.1. Régénération par organogenèse:

Des explants foliaires et de bourgeons axillaires ont été cultivés sur des milieux MS avec différents cytokinines. Aucune régénération n'a été observée. Les milieux sont devenus bruns après deux semaines et les explants sont morts vers la 5e semaine, en raison de l'oxydation des polyphénols. L'ajout de PVP a prolongé la survie jusqu'à six semaines, mais sans succès dans l'induction de pousses. Cela illustre la récalcitrance des tissus de *B. sacra* à l'organogenèse directe.

Organogénèse: Les tentatives de régénération par organogénèse directe à partir de feuilles et de bourgeons axillaires ont échoué, à cause de la récalcitrance des tissus et du brunissement des milieux, même après l'ajout de PVP (1 g/L).

III.2.1.3.2. Régénération via embryogénèse somatique:

Des cals ont été induits dans l'obscurité à partir de feuilles sur milieux MS contenant du TDZ (5 µM), avec un taux d'induction de cal atteignant 100 %. L'ajout combiné de NAA et BAP a permis la formation d'embryons somatiques, tandis que les milieux sans PGRs n'ont donné aucun résultat. La maturation des embryons s'est faite sur milieu MS basique ou enrichi en BAP + IAA.

Cependant, les pousses ont souffert d'hyperhydricité dès la première semaine, entraînant leur dépérissement rapide.

Embryogénèse somatique: Un protocole efficace a été établi avec :

- Induction de cal à 100 % sur milieu MS contenant TDZ (5 µM)
- Formation d'embryons somatiques sur milieu contenant NAA + BAP
- Régénération de pousses, mais affectées par l'hyperhydricité, limitant leur développement. (Wangui ,2022)

III.2.2. *Boswellia serrata* (Embryogénèse somatique et micropropagation)

III.2.2.1. Milieux de culture utilisée:

- Milieu basal MS (Murashige et Skoog, 1962)
- Saccharose à différentes concentrations : 2%, 3%, 4%
- CleriGel à 0,25% (agent gélifiant)
- Additifs anti-oxydants ou adsorbants (chacun testé individuellement) :
- Polyvinylpyrrolidone (PVP) : 0; 50; 100; 200; 300; 400; 500 mg/l
- Acide ascorbique: 0; 25; 50; 100; 200; 400 mg/l
- Charbon activé: 0; 50; 100; 200; 300 mg/l
- Le pH du milieu est ajusté à 5,8 avant autoclavage.

III.2.2.2. Les hormones végétales utilisées:

- Cytokinines (seules ou en combinaison) aux concentrations: 0; 0,25; 0,50; 1,0; 2,0; 3,0 mg/l
- BA (6-benzylaminopurine)
- KIN (kinétine)
- TDZ (thidiazuron)
- Auxines (en combinaison avec les cytokinines) aux concentrations: 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 2,0 mg/l
- IAA (acide indole-3-acétique)
- IBA (acide indole-3-butyrique)

- NAA (acide naphthalène acétique)
- 2,4-D (acide 2,4-dichlorophénoxyacétique)

Un antioxydant, le polyvinylpyrrolidone (PVP), a été ajouté pour limiter le brunissement des tissus, phénomène courant en culture in vitro.

Effet des hormones sur l'induction des embryons somatiques :

La meilleure réponse (89,63 %) a été obtenue avec une combinaison de 4,54 μM TDZ + 2,26 μM 2,4-D + 200 mg/l PVP, favorisant l'induction directe d'embryons somatiques.

Les différentes formes d'embryons (globulaire, en cœur, torpille, cotylédonaire) ont été observées, attestant du bon déroulement du processus embryogénique.

Germination et développement des plantules :

Les embryons ont été transférés sur un milieu contenant uniquement de l'acide gibbérellique (GA3), ce qui a amélioré le taux de germination et de conversion en plantules (73,2 %). Le taux de survie des plantules en conditions ex vitro était d'environ 72 %, indiquant une bonne acclimatation.

III.2.2.3. Résultat:

- L'induction directe de embryons somatiques (SEs) a été observée à partir des embryons zygotiques sur un milieu MS enrichi en TDZ (4,54 μM) et 2,4-D (2,26 μM).
- La formation de SEs a débuté dès la 3e semaine, atteignant 7 à 22 embryons somatiques/explant chez 89,6 % des explants.
- Le PVP (200 mg/L) a permis de réduire efficacement le brunissement et d'améliorer l'induction embryonnaire.
- Une lumière modérée (8–16 h/jour) a significativement stimulé le développement de SEs par rapport à une photopériode réduite.



Figure 12: Embryogenèse somatique à partir de l'embryon zygotique de *Boswellia serrata*.

(Naikawadi et al., 2025)

L'induction et le développement des embryons somatiques chez *Boswellia serrata* sont fortement influencés par :

- Le type et la concentration des PGRs,
- La présence d'antioxydants comme le PVP et l'acide ascorbique,
- La durée d'exposition à la lumière.
- La combinaison optimale (TDZ + 2,4-D + PVP + lumière modérée) permet d'atteindre une régénération stable, ouvrant la voie à la multiplication végétative de cette espèce médicinale. (Naikawadi et al., 2025).

