



- Banque Nationale de Gènes de Tunisie BNGT

**Projet : Valorisation des espèces végétales autochtones  
Siciliennes et Tunisiennes avec un intérêt nutritif et bon  
pour la santé « ESPAS »**

**Groupe de Tâche 3: Recherches et Analyses pour la Définition de  
Protocoles Scientifiques d'Espèce Végétales autochtones à haute  
valeur Nutraceutique et de Santé dans la zone de coopération**



- Rapport Intermédiaire n°3



# - La Définition des Techniques de Culture Ecologiquement Durables.

**Pr. M'barek Ben Naceur (BNGT)**  
**Dr. Awatef Rhimi (BNGT)**  
**Dr. Neila Jellouli (BNGT)**  
**MSc. Sonia Hjaoujia (BNGT)**  
**MSc. Mohsen Trabelssi (Pépinière Forestière de Borj El-Amri)**

Banque Nationale de Gènes de Tunisie BNGT  
Boulevard du Leader Yasser Arafat, 1080 Charguia 1, Tunis  
Tél 1: 0021671771756  
Tél 2: 0021671771678  
Fax: 0021671771827  
Mail: [bng@bng.nat.tn](mailto:bng@bng.nat.tn)  
Site



Valorisation des espèces végétales  
autochtones SICILIENNES & TUNISIENNES  
avec un intérêt nutritif et bon pour la santé

Web: <http://www.bng.na.tn>

Subdivision Forestière de Borj El Amri -Commissariat Régional du Développement Agricole

Borj Amri, 1142 - MANOUBA  
Tél : 0021671 542 235  
Mail: [trabelsimohsen.DGF@gmail.com](mailto:trabelsimohsen.DGF@gmail.com)



Valorisation des espèces végétales  
autochtones SICILIENNES & TUNISIENNES  
avec un intérêt nutritif et bon pour la santé



## R 3.4. La définition des techniques de culture écologiquement durables

- **Activité 3.4.1.** Application des techniques écologiquement durables pour la culture du *Capparis spinosa susp. inermis*
- **Activité 3.4.2.** Création du Report intermédiaires sur la définition de cultures techniques écologiquement durables

## - Sommaire

- 
- **Introduction générale**
- 
- **Matériels et méthodes**
- 
- A. Cadre de réalisation des essais et des mesures
- 
- B. Matériels utilisés
  - I. Espèce végétale étudiée : présentation du *Capparis spinosa* subsp, *inermis* l.
    - 1. Biologie de la plante
    - 2. Répartition géographique du *Capparis spinosa* l.
    - 3. Ecologie du *Capparis spinosa* l.
    - 4. Conduite de la culture
    - 5. Techniques de la culture
      - a. Travail du sol
      - b. Fertilisation
      - c. Plantation
      - d. Irrigation
      - e. Taille
      - f. Association
      - g. Contrôle sanitaire
      - h. Productivité
      - i. La récolte
    - 6. Usages et bienfaits du câprier
      - a. Valeurs nutritives de la câpre
      - b. Usage médicinale
      - c. Usage cosmétique
      - d. Usage ornemental
      - e. Aspect économique
    - 7. Problématiques du câprier tunisien
  - II. Matériel végétal utilisé
  - III. Substrats de culture étudiés
    - 1. Introduction
    - 2. Substrats de culture étudiés
      - a. Le biochar
      - b. Le compost vert
      - c. Le champi-compost
      - d. La tourbe
- 
- C. Méthodologie de culture écologiquement durable
-

1. Matériel végétal
2. Substrats de culture utilisés
3. Analyse des propriétés physicochimiques des substrats
  - a- Indice de porosité
  - b- Mesure de la capacité de rétention d'eau des substrats (cre)  
Protocole expérimental
  - c- Densité apparente des échantillons (da)
  - d- Mesure de ph
4. Analyse de la composition minérale des substrats
5. Préparation des substrats de culture
6. Modes de culture
7. Conditions de culture et de croissance des plants
8. Analyse des résultats
- 
- **Résultats**

#### I. Analyse des substrats

1. Analyse des propriétés physicochimiques des substrats
  - a- Masse d'humidité (%)
  - b- Indice de porosité (% ip)
  - c- Capacité de rétention d'eau des substrats (cre)
  - d- Densité apparente des substrats
  - e- Mesure de ph
2. Analyse de la composition en éléments minéraux
  - f- Azote minéral (n)
  - g- Phosphore disponible (p)
  - h- Autres éléments (k, na, mg et ca)
3. Irrigation

#### II. Analyse des plantes

1. Suivi des cultures et survie des plants
2. Efficacité des substrats testés sur les rendements des cultures
  - a. Paramètres quantitatifs
  - b. Paramètres qualitatifs
3. Effets des substrats éco-durables sur la nutrition minérale du câprier
  - c. Azote (n)
  - d. Phosphore (p)
  - e. Potassium (k)
  - f. Calcium (ca)
  - g. Magnésium (mg)
- 
- **Conclusions générales**



## - Introduction Générale

La multiplication uniforme des espèces autochtones d'intérêt nutraceutique et de santé par des techniques agricoles écologiquement durable vise la conservation de la biodiversité et de l'environnement, l'amélioration des performances agronomiques, la réduction de la consommation d'eau et d'utilisation des pesticides et l'obtention de substrats de culture issus de ressources naturelles renouvelables.

La tourbe est le composant majeur des substrats utilisés pour la production végétale en hors sol en raison de ses propriétés physiques appropriées (faible densité apparente, porosité et capacité de rétention d'eau élevées) et de sa capacité d'échange cationique élevée (CEC). La tourbe est extraite des zones humides, écosystèmes très fragiles avec une grande valeur écologique.

L'utilisation croissante de la tourbe en horticulture a entraîné un épuisement rapide des zones humides, déterminant la perte d'une ressource non renouvelable. Par conséquent, les préoccupations environnementales ont été accrues afin de réduire l'extraction et l'utilisation de la tourbe et d'obtenir des substituts durables comme substrat en pot. Les alternatives durables à la tourbe doivent satisfaire aux exigences techniques spécifiques et être facilement disponibles en quantités suffisantes à un coût raisonnable. Plusieurs études visant à trouver des alternatives adéquates à la tourbe ont été récemment menées. L'intérêt récent et croissant pour le recyclage des déchets se traduit par une plus grande utilisation des déchets organiques et des composts comme amendement de sol agricole. Certains substrats organiques (déchets verts, Poussière de coco, boues d'épuration, etc.) ont été testés, seuls ou en mélange avec des matériaux inertes pour les cultures en pots comme substituant à la tourbe. Certaines de ces matières organiques ont des propriétés physiques et chimiques supérieures ou similaires à celles de la tourbe en raison de leur plus grande disponibilité en nutriments, de leur teneur en eau et de leur porosité optimale.