III.2.3. *Boswellia ovalifoliolata* (Micropropagation) :

Les techniques *in vitro* sont une méthode de conservation des plantes précieuses, notamment celles qui sont difficiles à propager par des moyens classiques. La micropropagation de *B.*

Serrata a déjà été rapportée (Purohit et al., 1995), mais il n'existe pas de protocole établi pour la propagation *in vitro* de *B. ovalifoliolata*. Compte tenu de son importance médicinale et commerciale, la présente étude Chandrasekhar, Hussain, and Jayananda (2005) a développé un protocole adapté à la multiplication de cet arbre endémique, *B. ovalifoliolata*, en utilisant le nœud cotylédonaire comme explant.

III.2.3.1. Milieux de culture utilisés :

- Milieu de Murashige et Skoog (MS) :
- Utilisé à demi-concentration ($\frac{1}{2}$ MS) pour l'inoculation des graines.
- Utilisé en concentration complète pour la prolifération des pousses et l'enracinement.
- Complété avec:
 - 3 % (p/v) de saccharose.
 - 0,8 % (p/v) d'agar comme gélifiant.
 - PH ajusté à $5,8 \pm 0,2$.
 - Antioxydants : charbon actif (50 et $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) et polyvinylpyrrolidone (PVP) (20 et $40 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

III.2.3.2. Hormones végétales utilisées :

A. Pour la prolifération:

- NAA (acide naphthalène acétique) : $0,054 \mu\text{M}$
- BA (6-benzyladénine) : $1,11; 2,22; 4,44; 8,88 \mu\text{M}$
- TDZ (thidiazuron) : $1,82; 2,72; 3,63; 4,54 \mu\text{M}$
- KN (kinétine) : $0,46; 1,15; 2,32; 4,65 \mu\text{M}$

B. Pour l'enracinement (Rhizogenèse) :

- IAA (acide indole-3-acétique) : $2,8; 5,7; 11,4; 17,1 \mu\text{M}$

- IBA (acide indole-3-butyrique) : 2,4; 4,9; 9,8; 14,7 μM

Ces hormones ont été utilisées seules ou en combinaisons pour évaluer leur efficacité sur l'induction racinaire.

III.2.3.2.1 Les effets des hormones:

- Une bonne réponse de prolifération des pousses a été observée avec l'utilisation de BA ou TDZ en combinaison avec NAA.
- Les repiquages effectués tous les 25 jours ont favorisé l'élongation et la multiplication des pousses.
- Les hormones IAA et IBA, utilisées seules ou en combinaison, ont efficacement stimulé la formation des racines.
- L'ajout de charbon actif et de PVP a amélioré la qualité de la réponse *in vitro*.
- Les plantules ont été transférées avec succès vers un milieu exogène (vermiculite, puis mélange sol/sable), ce qui indique un bon taux d'acclimatation.

II.2.3.3. Résultat:

- Le taux de germination initial des graines de *Boswellia ovalifoliolata* était faible (2 %). Après un prétraitement acide doux suivi d'un trempage dans l'eau distillée, ce taux a été amélioré à 10 %.
- Les explants cultivés sur milieu MS de base sont restés viables pendant 10 jours, mais sans réponse morphogénétique avant 25 jours, après quoi ils se sont desséchés. L'ajout de 0,054 μM de NAA combiné à des cytokinines (BA, KN, TDZ) a permis l'induction de pousses.
- La combinaison TDZ (2,72 μM) + NAA (0,054 μM) a été la plus efficace, induisant jusqu'à 5 pousses par nœud avec un taux de réponse de 90 %. En comparaison, BA (4,44 μM) + NAA a généré 3 pousses avec 70 % de succès. KN (2,32 μM) + NAA a donné 4 pousses avec 50 % de réponse.
- La longueur des pousses était meilleure avec BA ou KN + NAA comparativement à TDZ.
- Cependant, les pousses étaient d'abord albinos avant de devenir rougeâtres après 25 jours.
- Une callogenèse a été observée avec toutes les cytokinines. La brunification du cal, fréquente à chaque subculture, a pu être atténuée grâce à l'ajout de charbon actif (100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) et PVP (40 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).
- Aucun enracinement n'a été obtenu sur le milieu MS contenant uniquement du NAA.
- L'enracinement a été efficacement induit par IAA et IBA, avec l'IBA à 4,9 μM montrant les meilleurs résultats après 20 jours.

- Les pousses enracinées ont été transférées sur un milieu sans auxines pendant 30 jours, puis acclimatées avec succès en conditions ex vitro. Les plantules présentaient une morphologie normale, sans anomalies visibles
- Dans cette étude démontre une méthode simple et efficace pour la multiplication rapide de *Boswellia ovalifoliolata* à partir d'explants de nœuds cotylédonaire. Cette méthode pourrait être envisagée pour la production de masse et la conservation de cette espèce endémique d'importance économique et commerciale (**Chandrasekhar, Hussain, & Jayananda, 2005**).

Conclusion

Conclusion

Le genre *Boswellia*, appartenant à la famille des Burséracées, regroupe des arbres résineux connus pour leur production d'encens, notamment *Boswellia sacra*, communément appelée arbre à encens, et constitue une espèce médicinale et aromatique d'importance socio-économique. Elle est principalement connue pour sa résine aromatique, utilisée dans les rituels religieux ainsi qu'en médecine traditionnelle. En fait, la comparaison entre les trois variétés du genre *Boswellia* – *B. sacra*, *B. serrata* et *B. ovalifoliolata* – lors de leur culture *in vitro*, une technique qui permet la culture de cellules ou de tissus végétaux dans un environnement stérile et contrôlé, en dehors de la plante mère.

Les résultats ont révélé des différences significatives dans les réponses morphogéniques des espèces étudiées. *B. sacra* a montré une résistance marquée à la régénération par organogenèse directe, aucune formation d'organes n'ayant été observée malgré l'application de cytokinines. Toutefois, l'induction de cals a été couronnée de succès dans 97,5 % des cas en présence de thidiazuron (TDZ), et une embryogenèse somatique a été obtenue à 100 % en utilisant une combinaison de BAP (benzylaminopurine) et d'ANA (acide naphthalène acétique). Néanmoins, les plantules régénérées ont souffert de phénomènes d'hyperhydricité, altérant leur qualité morphologique et physiologique.

En revanche, *B. serrata* a présenté une efficacité élevée en embryogenèse somatique (89,6 %), avec un taux de conversion en plantes complètes de 73,2 %, et une survie post-acclimatation (*ex vitro*) atteignant 72 %, démontrant ainsi son potentiel pour la culture *in vitro*.

B. ovalifoliolata, quant à elle, a bien répondu à la micropropagation via les nœuds cotylédonaire, avec un taux de multiplication de 90 %. Un enracinement efficace a été obtenu à l'aide de l'IBA (acide indole-butyrique), et l'ajout d'antioxydants a permis d'améliorer les caractéristiques morphologiques des plantules régénérées.

B. serrata et *B. ovalifoliolata* montrent un fort potentiel pour la multiplication *in vitro*, tandis que *B. sacra* nécessite des ajustements spécifiques pour surmonter sa récalcitrance et optimiser sa régénération.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Abbas G., Albroumi M. A., Rehman N. U., Hussain H., et Al-Harrasi A. S., Evaluation of essential Oils de *Boswellia sacra* et *Teucrium mascatense* contre l'enzyme acétyl cholinestérase et l'enzyme uréase, *International Journal of Phytomedicine*. (2016)8, no. 4.
2. Acad Sinica., 18.
3. Al-Harrasi A., Ali L., Hussain J., Rehman N. U., Mehjabeen M., Ahmed M., et Al-Rawahi A., Effets analgésiques d'extraits bruts et de fractions d'encens omanais obtenus à partir de plantes médicinales traditionnelles *Boswellia sacra* sur des modèles animaux, *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*. (2014) 77, S485 – S490S490, [https://doi.org/10.1016/s1995-7645\(14\)60279-0](https://doi.org/10.1016/s1995-7645(14)60279-0), 2-s2.0-84908212253.
4. Al-Harrasi A., Al-Rawahi A., Hussain J., Ali L., Hussain H., Rehman N., Abbas G., et Al-Harrasi R., Antiglycation and antioxidant activities et l'analyse HPTLC de la résine *Boswellia sacra*: the sacred frankinc, *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. (2013) 12, 597, <https://doi.org/10.4314/tjpr.v12i4.23>, 2-s2.-84883005815.
5. ANSEL J.-L., 2002 – Parfums d'Éthiopie. Chartres, Cosmetic Valley/Datar/Codel.
6. Asad M. et Alhumoud M., Hepatoprotective effect et GC-MS analysis of traditional *Boswellia sacra* oleo gum résine (Frankincense) extrait in, *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*. 2015(2015) 12, no 2, 1 – 66, <https://doi.org/10.4314/ajtcam.v12i2.1>, 2-s2.0-84937436804.
7. Attallah N. G. M., Negm W. A., Elekhawy E., Altwaijry N., Elmongy E. I., El-Masry T. A., Alturki E. A., Yousef D. A., et Shoukheba M. Y., Activité antibactérienne de *Boswellia sacra* flueck. Extrait d'oléorésine contre *Porphyromonas gingivalis* pathogène paraguayen, *Antibiotiques*. (2021) 10, 859, <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070859>.
8. AUGÉ A, 1989. La culture in vitro et ses applications horticoles. Ed Lavoisier Tec et Doc. J.B Baillière. 225 pages.
9. Aujourd'hui/CETIM, Genève, 21 cm.
10. Banno N, Akihisa T, Yasukawa K, Tokuda H, Tabata K, Nakamura Y, Nishimura R, Kimura Y, Suzuki T: Anti-inflammatory activities of the triterpene acids from the resin of *Boswellia carteri*. *J Ethnopharmacol*. 2006, 107: 249-253. 10.1016/j.jep.2006.03.006.
11. Becer E., Kabadayi H., Baser K. H. C., et Vatansever H. S., *Boswellia sacra* essential oil emploie la prolifération des cellules souches du côlon, la prolifération et l'apoptose: une nouvelle perspective pour le traitement, *Journal of Essential Oil Research*. 2020(2020) 53-62, <https://doi.org/10.1080/10412905.2020.1839586>.