Ce rapport mène une étude sur la possibilité de substituer ou compléter la tourbe par d'autres substrats qui se présentent comme alternatives. Parmi ces substrats, le Biochar une substance similaire au charbon de bois produite par pyrolyse de matières organiques provenant de déchets forestiers ou agricoles, le champi-compost ainsi que le compost vert provenant de résidus d'olivier. Le câprier a été choisi comme cultures à réaliser sur ces substrats. *Capparis spinosa* L. appartient à la famille des Capparidacées, groupant plus que 350 espèces. C'est une espèce spontanée, semi-ligneuse qui se développe comme un arbrisseau buissonnant. Le câprier

est connu par ses nombreuses vertus alimentaires, cosmétiques, médicinales,... La plante possède des composants actifs qui valorisent son rôle dans divers activités pharmacologique anti-inflammatoire, anti-microbienne, anti-scorbutique, anti-tumorale, diurétique,....

## Problématique

La tourbe est un substrat commun utilisé pour la culture de plantes en pot. Cependant, son utilisation en horticulture a récemment été remise en question du point de vue environnemental, puisqu'il s'agit d'une ressource non renouvelable et qu'elle joue un rôle majeur dans la séquestration du CO2 atmosphérique.

## Objectifs

Le but de ce travail était d'évaluer les potentialités des substrats issus de matières organiques pour substituer partiellement ou totalement la tourbe à la culture. Par conséquent, nous avons planifié une expérience pour évaluer l'effet de ces substrats sur le rendement et la composition en molécules bioactives des plantes de *Capparis spinosa* subsp. *Inermis* L..

# - MATÉRIELS ET MÉTHODES

## - Matériels et Méthodes

### A. Cadre de réalisation des essais et des mesures

- Toutes les expériences et les protocoles expérimentaux ont été réalisés au sein du laboratoire de culture de tissus et des Plantes Médicinales et Aromatiques et Plantes Forestières et Pastorales (Lab- CIV et PAM-PFP) de la Banque Nationale de Gènes de Tunisie et de la Pépinière Forestière de Borj El Amri - Mannouba. Le matériel végétal ainsi que le matériel expérimental sont également fournis par les mêmes organismes.

### B. Matériels utilisés

#### I. Espèce végétale étudiée : Présentation du *Capparis spinosa* subsp, *inermis* L.

##### 8. Biologie de la plante

Le câprier (*Capparis spinosa* L. ssp *inermis*) est une espèce diploïde, vivace, spontanée sous forme arbrisseau buissonnant, xérophyte, héliophile, semi-ligneux et hémicryptophyte (Fig. 1) . Il est caractérisé par de nombreux rejets érigés, généralement ramifiés dès la base, à ramifications ligneuses et persistantes dans sa partie inférieure, herbacées dans sa partie supérieures. Le buisson peut occuper une superficie de 1 à 1.5m de diamètre. Les feuilles sont opposées, entières et persistantes, généralement de forme ovale à arrondie avec une grande variabilité. Les fleurs sont un peu irrégulières avec 4 pétales, 4 sépales et un nombre variable d'étamines. Elles sont hermaphrodites. Les fleurs du câprier s'épanouissent en fin d'après-midi et se flétrisse durant la matinée suivante c'est une plante allogame à pollinisation entomophile. Le fruit du câprier est une baie déhiscence de 2 à 4cm de long, de forme ovoïde et d'une couleur verte à rougeâtres

##### 9. Répartition géographique du *Capparis spinosa* L.

En Tunisie, le câprier occupe une vaste aire de répartition géographique qui s'étend du Nord au Sud, bien que les principales populations se localisent au Nord. Il caractérise cinq bioclimats différents (humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien). L'espèce est présentée sur les chaînes et des massifs montagneux, sur des blocs rocheux, des murs en ruines et des sols dégradés et accidentés, caractérisées par des conditions environnementales diverses, reflétant des adaptations, essentiellement morphologiques.

## 10. Ecologie du *Capparis spinosa* L.

Le câprier est une plante xérophyte qui présente des caractéristiques morphologiques et physiologiques lui permettant de tolérer les conditions climatiques des zones arides et semi arides mais il apprécie bien les pluies printanières. Le câprier pousse spontanément dans les régions chaudes et les terrains secs, sur un sol calcaire et légèrement argileux. Il peut s'accroître sur des sols les plus ingrats et se développe dans les fissures et les crevasses des rochers et des murs en pierre. Le pH du sol est de 7,5 à 8. L'espèce joue un rôle socio-économique capital dans plusieurs régions semi-aride et aride. Il pousse dans l'étage bioclimatique semi-aride. Le cycle végétatif de la plante exige un climat sec et chaud avec une température moyenne annuelle est de l'ordre de 13°C et la pluviosité est supérieure à 200 mm. La résistance de la plante au froid hivernal semble être bonne. En générale, le câprier pousse à des altitudes d'environ 1.000m, par exemple en Italie les cultures se font à des altitudes atteignant 500 m environ.

En Tunisie, le câprier se développe dans les sols les plus défavorisés, jouant un rôle socio-économique capital. La câpriculture offre l'avantage d'être peu exigeant en eau, en investissement et aussi d'être tolérant aux conditions édaphiques les plus sévères (température extrêmes, vents forts, sol pauvres, manque d'eau, etc.).

## 11. Conduite de la culture

Le câprier peut se multiplier par semis, bouturage et par la technique de la culture in vitro. Aucun cas de multiplication végétative naturelle n'a été observé dans tous les sites prospectés et à travers les différentes conditions.

La propagation de cette plante par des plantations commerciales s'est considérablement développée à l'étranger en raison des abondantes récoltes de câpres.

En Tunisie, il est possible de multiplier le câprier aussi bien par semis que par bouturage et culture in vitro. En raison du faible taux de germination des semences du câprier à cause de la dormance embryonnaire et des inhibitions tégumentaires (graines dures) et des spécificités techniques de la culture in vitro, c'est la technique de bouturage qui est la plus appliquée pour la multiplication du câprier. Des essais de multiplication herbacée et de micropropagation du câprier ont été abordés dont le but d'améliorer les pourcentages d'enracinement et de reprise afin d'augmenter le taux de production de câprier.

## 12. Techniques de la culture

### e. Travail du sol

L'utilité des labours superficiels est indispensable dans la culture du câprier. Ordinairement, on pratique 4 ou 5 interventions à 15 cm de profondeur au maximum. Il est possible de se limiter à 2 ou 3 labours ou d'en effectuer au contraire de 8 à 10. Il est possible également d'utiliser du désherbant chimique. A cet effet, les principes actifs habituellement utilisés à Pantelleria sont le paraquat et la simazine. En tout état de cause, dans les plantations adultes, la végétation tend à couvrir une bonne partie de la superficie du terrain dès le printemps, réduisant ainsi la surface éventuellement susceptible d'être labourée.

### f. Fertilisation

Les quantités d'engrais à apporter qui sont généralement composés de sulfate d'ammonium (50 à 250kg/ha), de sulfate de potassium (50 à 250kg/ha) et de superphosphate (25 à 50 kg/ha) sont estimées en fonction de l'âge de la population.

#### Calendrier des travaux

Type de travaux	Janvi	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septem	Octo	Novem	Décem
Travail du sol												
Fertilisation												
Bouturage												
Plantation												
Taille												
Contrôle sanitaire												
Irrigation												
Récolte												

### g. Plantation

La plantation s'effectue pendant les mois d'hiver, au cours de la période de repos végétatif. A Pantelleria, elle se fait habituellement en janvier. Aux îles Eoliennes entre février et mars. En Espagne entre la fin du mois de février et le début du mois de mars dans les régions intérieures et plus dans les zones côtières, si l'état du sol le permet. Vu les caractéristiques héliophiles marquées de la plante, il importe de lui assurer un maximum d'insolation. Le terrain doit être préparé de façon appropriée par un défoncement à profondeur moyenne, le

système racinaire peut ainsi s'étendre plus aisément et par une fumure de base de l'ensemble de la superficie. Une pratique commune aux différentes zones de culture consiste à abaisser le niveau supérieur du trou de semis d'environ 10 à 15 cm par rapport au niveau du sol pour protéger les jeunes plantes du vent (dans les îles siciliennes) et permettre, lorsque c'est possible, l'application d'un système d'irrigation. Dans la mise en place des jeunes plantes, il convient de veiller en particulier à ne pas endommager le fragile système racinaire. C'est exclusivement dans la première année suivant la plantation que l'espèce s'avère particulièrement sensible à l'état hydrique du sol. En cas de carence, ou d'absence d'irrigation, on peut faciliter la vie de la jeune plante par des labours superficiels fréquents. En Espagne, certains préconisent, notamment pour protéger les plantes contre le froid, de les recouvrir de terre après la plantation et après la première taille. Les plantes les plus aptes à la plantation sont ceux qui ont un an d'âge. En Espagne, certains agriculteurs sèment directement en mars et en avril. Ils posent de 8 à 10 graines pré-germées à une profondeur entre 2 et 4 cm, irriguent ensuite et protègent la surface du sol avec du matériel plastique maintenu au-dessus de la surface du sol. Lorsque les plantes ont de 6 à 8 feuilles, ils procèdent à l'éclaircissage. Quant à la distance de plantation dans la culture spécialisée, elle diffère selon les zones de production.

#### **h. Irrigation**

L'irrigation goutte à goutte est un système fréquemment utilisé.

#### **i. Taille**

Pour que le câprier soit productif, il est essentiel de procéder à une taille rationnelle annuelle. La plante produit des branches annuelles et le volume de la production dépend notamment du nombre des branches produites. La taille est pratiquée à la fin de l'hiver (pendant l'arrêt de la croissance végétative) après la récolte et consiste à réduire la taille des rameaux à des éperons de 0.5 à 1 cm de long.

#### **j. Association**

Le câprier est souvent associé à la vigne, à l'olivier ou à l'amandier. La plantation associée se fait en alternance le long de la même rangée, en rangées alternées ou au pied des arbres.

#### **k. Contrôle sanitaire**

Le câprier peut être attaqué par certains insectes nuisibles tel que *Cicida capparidina* et *Acalles barbuis* Lucas. Un traitement ponctuel par des insecticides (Decis EC 25

(25mg.m.a/l)) ou par des moyens agronomiques (élimination des parties touchées) a donné satisfaction.

### **I. Productivité**

Le câprier commence à produire dans l'année suivant la plantation ou l'année suivante. La plante atteint sa pleine productivité à partir de la quatrième année. Le rendement de la première année est de l'ordre de 0.6 kg/plant, au cours de la deuxième année 1.3 kg/plant et à partir de la 4<sup>ème</sup> année il peut atteindre 4-5 kg/plant. La longévité du câprier est de 30 à 40 ans. Le rendement varie en fonction de divers facteurs. D'après des expériences acquises, une irrigation hivernale adéquate et une température estivale élevée permet de doubler ou même de tripler la production.

### **m. La récolte**

La récolte correspond à la période Avril-Octobre. La cueillette dure cinq à sept mois. Elle débute au petit jour et doit s'arrêter vers 10 heures. Elle est reprendre après 17 heures. Dans une câprière cultivée, il est estimé qu'un individu peut récolter entre 5 et 10 kg/jour.

### **13. Usages et bienfaits du câprier**

Le câprier est l'une des rares espèces arbustives qui présente autant de qualités avec de nombreux usages.

### **f. Valeurs nutritives de la câpre**

Les câpres sont très bénéfiques pour notre santé. On trouve ainsi dans les câpres un très grand nombre d'éléments nutritionnels indispensables au bon fonctionnement de l'organisme. Ainsi, consommer des câpres permet de donner au corps les apports journaliers recommandés en magnésium, calcium, potassium, vitamine (A, B et C), flavonoïdes, énergie, protéines, lipides, glucides, fibres, ...

### **g. Usage médicinale**

En pharmacopée traditionnelle, le câprier est connu par ses nombreuses vertus médicinales : anti-inflammatoire, anti-microbienne, anti-scorbutique, Antitumorale, Diurétique,... La plante possède des composants actifs qui valorisent son rôle dans divers activités pharmacologique dont les plus importants sont les flavonoïdes (effet anti-inflammatoire et antioxydant). Le câprier à une action synergique de la vitamine C, riche en rutinoside et en fer. Il est souvent préconisé contre les maladies rhumati-smales, le traitement des infections gastro-intestinales et pour l'hydropisie, l'anémie, l'arthrite et la goutte. Les bourgeons floraux sont aussi utilisés dans les traitements des douleurs d'estomac. La saveur

piquante des câpres ouvre l'appétit et aide à la digestion. L'écorce des racines récoltée à la fin de l'été est utilisée en poudre, sous la forme d'infusions, de décoction (1,5 g dans 100 ml d'eau) et de teintures huileuses (10 g macéré pendant 10 jours dans 100 ml d'huile d'olive). Elle a une fonction diurétique, astringentes, emménagogues et stimule les fonctions hépatiques.

Les câpres sont connues non seulement pour leurs fonctions digestives, apéritives et antirhumatismales, mais encore, pour leur emploi en dermatologie. Elles sont utilisées pour soigner des blessures ou des abcès ou pour rendre la peau lisse mêlées à de l'huile d'olive, ou à du lait ou du miel, ou encore à des graisses animales.

Chez la câpre, les principes actifs découverts sont :

- La rutine (dont le pourcentage dans les boutons floraux frais se situe entre 0,28 et 0,32 %) et la quercétine : ces sont des flavonoïdes ayant une action analogue à la vitamine P, efficaces dans les syndromes caractéristiques des lésions anatomiques et fonctionnelles des formations vasculo-conjonctives.
- Les pectines : qui ont un effet hydratant et protecteur.
- La glycocapparine : c'est un glucoside qui libère des groupes de thiols qui ont une action rubéfiante et antirhumatismeale.
- Les phytohormones et les vitamines : Les expériences réalisées par Molin sur des extraits glycoliques ou des extraits hydralcooliques ont montré que les phytohormones sont efficaces pour l'acné, les infections, les inflammations, les peaux psorisiaques, erythrosiques ou couprosées, et pour les troubles de la pigmentation. Les vitamines peuvent être utilisées en trichologie pour lutter contre la séborrhée et pour renforcer les cheveux fragiles.
- Les flavonoïdes
- ...