Références bibliographiques

12. Benettayeb, Z. E. (2003). Performance du greffage des arbres fruitiers. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU).
13. Bhojwani, S. S., & Razdan, M. K. (1986). Plant Tissue Culture: Theory and Practice. Elsevier
14. Biotech Articles. (2017). Plant tissue culture: Techniques, applications, advantages and disadvantages. Retrieved June 3, 2025, from [URL]
15. *Boswellia serrata* - Propagation and uses - A Review Anuj Soni* and N.K.Bohra***Junior Research Fellow, ** Scientist Arid Forest Research Institute, Jodhpur, Rajasthan, India
Mémoire bordj .
16. Bot Gaz, 73. P 376_390
17. Bouguedoura, N. (1979). Le palmier dattier: développement morphogénétique des appareils végétatif et reproducteur.
18. Boullard B. (2001), « Plantes médicinales du monde réalités et croyances ». Paris : Editions ESTEM.
19. Boutherin D. Et BRENG., (1989). Multiplication des plantes horticoles. Technique et Documentation lavoisier, Paris, XVI.
20. Campeau-Péloquin, A., Roy, S., & Chabot, G. (2019). Totipotence et culture cellulaire végétale. Le monde en images. Centre collégial de développement de matériel didactique (CCDMD).
21. Cassells, A. C. (1987). Contamination in tissue culture: sources, biology, and control. *In vitro Cellular & Developmental Biology*, 23(1).
22. Chandrasekhar, T., Hussain, T. M., & Jayananda, B. (2005). In vitro micropropagation of *Boswellia ovalifoliolata*. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 60(7-8).
23. CHIKAMAI B. N., MBIRU S. S., CASADEI E., eds, 2000 –Report of the meeting of the Network for Natural Gums and Resins in Africa (NGARA) (Nairobi, Kenya, 29th-31st May 2000). Rome/Nairobi, Kefri/FAO/Aidgum.
24. Cocking, E. C., et al. (1971). Regeneration of whole plants from isolated protoplasts of *Nicotiana tabacum*. *Nature*, 233(5312), 592-594.
25. Collet, G. F., et Lê, L. C. (1988). Micropropagation de porte-greffes de pommier et de poirier.
26. Coppens J.J.W. (1995), « Olibanum (frankincense), myrrh and opoponax resins and oils ». *Flavours and Fragrances of Plant Origin, Non-Wood Forest Products*, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations ; Rome, 1.
27. Demarly, Y., et Sibi, M. (1996). Amélioration des plantes et biotechnologie. Ed. John Libbey Eurotext. Paris.

Références bibliographiques

28. Di Stefano V., Schillaci D., Cusimano M. G., Rishan M., et Rashan L., In vitro, activité antimicrobienne in vitro des huiles d'encens de *Boswellia sacra* cultivées dans différents endroits de la région de Dhofar (Oman), *Antibiotiques*. (2020) 99, no 4, 195, <https://doi.org/10.3390/antibiotics9040195>.
29. [Distribution Boswellia sacra in Dhofar Mountains, Sultanate of Oman: Economic Value and Environmental Role Mohsin Musalim Hassan Alaamri](#)
30. Distribution Boswellia sacra in Dhofar Mountains, Sultanate of Oman: Economic Value and Environmental Role.
31. distribution, production, opportunities for dryland development and research needs, *SINET Ethiop. J. Sci.* (2004) 63–72. <https://doi.org/10.4314/sinet.v26i1.18201>.
32. Ducreux, G. (2002). Introduction à la botanique. Paris: BELIN.
33. Dupin., (2007). Biologie tout-en-un BCPST 2e année. Dunod, Paris, le édition.
34. Egertsdotter, U., Arnold, S.V. (1998). Development of somatic embryos in Norway spruce. *Journal of Experimental Botany*, 49(319).
35. El Hamouni, E.M., Lamarti, A., Badoc, A. (1999). La régénération in vitro du fraisier
36. El-Nagerabi S. A. F., Elchafie A. E., AlKhanjari S. S., Al-Bahry S. N., et Elamine M. R., Activités biologiques de *Boswellia sacra* extraits sur la croissance et la sécrétion d'aflatoxines de deux espèces aflatoxigènes d'*Aspergillus*, *Food Control*. (2013) 34, no 2, 763769763-769 <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.06.039>, 2-s2.0-84880437533.
37. [Étude répétée de doses orales de 28 JAJ sur Boswellia sacra oleo aereo oxygine pour toxicité testiculaire chez le rat](#)
38. FARAH A. Y., 1994 – The milk of the Boswelliaforests. Frankincense production among the pastoral Somali. Uppsala, Uppsala University.
39. Flavours and Fragrances of Plant Origin, Non-Wood Forest Products, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations ; Rome 1.
40. *Fragaria Ananassaduch*. Bull .soc.Pharm.Bordeaux.vol. 138.
41. Frankincense--therapeutic properties Postepy Hig. Med. Dosw.(2016)
42. Gamborg O.L., Murashige T., Thorpe T.A., Vasil I.K., (1976). Plant tissue culture media. In *Vitro*, 12.
43. Gautheret, R. J. (1959). La culture des tissus végétaux. Masson et Cie HELLER R., ESNAULT R., LANCE C., 1995 Physiologie végétale.
44. George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G.-J. (2008). *Plant Propagation by Tissue Culture: Volume 1. The Background* (3rd ed.). Springer.
45. GÖTTSCHE E., 1986 – Traditional aromatic and per-fume plants in Central Ethiopia. *Journal of Ethiopian Studies*, 19 : 81-90.