#### **h. Usage cosmétique**

Les boutons floraux de câpre et les feuilles mêlés à l'huile ou au lait sont utilisés pour lisser la peau. Les extraits de racines sont utilisés pour le traitement des plaques rouges et la faiblesse capillaire. Les différents extraits de câpre sont additionnés dans plusieurs produits à usage cosmétique.

#### **i. Usage ornemental**

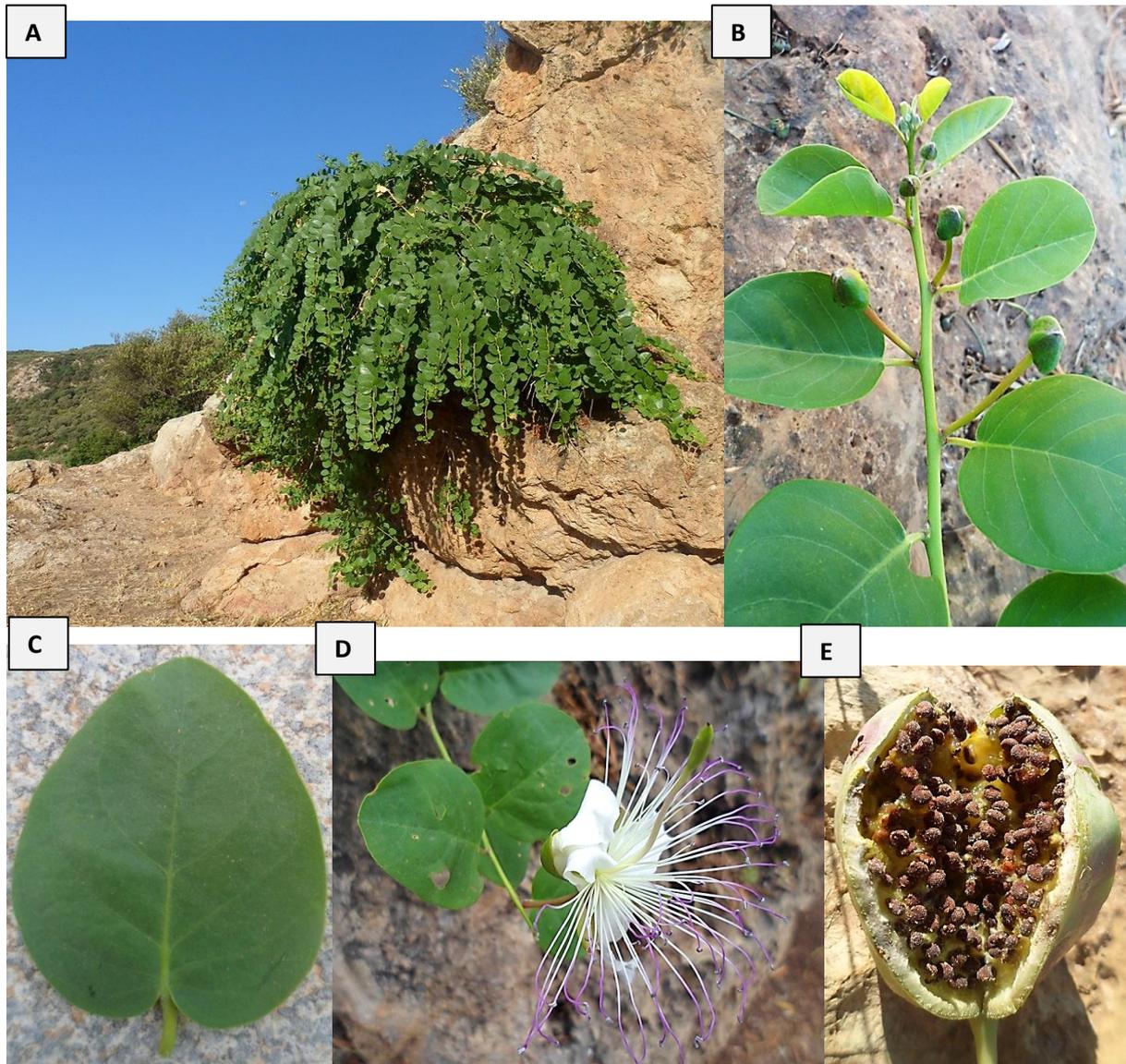
La fleur du câprier est très voyante et parfumée. La plante ne présente aucun signe de stress, même dans les climats très secs, et en l'absence d'irrigation. On peut donc l'utiliser surtout pour les Jardins rocheux et pour la formation de bordures ou de tapis de fleurs.

#### **j. Aspect économique**

En Tunisie, les zones du câprier sont très sporadiques et occupent une superficie totale de 226 ha (RESSOURCES NATURELLES ET GESTION DES ECOSYSTEMES, 2020). Selon les services forestiers, Ces zones sont considérées en état d'exploitation. La production de câpres est de 300 t. environ. Elle provient des plants spontanés, dans les zones de collines situées au nord et au Nord-Ouest de Tunis. La câpre est commercialisée sous diverses formes, fraîche, déshydratée et conservée de différentes façons. L'augmentation croissante de la demande du marché, consisterait à préserver les plants spontanés et à créer des plantations artificielles. La culture de l'espèce constitue le meilleur moyen pour répondre aux besoins du marché et pour la lutte contre les menaces des espèces locales.

#### **14. Problématiques du Câprier tunisien**

Le câprier tunisien souffre du surpâturage de l'espèce (pousse dans des zones de parcours très dégradés), des incendies, des défrichements, des changements climatiques au plus s'ajoutent les attaques de phytophages, de virus et de ravageurs. Toutes ces formes de dégradation ont affaibli la majorité des zones et menace leur pérennité



**Figure 1:** A- Individu de *Capparis spinosa subsp. inermis* L.  
B- Rameau ; C- Feuille ; D- Fleur ; E- Fruit et graines

#### IV. Matériel végétal utilisé

Des plantes de *Capparis spinosa subsp. inermis* L. âgées de 4 mois obtenues par bouturage in vivo (Activité 3.3.1 du projet ESPAS).

#### V. Substrats de culture étudiés

##### 3. Introduction

Dans la culture hors-sol, la terre est remplacée par un substrat, qui protège les racines tout en véhiculant les apports nutritifs nécessaires à leur développement. Il en existe de nombreuses sortes : la perlite, la laine de roche, les billes d'argile, les fibres de coco, les matières d'origine volcaniques...

L'eau utilisée pour arroser les plantes est chargée en minéraux fertilisants et en oligo-éléments, pour remplacer le rôle des nutriments présents dans la terre.

Classification des substrats : Elle est basée sur l'origine du matériaux. On trouve donc:

- Substrat organique: correspond à tout éléments du vivant contenant en majorité du carbone et de se fait, se consomants. On trouve dans cette catégorie une majorité de substrat naturel mais certain ayant subit un traitement.
- Substrats organiques naturels : Les Tourbes, Terre dite de Bruyère, Terre de feuille et terreau de couche, Fibre de coco, Ecorces, Sapinette/ Sapinette mousse.
- Substrat organique transformé. La transformation vise à rendre le produit stable, Fibres de bois.
- Substrat minéral: On entend par minéral tout éléments contenant qu'une infime de carbone et de se fait, ne se consume pas.
- Substrat minéraux naturels : Sable et graviers, Argiles dures, Pouzzolane
- Substrat minéraux traités : Argiles expansées, Perlite, Vermiculite, Laines minérales.
- Substrat synthétique: Le substrat synthétique provient de la chimie moderne, il est entièrement synthétisé par l'homme : Polystyrène expansé, Mousse de polyuréthane.

Propriétés physiques :

- Porosité : elle s'exprime en %; elle correspond au volume des vides exprimé en % du volume total. Exemple: perlite, 96% de porosité.
- Rétention en eau : Poids ou volume d'eau retenu pour 100 cm<sup>3</sup> de substrat. Le substrat retient un certain volume d'eau, cependant celui-ci n'est pas pour autant totalement disponible pour la plante.
- Ré humectation: Le temps nécessaire pour un substrat totalement sec, à pouvoir d nouveau se remplir d'eau jusqu'à saturation.
- Stabilité : Propriété du substrat à ne pas se dégrader ni se décomposer.

Propriété chimiques.

- pH : Le pH exprime la concentration en ions H<sup>+</sup> en solution dans le substrat. (pour les plantes calcifuges (Azalée, Bruyère), le pH est entrede 4 et 4.5).
- Conductivité : La conductivité électrique exprime la concentration totale des sels dans la solution du substrat, elle est exprimée en milli siemens (ms).
- Capacité d'échange cationique: Elle exprime la capacité d'échange des cations. Elle est exprimée en milliéquivalent (még).

#### 4. Substrats de culture étudiés

Quatre types de substrats ont été choisis à savoir : le Biochar, le Compost vert, le Champi-compost et la Tourbe.

##### a. Le Biochar

Le biochar est un charbon d'origine végétale obtenu par pyrolyse de biomasse des matières organiques d'origine diverse. Il a été utilisé pour pouvoir transformer les sols pauvres et infertiles en sols fertiles. Plusieurs travaux de recherche sur le biochar revisitent ses origines et son utilisation en passant par ses impacts sur l'amélioration de la fertilité des sols confrontés à une forte dégradation.

Les avantages du biochar sont :

- Améliore le pH du sol à faible coût
- Augmente la capacité de rétention des éléments minéraux et la disponibilité du phosphore dans le sol.
- Stimule la vie microbienne du sol
- Améliore la porosité et participe à l'épuration du sol et de l'eau

##### b. Le Compost vert

Le compostage est un processus naturel et biologique de transformation des déchets végétales telles que les branches, les tailles des arbres, .... Il fertilise et allège la terre et permet aussi de réduire les déchets de cuisine, des jardins, .....

Le compost apporte de l'azote, du potassium et du phosphore qui nourrissent les végétaux et de la matière organique qui améliore l'activité biologique et la structure du sol. Le composte représente :

- Une source d'humus contenant des engrais.
- Allège les terres argileuses ;
- Crée une structure du sol plus propice à retenir l'eau et les substances nutritives ;
- Empêche l'érosion du sol par l'eau et le vent ;
- Evite une acidification rapide des sols ;
- Sa structure fine peut être utilisée comme terreaux de semis.

##### c. Le Champi-compost

Le compost de champignons est un produit dérivé de la culture de champignons contenant des matières animales et végétales, c'est un mélange de fumier de poulet, de gypse, de tourbe, de paille de blé et de déchets de champignon, il est à 100% de matières organiques. Il est hygiénisé pendant 12 heures à une température de 65°C au minimum. Il est exempt de mauvaises herbes et de pathogènes.

Le champi-compost présente plusieurs avantages à savoir :

- Amélioration de la structure et de la texture du sol (aération du sol) ;

- Améliorer la capacité des racines à absorber les nutriments et l'oxygène;
- Améliorer la rétention de l'eau et diminuer le risque de déshydratation. Le champi-compost conserve jusqu'à 70 pourcent de son propre poids en eau. Il permet d'utiliser moins d'eau dans les mois de printemps ou d'été secs.

Il est consue et idéal pour les arbustes, les arbres, les pelouses et les jardins.

#### d. La tourbe

La tourbe est d'origine organique tant utilisée comme substrat de plantation en agriculture en raison de ses excellentes propriétés physiques, chimiques et biologiques propices pour la croissance des plantes. Elle est une ressource non renouvelable et en cours de détérioration à cause d'une surexploitation, causant des pertes surtout au niveau des zones humides où elle se forme. Pour ceci, la recherche d'un autre substrat ayant des propriétés proches, voire meilleures s'avère essentiel afin de limiter l'épuisement de cette ressource.

## C. Méthodologie de culture écologiquement durable

La méthodologie de culture écologiquement durable du câprier permet de définir des protocoles efficaces et de réduire les coûts de production et l'impact environnemental. Des plantes de câprier issues de la multiplication *in vivo* sont cultivées *in hors sol*. Les plantes *in hors sol* sont cultivées en pot, en testant des substrats alternatifs à la tourbe provenant des sous-produits du secteur agronomique. Des régimes d'irrigation réduits sont également utilisés pour limiter la consommation et la dispersion de l'eau. Les cultures sont menées sans utilisation de pesticides ni de produits de défenses naturels. Pour chaque traitement, la croissance des plantes, la production de biomasse végétale et la consommation de l'eau sont évalués.

### 9. Matériel végétal

Dans notre travail, nous avons utilisé, des plantes âgées de 4 mois issues de multiplication « *in vivo* » par bouturage (Activité 3.3.1-ESPAS). Les plantes sont transférées en pots en utilisant des substrats d'origine organique, des régimes d'irrigation et nutritionnels réduits et sans produits naturels ni synthétiques pour leur défense contre les agents nuisibles.

## 10. Substrats de culture utilisés

Quatre types de substrats ont été testés (Fig.2) à savoir :

- S1 : Biochar
- S2 : Compost vert
- S3 : Champi-compost
- S4 : Tourbe comme témoin



**Figure 2** : Substrats de culture utilisés

## 11. Analyse des propriétés physicochimiques des substrats

Dans la présente étude, quatre types de substrats ont été étudiés pour leurs caractéristiques chimiques et physiques. Il s'agit des substrats organiques tels que la tourbe, le Biochar, le Compost vert et le Champi-compost. Les principales caractéristiques physiques qui ont été analysées sont la porosité, la masse volumique apparente et la capacité de rétention. Pour les caractéristiques chimiques effectuées concernent principalement la mesure du pH.