Références bibliographiques

46. GROOM N., 1981 – Frankincense and Myrrh. A study of the Arabian incense trade. London/New York, Longman/Librairie du Liban.
47. Guha, S., & Maheswari, S. C. (1966). In vitro culture of anthers and its application to the production of haploid plants in *Datura*. *Nature*, 211(5050), 95-96.
48. HABERLANDT C ., 1902. Culturversuche mit isolierten.
49. Hamdani, F. Z. (2001). Régénération via l'organogénèse ou l'embryogénèse somatique chez le *Scorpiurus*. Mémoire de master en biologie végétale. Université Hassiba ben bouali, chlef.
50. HELOIR MC., 1999. Micropropagation de la vigne et maîtrise de la fertilité. *Progrès Agricoles et Viticoles* 116.
51. Hepper, F. N. *Illustrated Encyclopedia of Bible Plants*; Inter Varsity Press: Leicester, Nottingham, UK, 1992.
52. Herrera-Estrella, L., et al. (1983). Expression of foreign genes in *Agrobacterium*-transformed plants. *Nature*, 303(5911), 209-213.
53. Herrmann A., König S., Lechtenberg M., Sehlbach M., Vakhrushev S.Y., Peter-Katalinic J., Hensel A. (2012), « Proteoglycans from *Boswellia serrata* Roxb. and *B. carteri* Birdw. and identification of a proteolytic plant basic secretory protein ». *Glycobiology*; 22(11) : 1424-39
54. Herrmann A., Lechtenberg M., Hensel A. (2007), « Comparative isolation and structural investigations of polysaccharides from *Boswellia serrata* ROXB. and *Boswellia carterii* BIRDW». *Planta Medica* ; 73 : 815
55. Hobbelink H., (1988). *La Biotechnologie et l'agriculteur du Tiers Monde*. Ed. Equilibre-
56. Huang L., Murashige T., (1977). Plant tissue culture media: major constituents; their
57. hulin M., Warfa A.M. (1987), « The frankincense trees (*Boswellia* spp., *Burseraceae*) of northern Somalia and southern Arabia ». *Kew. Bulletin*; 42(3) : 487-500
58. II: Enracinement in vitro de *Pyrus malus* L. (M25, 26, 27, MM106, M9 type Jork) et de *Cydonia oblonga* Mill. (A). *Revue suisse de viticulture, arboriculture, horticulture*, 20(2).
59. Iserin P, Masson M, Restillini J.P. (2001), « Larousse des plantes médicinales identification, préparation, soins ». Paris, Larousse
60. Langenheim J.H. (2004), « Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology, and Ethnobotany ». *Annales of Botany* ; 93(6) : 784–785
61. Larpent-Gourgand, M., & Sanglier, J.-J. (1992). *Biotechnologies : Principes et méthodes*. Éditions Doin.
62. Lê C L., Thomas D., Nowbuth L., (2002). Conservation des pommes de terre in vitro et caractérisation des variétés cultivées en suisse. *Suisse Agric* 34(3).