Les mélanges substrats-Tourbe, seront ensuite soumis à une série d'expériences afin de déterminer les propriétés qui peuvent nous renseigner lors de la plantation, l'arrosage ainsi que le suivi des cultures.

### e- Indice de porosité

La porosité du sol a été calculée par la formule :

$$P = (1 - \text{densité apparente} / \text{densité réelle}) * 100$$

ou

$$P = \frac{D - D'}{D} \times 100$$

P : est la porosité, D : la densité réelle, D' : la densité apparente.

La densité réelle d'un corps s'exprime par le rapport entre la masse d'un certain volume de ce corps et la masse du même volume d'eau (dans des conditions identiques de température et de pression). Il s'agit d'une propriété propre à chaque matériau : elle ne peut être modifiée, par exemple en adaptant les conditions de fabrication.

#### f- Mesure de la capacité de rétention d'eau des substrats (CRE)

La tourbe est réputée par sa forte capacité de rétention d'eau grâce à sa porosité. Le but de cette expérience est de tester la CRE des divers substrats et d'en déduire celui ou ceux qui peuvent simuler le mieux la CRE de la tourbe, voire détenir une valeur meilleure.

##### Protocole expérimental

5 grammes de chaque mélange réalisé sont pesés à l'aide d'une balance puis sont placés dans un entonnoir bordé de papier filtre. Les entonnoirs sont mis sur un support placé dans une cuvette remplie d'eau pendant 48h jusqu'à ce que les échantillons soient complètement engorgés d'eau (Fig. 3). Après les 48h, une deuxième pesée est réalisée pour obtenir la masse humide des échantillons, ces derniers sont placés par suite pour s'égoutter, couverts et isolés afin d'éviter l'évaporation pendant 48h. Une fois égouttés, les échantillons sont placés dans l'étuve pour un séchage pendant 48h à 100°C (Fig. 3). Enfin, une dernière pesée est réalisée et la capacité de rétention d'eau est déduite selon la formule :

$$\frac{\text{Masse égouttée (g)} - \text{Masse sèche (g)}}{\text{Masse sèche (g)}}$$

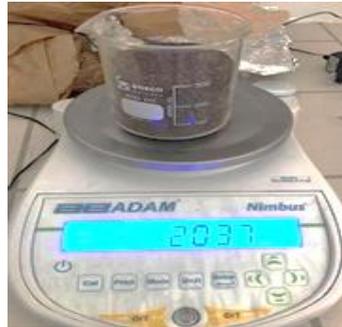


**Figure 3:** Détermination de la capacité de rétention d'eau (CRE) des substrats

#### g- Densité apparente des échantillons (DA)

La densité apparente d'un sol est le quotient de la masse qui occupe un volume précis. Un béccher de 300 millilitres est rempli de chaque type de substrat puis pesé (Fig. 4). La DA est calculée selon la relation :

$Da = P/V$ , où P est le poids sec de l'échantillon, V est le volume de l'échantillon prélevé et séché.



**Figure 4** : Détermination de la densité apparente (DA) des échantillons

#### h- Mesure de pH

Le pH de chaque mélange de substrat est mesuré à partir d'une suspension de sol. 50 ml d'eau distillée sont ajoutées à 20 g de chaque substrat. La suspension est laissée au repos pendant 2 heures. À l'aide d'un pH-mètre étalonné avec une solution tampon (neutre) les valeurs de pH sont mesurées.

#### 12. Analyse de la composition minérale des substrats

Les teneurs en macro, microéléments et en métaux lourds ont été déterminés pour les 4 substrats (Biochar, Champi-compost, Compost-vert et la Tourbe). Les éléments minéraux analysés sont les suivants et les méthodes d'analyse des substrats utilisées sont figurées dans le tableau ci-dessous (Tableau 2)

**Tableau 2** : Méthodes d'analyse des substrats

Essais	Méthodes	Références
Calcium, Magnésium, Sodium, Potassium, Phosphore	Minéralisation	PAS 02
	Emission atomique-ICP	ISO 11885 (2007)
Mercure	Minéralisation	PAS 02
	Spectrométrie d'émission atomique	EPA méthode 7374
Bore, Magnésium, Zinc, Molybdène, Cuivre, Fer, Plomb, Cadmium	Minéralisation	PAS 02
	Emission atomique-ICP	ISO 11885 (2007)

Azote total	Méthode de Kjeldahl modifiée	NF ISO 11261 (1995)
Chlorures	Chromatographie ionique	-

### 13. Préparation des substrats de culture

Les trois substrats sélectionnés (Biochar (S1), Compost vert (S2), Champi-compost (S3)) sont additionnés avec de la tourbe (S4). Des mélanges ont été réalisés pour chaque substrat en suivant les proportions de 0%, 25%, 50%, 75% et 100% (Tableau 3) (Fig. 5).

**Tableau 3:** Pourcentage des mélanges des substrats-tourbe

Pourcentage de substrat (%)	Pourcentage de tourbe (%)
0	100
25	75
50	50
75	25
100	0



**Figure 5 :** Préparation des substrats de culture

### 14. Modes de culture

Des plantes âgées de 4 mois obtenues par bouturage in vivo (Activité 3.3.1-ESPAS) de *Capparis spinosa subsp. inermis*, ont été soigneusement prélevés de leur substrat et transplantées dans des pots en polyéthylène remplis de différentes combinaisons de substrats mélangés à de la tourbe commerciale. La tourbe a également été utilisée comme témoin.

Après la transplantation, les plantes en pot ont été déplacées vers une serre ouverte avec un filet d'ombrage à 70% et rangé à une hauteur de 30 cm du sol (Figure 6).

L'eau était fournie tous les 3 à 4 jours/semaine du mois de juillet à octobre et tous les 2 à 3 jours/semaine de novembre à février, afin de maintenir un substrat à humidité constante (50% de la capacité de rétention d'eau)

### 15. Conditions de culture et de croissance des plants

L'étude a été réalisée du Juillet 2021 à Janvier 2022 à la pépinière forestière de Borj El Amri (Mannouba, Tunisie), sous une serre ouverte avec un filet d'ombrage à 70 % et rangé dans des bacs en béton surélevés à une hauteur de 30 cm. Au début de l'étude, des plants de câprier âgés de quatre mois ont été transplantés dans des pots en polyéthylène d'un diamètre de 18 cm et d'un volume de 5 L, remplis des différents substrats



Figure 6 : Plantes en pot placées sous serre ouverte avec un filet d'ombrage

## D. Analyse des résultats

-

- La pertinence du Biochar, du Compost vert et du Champi-composte comme substrats de culture durable pour la culture en pots du câprier a été évaluée. Une étude comparative a été effectuée après cinq mois de culture des plants par des analyses biométrique et de la composition minérale de câprier cultivées dans ces substrats alternatifs et la tourbe commerciale.