Références bibliographiques

63. Lee H. Y., Yun M. Y., et Kang S. M., Effet anti-inflammatoire de *Boswellia sacra* (Frankincense) huile essentielle dans un modèle murin d'asthme allergique, *Korean Journal of Microbiology and Biotechnology*. 200860, 36, 343 – 352352.
64. Lindsey, K., & Jones, D. (1989). In vitro culture methods for plant propagation and genetic variation. In: Plant Tissue Culture, A Practical Approach (Eds. J.H. Dodds & J.C. Thomas), IRL
65. M. Lemenih, D. Teketay, Review Article: Frankincense and myrrh resources of Ethiopia: I distribution, production, opportunities for dryland development and research needs, *SINET Ethiop. J.Sci.* 26 (2004) 63–72. <https://doi.org/10.4314/sinet.v26i1.18201>.
66. M. Lemenih, D. Teketay, Review Article: Frankincense and myrrh resources of Ethiopia: I distribution, production, opportunities for dryland development and research needs, *SINET Ethiop. J. Sci.* 26 (2004) 63–72. <https://doi.org/10.4314/sinet.v26i1.18201>.
67. M. Lemenih, D. Teketay, Review Article: Frankincense and myrrh resources of Ethiopia: I
68. Majeed M. (1996), « Boswellin-The anti-inflammatory phytonutrient ». Nutriscience Publishers, Inc.
69. Maloney GA: Gold, frankincense, and myrrh : an introduction to Eastern Christian spirituality. 1997, New York: Crossroads Pub. Co
70. MARGARA J., 1989. Base de la multiplication végétatives .Les méristèmes et l'organogenèse. Institut National de la recherche Agronomique.
71. Margara, J. (1989). Bases de la multiplication végétative : les méristèmes et l'organogenèse. Paris : Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), 262 p.
72. Miller, A. G.; Morris, M. Plants of Dhofar: the southern region of Oman, traditional, economic and medicinal uses; The Office of the Advisor for Conservation of the Environment, Diwan of Royal Court: Oman, 1988.
73. Murashige T., (1977). Manipulation of organ culture in plant tissue cultures. *Botanical Bull*
74. Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3).
75. Mzouri K., Amssa M., Bouiamrine E.H., (2000). Embryogenèse somatique à partir d'embryons immature de blé tendre. Effet génotypique. *Afr Crop Sci J*, 2 (9).
76. Naikawadi, V. B., Devikar, S. D., Naik, A. A., Barvkar,
77. Namkoong, G. (1988). Sampling for germplasm collections. *HortScience (USA)*.
78. Ni X., Suhail M. M., Yang Q., Cao A., Fung K. M., Poste R. G., Woolley C., Jeune G., J. zhang, et Lin H. K., l'huile essentielle d'encens préparée à partir de l'hydrodistillation des résines de gomme *Boswellia sacrans* induit la mort des cellules cancéreuses du pancréas chez l'homme et dans un modèle murin xénotransplanté, *BMC Complementary and Alternative*

Références bibliographiques

- Medicine*. 2012(2012) 12, 253, <https://doi.org/10.1186/1472-6882-12-253>, 2-s2.0-84870882544.
79. Nozeran R, Bancilhon L., 1972. Les cultures in vitro en tant que technique pour l'approche de problèmes posés pour l'amélioration des plantes In Ann. Amélioration Plantes 22(2). pp 167-185
80. oppens J.J.W. (1995), Flavours and fragrances of plant origin. Rome, FAO.
81. oppens J.J.W. (1995), « Olibanum (frankincense), myrrh and opoponax resins and oils ».
82. Peycru, P., J.-C. Baehr, F. Cariou, D. Grandperrin, C. Perrier, J.-F. Fogelgesang & J.-M.
83. Peycru P., Bechr J. C., Carion F., Crand perrin D. & Perrier C., (2007). Biologie. Ed. Dunod. Paris.
84. Pierik, R. L. M. (1997). In vitro Culture of Higher Plants. Springer.
85. Plan Zenzellen silzungsber. Akad. Wiss. Math. Nat. Class, 111. Pages 69-92.
86. preparation and some applications. Tissue Culture Assoc Manual, 3.
87. Press.
88. Rahmati-Joneidabad M. et Alizadeh Behahani B., *Boswellia sacra* essential oil: antioxidant activity and antifonggal effect on some beffeffeage to « Pourriture de la fraise », *Iranian Journal of Food Science and Technology*. (2021) 18, no 114, <https://doi.org/10.52547/fsct.18.114.25>.
89. Rajnchapel, J. (1987). La pomme de terre fait peau New. In Biofuture, Decembre.
90. Rshan L., Blanc A., Haulet M., Favelint N., Das P., et Edwin Cock I., Composition chimique, activité antibactérienne et potentialisation des antibiotiques *Boswellia sacra* fluc. *Extraits d'oléorésine de la région du dhofar d'Oman, de médecine complémentaire et alternative fondée sur des données probantes*. (2021) 2021, 23, 9918935, <https://doi.org/10.115/21/2021/9918935>.
91. Rhizogénèse des microboutures de l'olivier (*Olea europea* L., var. Chemlal)." Sciences & Technologie. A, Sciences Exactes, (14).
92. ROBBINS W.J, 1922. Cultivation of excised root tips and stem tip under sterile conditions
93. Ronchi, V. N. (1990). Organogenesis and embryogenesis: Genetic and physiological approaches. In I International Symposium on In Vitro Culture and Horticultural Breeding 280 (pp. 2-10)
94. Ronchi, V. N. (1995). Mitosis and meiosis in cultured plant cells and their relationship to variant cell types arising in culture. In International review of cytology (Vol. 158, pp. 65-140). Academic Press.

Références bibliographiques

95. Rout G.R., Samantaray S., Das P, (2000). In vitro manipulation and propagation of medicinal plants. *Biotech Adv*, 18.
96. Rudiger A.L, Siani A.C, Veiga Junior V.F. (2007), « The Chemistry and Pharmacology of the South America genus *Protium* Burm. F. (Burseraceae) ». *Pharmacognosy Reviews*; 1(1) : 93-538 M. M. Suhail, W. Wu, A. Cao et al., “*Boswellia sacra* essential oil induces tumor cell-specific apoptosis and suppresses tumor aggressiveness in cultured human breast cancer cells,” *BMC Complementary and Alternative Medicine*, vol. 11, Article ID 129, 2011.
97. Rudiger A.L., Siani A.C., Veiga Junior V.F. (2007), « The Chemistry and Pharmacology of the South America genus *Protium* Burm. F. (Burseraceae) ». *Pharmacognosy Reviews* ;1(1): 93
98. Rudiger, 2007 Effect of dispersion method on tribological properties of carbon nanotube reinforced epoxy resin composites.
99. Rugkhla, A., et Jones, M. G. K. (1998). Somatic embryogenesis and plantlet formation in *Santalum album* and *S. spicatum*. *Journal of experimental botany*, 49(320), 563-571
100. Sarup P., Bala S., and Kamboj S. (2015), « Pharmacology and Phytochemistry of Oleo-Gum Resin of *Commiphora wightii* (Guggulu) ». *Scientifica* ; Article ID 138039, 14 pages
101. Senane, G. (2019). Aptitude à la callogénèse de dix lignées haploïdes doublées de l’orge (*Hordeum vulgare* L.) à deux rangs. Mémoire de master en Biologie et Ecologie Végétale. Université des Frères Mentouri, Constantine.
102. Shahr, T. A. M. A. A., & Sivamani, S. (2024). *Boswellia Sacra : A Short Review on Botany, Phytochemistry and Medicinal Benefits*. <https://doi.org/10.35629/5252-0611470474>
103. SIBI, M. (1981). Hérité de variants pi géniques obtenus par culture des tissus in vitro chez les végétaux supérieurs. Thèse Doct ès Sci; Univ Paris RSud, Orsay.
104. Skoog, F., & Miller, C. O. (1957). Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissues cultured in vitro. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 11, 118–130.
105. Smith, R. H., Bhaskaran, S., et Miller, F. R. (1985). Screening for drought tolerance in sorghum using cell culture. *In Vitro Cellular amp; Developmental Biology*, 21(10).
106. Suhail M. M., Wu W., Cao A., Mondalek F. G., Fung K. M., Shih P. T., Fang Y. T., Woolley C., Jeune G., et Lin H. K., *Boswellia sacra* essential oil induit l'apoptose spécifique des cellules tumorales et supprime l'agressivité tumorale dans les cellules de cancer du sein humaine en culture, *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2011(2011) 11, 129, <https://doi.org/10.1186/2-0-83455213613>.
107. Thorpe, T.A. (2007). History of plant tissue culture. *Molecular Biotechnology*, 37(2), 169–180

Références bibliographiques

108. Thulin M. et Warfa A. M., The frankincense trees (*Boswellia* spp., *Burseraceae*) du nord de la Somalie et du sud de l'Arabie, *Kew Bulletin* 42198742, no 3, 487 – 500, <https://doi.org/10.2307/4110063>.
109. Tisserat, B. (1981). Date palm tissue culture: Advances in Agricultural Technology, ATT-W-17, United States Department of Agriculture Agricultural Research Service.
110. Tolera, M., Sass-Klaassen, U., Eshete, A., Bongers, F., & Sterck, F. J. (2013). Frankincense tree recruitment failed over the past half century. *Forest Ecology and Management*, 304, 65–72.
111. V. T., Shirke, H. A., & Nikam, T. D. (2025). Somatic embryogenesis and micropropagation of *Boswellia serrata* Roxb: A rare medicinal tropical tree species. *Discover Plants*, 1(1).
112. Wang J. J., Soleil H. R., Suo X. Y., Xue Wang W., Soleil H., Wang X. L., J. Jiang J. D., et Ji T. F., Dix diterpénoïdes de type cembrane non décrit à partir de la résine de gomme de *Boswellia sacra* et de leurs activités biologiques, *Phytochimie*. (2020) 177, 112425, <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112425>.
113. Wangui, K. N. (2022). In vitro propagation of *Boswellia sacra* under controlled laboratory conditions (Master's thesis). University of Nairobi.
114. Xia D., Lou W., Fung K.-M., Wolley C. L., Suhail M. M., et Lin H.-K., Cancer chemopréventive effects of *Boswellia sacra* ginkgosin hydrosistillates on invasive urothelial carcinoma: report of a case, *Integrative Cancer Therogeniceding*. 2017(2017) 16, no 4, 605 – 611611, <https://doi.org/10.1177/153454664174>, 2-s2.0-85030439123.
115. Yakoub-Bougdal, S., Semadi, A., Hamlat, M., Louerguioui, A., & Bonaly, J. (2000).
116. Zryd J. P., (1988). Culture des cellules, des tissus et organes végétaux. Ed. Presse, Paris.
117. ZRYD J.P. GAZEAU M., DERREUDRE J., MONNIE, R, 1988. Culture de cellules, tissus et organes végétaux: fondements théoriques et utilisation pratiques. Presses Polytechniques. Romande.