-

Projet cofinancé  
par l'Union Européenne

- 
-

# - RÉSULTATS

## I. Analyse des substrats

### 4. Analyse des propriétés physicochimiques des substrats

Le Biochar (S1), le Compost vert (S2), le Champi-compost (S3) et la tourbe (S4) ont été analysés pour leurs caractéristiques chimiques et physiques.

#### a- Masse d'humidité (%)

La masse d'humidité des substrats variait de 6 à 15,8% (Tableau 1). Le compost-vert présente la valeur la plus faible 6%. Aucune différence significative n'a été trouvée entre la tourbe et le champi-compost. Les résultats ont montré que l'utilisation de champi-compost en combinaison avec la tourbe améliorerait remarquablement la masse de l'humidité par rapport au 100% du témoin (T) utilisée (Fig. 1). Cela peut s'expliquer par le fait que le champi-compost apporte à la tourbe une matière organique plus ou moins stabilisée qui influence positivement la régulation hydrique [8] et d'autre part la structure poreuse du champi-compost qui permet la rétention d'eau [9].

#### b- Indice de porosité (% Ip)

L'indice de porosité varie entre 1.84 et 6.11% pour tous les substrats testés. Par rapport au témoin (1.35%) ce paramètre a été amélioré positivement.

En présence de 75% de Biochar, l'indice de porosité atteint la valeur la plus élevée (3.09%) suivie de 2.84% pour 50%. Pour 25% et 100%, IP ne montre pas de différence significative avec le témoin. Contrairement, le champi-compost (75%) donne l'indice de porosité le plus faible par comparaison avec les autres substrats. Pour les autres combinaisons du champi-compost, l'indice de porosité ne montre pas de différence significative ( $P > 0,05$ ).

Le Compost-Vert donne l'indice de porosité le plus élevée (6.11%) en absence de tourbe. L'analyse des résultats des différentes combinaisons testés montre que ce paramètre est inversement proportionnel au pourcentage de la tourbe dans le substrat testé et augmente avec la proportion de Compost-vert dans le mélange (Compost-vert -tourbe). Le mélange 25% de compost-vert montre l'IP la plus proche de la tourbe

#### c- Capacité de rétention d'eau des substrats (CRE)

Pour les différents substrats testés, la capacité de rétention d'eau varie entre (1,27 et 3.6 g d'eau g<sup>-1</sup> masse sèche). La CRE la plus élevée est enregistrée chez la tourbe et 100% champi-compost (3.6 g d'eau g<sup>-1</sup> MS). La tourbe est réputée par sa forte capacité de rétention

d'eau grâce à sa porosité. Le champi-composte est le seul substrat qui montre une CRE importante seul ou combiné avec la tourbe. Pour les autres combinaisons les valeurs de CRE ne montrent pas de différences significatives. L'utilisation de champi-compost comme substrat de culture substituant de la tourbe a induit une amélioration de la capacité de rétention en eau grâce à sa nature poreuse. 75% de tourbe a amélioré la CRE du Biochar à 2.09 g d'eau g<sup>-1</sup> MS. La CRE du Compost-vert varie entre 1.49 et 3.05 g d'eau g<sup>-1</sup> MS, dont la meilleure est obtenue chez la combinaison 25%.

#### **d- Densité apparente des substrats**

Pour les substrats de culture et de croissance, testés avaient une densité apparente (DA) varie entre 0.164 et 0.680 kg m<sup>-3</sup>. Pour la champi-compost, la DA varie entre (0.16 et 0.20 kg m<sup>-3</sup>), elle ne montre pas de différence significatif avec la tourbe (0.15 kg m<sup>-3</sup>). Le Compost vert 100% a montré la DA la plus élevée (0.43 kg m<sup>-3</sup>) ce ci indique l'entassement de ce substrat. Suivie de 0.3 kg m<sup>-3</sup> obtenue avec 75% du même substrat par contre les combinaisons 25% et 50% ne montrent pas de différence significative avec le témoin (tourbe) pour ce paramètre. Chez le Biochar, la DA du 25% ne montre pas de différence significative avec la tourbe et elle de 0.19 kg m<sup>-3</sup>. Tandis que pour les autres combinaisons, la DA augmente avec la diminution des doses de tourbe dans le mélange et elle est de 0.25 et 0.3 kg m<sup>-3</sup> respectivement pour 50% et 75%.

#### **e- Mesure de pH**

Les sols calcaires sont en général basiques, alors que les sols sableux ou très riches en matière organique (humus) sont plutôt acides. La plus part des plantes s'accoutument d'un pH autour de la neutralité. Les valeurs de pH mesurés pour les différents substrats sont neutres et n'ont pas montré de différence significative entre eux (tableau 1). Les valeurs obtenues varient entre (5.9 et 7.4). Ces valeurs de pH avoisinent celles d'une culture ordinaire sur sol et sont globalement adaptées pour établir la culture de câpre et de l'origan.

### **5. Analyse de la composition en éléments minéraux**

A partir des substrats, les plantes puisent les éléments minéraux nécessaires à leur bonne croissance et développement. La tourbe et le sol sont des ressources naturelles limitées qui sont destructibles, lentement formées et rapidement détruites. La fertilité des substrats est un facteur important en agronomie. Elle est déterminée par la teneur en macro et microéléments (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, Co, Mo, B, Se, Si, Na, Cl,...) et la faible teneur

(voir l'absence) des métaux lourds (Cu, Zn, Ni, Pb, Al, Cr..). La biodisponibilité des macroéléments et des microéléments, ainsi que des métaux lourds, des quatre substrats de culture (Biochar, Champicomposte, composte vert et la tourbe) a été déterminée au début de l'essai. L'azote total (N) a été déterminé par la méthode Kjeldahl (39) et le phosphore disponible par la méthode Olsen [40]. Le Fer, le Manganèse, le Molybdène, le Bore, le Calcium, le Magnésium, le Sodium, le Potassium, le \*Phosphores, le Chlorure, le Cuivre, le Zinc, le Cadmium, le Plomb et le Mercure ont été déterminés par Minéralisation, Emission atomique-ICP et Spectrométrie d'émission atomique.

### **i-Azote minéral (N)**

La concentration d'azote (N) dans les substrats variait de 3,14 à 22,6 g/Kg MS. Le substrat S1 (Biochar) présente la valeur de N la plus faible 3.14 g/kg MS, alors qu'aucune différence significative n'a été trouvée parmi les autres substrats. Le Champi-composte S3 a la teneur en azote la plus élevée (22,6 g/Kg MS) par rapport au témoin (9.12 g/kg), suivie du compost vert.

### **j-Phosphore disponible (P)**

Le Biochar et le Compost Vert représentent la teneur en phosphore ( $P < 0,001$ ) la plus élevée 4.05 et 3.19 g/Kg MS, suivi du Champi-compost par rapport au témoin (0.4 g/Kg MS)

### **k- Autres éléments (K, Na, Mg et Ca)**

Le Biochar montre la teneur en potassium (K) la plus élevée 20.4 g/kg MS. Aucune différence significative entre les autres substrats et le témoin Tourbe n'a été noté.