Résumé

Les plantes médicinales font partie intégrante de la santé et du bien-être humains depuis des siècles, car elles constituent des sources d'agents thérapeutiques et de composés biologiquement actifs.

L'encens (*Boswellia sacra*) est une plante herbacée vivace et a un port rampant. est connu pour ses propriétés anti-inflammatoires, antifongiques et antiseptiques elle a des bienfaits Dans le domaine médicinal.

Dans cette étude en fin les valuations de la réponse de trois espèces de *Boswellia* (*B. sacra*, *B. serrata* et *B. ovalifoliolata*) à la culture *in vitro*. Les résultats montrent que *B. sacra* est récalcitrante à la formation d'organes, mais produit efficacement des cals et des Embryons somatiques, Bien que les pousses présentent de l'hyperhydricité. *B. serrata* a une forte capacité à former des embryons somatiques et à les convertir en plantules viables avec un bon taux de survie *in vitro*. *B. ovalifoliolata* répond bien à la micropropagation, Avec une bonne prolifération, un enracinement efficace et une amélioration morphologique grâce aux antioxydants. Ainsi, *B. serrata* et *B. ovalifoliolata* sont plus adaptés à la multiplication *in vitro*, tandis que *B. sacra* nécessite des ajustements spécifiques.

Mots Clés: plantes médicinales, *Boswellia sacra*, *Boswellia serrata*, *Boswellia ovalifoliolata*, la culture *in vitro*, Embryons somatiques, cal.

المخلص:

تُعد النباتات الطبية جزءًا لا يتجزأ من صحة الإنسان ورفاهيته منذ قرون، إذ تُشكل مصدرًا للعوامل العلاجية والمركبات النشطة بيولوجيًا. يُعتبر اللبان (*Boswellia sacra*) نباتًا عشبيًا معمرًا وراحمًا، ويُعرف بخصائصه المضادة للالتهابات، والمضادة للفطريات، والمطهرة، وله فوائد عديدة في المجال الطبي.

في هذه الدراسة، تم تقييم استجابة ثلاث أنواع من نبات *Boswellia* (*B. sacra*، *B. serrata*، و *B. ovalifoliolata*) للزراعة داخل الأوساط المختبرية. أظهرت النتائج أن *B. sacra* يُظهر مقاومة لتكوين الأعضاء، لكنه يُنتج بكفاءة كلاً من الكالس والأجنة الجنينية، رغم أن النمو يُظهر أعراض فرط التميّه. أما *B. serrata*، فيتمتع بقدرة عالية على تكوين الأجنة الجنينية وتحويلها إلى شتلات قابلة للحياة مع معدل بقاء جيد خارج بيئة المختبر. في حين أن *B. ovalifoliolata* يستجيب بشكل جيد للإكثار الدقيق، حيث يُظهر تكاثرًا جيدًا، وتكوين جذور فعال، وتحسنًا شكليًا بفضل مضادات الأكسدة.

وعليه، فإن *B. serrata* و *B. ovalifoliolata* أكثر ملاءمة للإكثار داخل المختبر، بينما يتطلب *B. sacra* تعديلات محددة. **الكلمات المفتاحية:** النباتات الطبية، *Boswellia sacra*، *Boswellia serrata*، *Boswellia ovalifoliolata*، الزراعة داخل المختبر، الأجنة الجنينية، الكالس.

Abstract:

Medicinal plants have been an integral part of human health and well-being for centuries, as they are sources of therapeutic agents and biologically active compounds.

Frankincense (*Boswellia sacra*) is a perennial herbaceous plant with a creeping habit. It is known for its anti-inflammatory, antifungal, and antiseptic properties, offering various benefits in the medicinal field.

In this study, the response of three *Boswellia* species (*B. sacra*, *B. serrata*, and *B. ovalifoliolata*) to *in vitro* culture was evaluated. The results show that *B. sacra* is recalcitrant to organ formation but efficiently produces callus and somatic embryos, although the shoots exhibit hyperhydricity. *B. serrata* shows a strong ability to form somatic embryos and convert them into viable plantlets with good *ex vitro* survival rates. *B. ovalifoliolata* responds well to micropropagation, with good proliferation, effective rooting, and morphological improvement thanks to antioxidants.

Thus, *B. serrata* and *B. ovalifoliolata* are more suitable for *in vitro* multiplication, while *B. sacra* requires specific adjustments.

Keywords: medicinal plants, *Boswellia sacra*, *Boswellia serrata*, *Boswellia ovalifoliolata*, *in vitro* culture, somatic embryos, callus.