Le Na était plus élevé (1,64 mg / Kg MS) dans le Biochar et plus faible (0.14 mg / Kg MS) dans la tourbe.

Nous pouvons ainsi déduire que les métaux alcalins (K, Na) et alcalino-terreux (Mg, Ca) sont les espèces minérales dominantes dans les combinaisons de Biochar étudiés, le calcium étant l'élément le plus abondant dans le Biochar. Ce résultat est comparable à celui obtenu par Suliman et al. [6] et Shing et al. [35] lors de leurs études

## **6. Irrigation**

La capacité de rétention d'eau et l'indice de porosité permettent d'optimiser les régimes d'irrigation. Une rétention en eau plus élevée dans le substrat utilisé a permis de réduire le nombre d'irrigations pour limiter la consommation et la dispersion de l'eau tout en maintenant les cultures.

## II. Analyse des plantes

Sept mois après le repiquage des plantes, des analyses biométrique et minérale ont été réalisées. Cette étude a été suivie par des analyses biochimiques afin de déterminer le rendement et la composition en huiles essentielles, ainsi que la composition en molécules bioactives des feuilles de câprier. Une étude comparative a été effectuée entre les différents substrats étudiés (Biochar, Compost vert, Champi-composte et la tourbe).

### 1. Suivie des cultures et Survie des plants

Sept mois après la culture, les pots ayant survécu ont été dénombrés par rapport au total afin d'en tirer finalement le taux de survie par substrat. Ce taux reflète par conséquent l'adéquation des substrats testés comme substituant de la tourbe pour la culture du câprier.

Pour apprécier et comparer l'effet des substrats de culture sur la survie des plantes misent en culture, nous avons mesuré le pourcentage de survie des plantes et le pourcentage de mortalité par substrat. Ces critères sont évalués par rapport au nombre total de plantes primaires misent en culture.

La tourbe ou l'essai témoin présente un taux de survie de 77.7%, une valeur clairement inférieure à celle observée sur quelques essais ayant 100% comme pourcentage à l'instar de Biochar (25, 50, 75 et 100%), Compost-vert (100%) et Champi-compost (75 et 100%)(Fig.7et8)

Comme observé lors des sept mois post-culture, le substrat compost-vert (75% de compost vert) détient encore le taux de survie le plus faible de 22.3% (Fig. 7 et 8).

Les substrats 100% Biochar, 100% de compost-vert et 100% de champi-compost montrent un pourcentage de 100% de survie, ce qui montre que les trois substrats choisis sont adéquats pour la culture du câprier. Le Biochar, le Compost-vert et le Champi-compost peuvent être utilisés comme substrats alternatifs à la tourbe. Les taux de réussite des plantations sont résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 4:** Taux de survie des plantes de câpre dans les différents substrats

Substrat		Survie de plants (%)	Mortalité de plants (%)
Biochar (S1)	25	100	0
	50	97.33	2.67
	75	100	0
	100	100	0

Compost-vert (S2)	25	55.5	44.5
	50	77.7	22.3
	75	77.7	22.3
	100	100	0
Champi-compost (S3)	25	88	12
	50	77.7	22.3
	75	100	0
	100	100	0
Tourbe (Témoin)	100	77.7	22.3

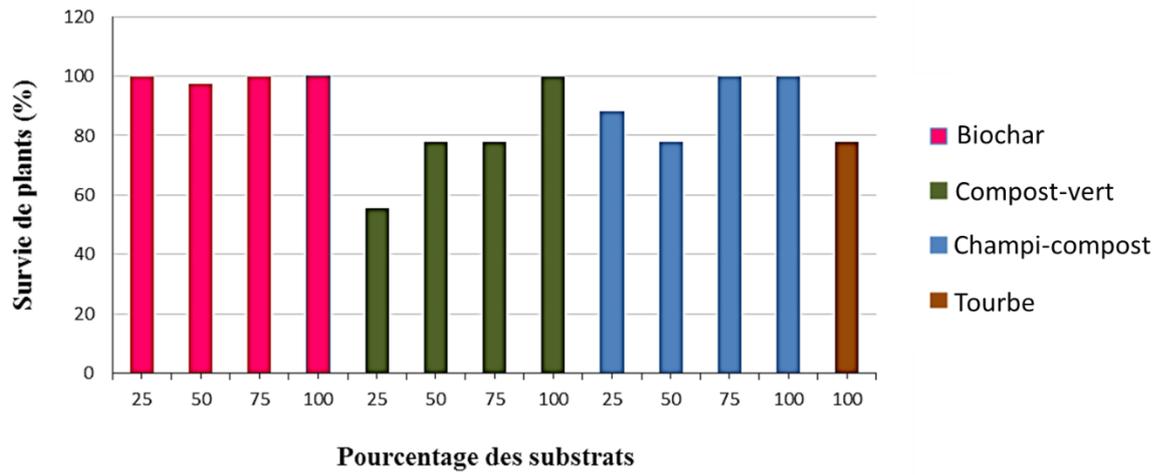


Figure 7 : Pourcentages de survies sur différents substrats





Biochar

Tourbe

Figure 8 : Plantes obtenues sur différents substrats

## 2. Efficacité des substrats testés sur les rendements des cultures

Selon l'incorporation de la tourbe dans les substrats de culture à différentes concentrations, Les paramètres quantitatifs et qualitatifs avant et après la mise en culture sont rapportés dans le Tableau ..... Les paramètres évalués sont :

- Nombre de rameaux : NR
- Nombre moyens des feuilles : NF
- Longueur totale (cm) : LT
- Masse totale fraîche de la plante (mg) : MT
- Longueur partie aérienne (cm) : LPA
- Masse fraîche des tiges (mg) : MFT
- Masse sèche des tiges (mg) : MST
- Masse fraîche de la partie aérienne (mg) : MFPA
- Masse sèche de la partie aérienne (mg) : MFPA
- Longueur de la partie racinaire (cm) : LPR
- Masse fraîche de la partie racinaire (mg) : MFPR
- Masse sèche de la partie racinaire (mg) : MSPR
- Longueur moyenne de la feuille fraîche (cm) : LFF
- Masse fraîche de la feuille (mg) : MFF
- Masse sèche de la feuille (mg) : MSF
- Masse fraîche des feuilles par plante (g)
- Masse sèche des feuilles par plante (g)

### a. Paramètres quantitatifs

D'après le Tableau .., les paramètres biométriques quantitatifs (longueur totale moyenne de la plante (cm), longueur moyenne de la partie aérienne (cm), longueur moyenne de la partie racinaire (cm), nombre moyen de rameaux par plante et le nombre moyen des feuilles par plante et la longueur moyenne de la feuille fraîche (cm)) des plantes cultivées sur les substrats testés sont meilleurs que ceux du témoin, mais ils diffèrent entre eux selon le pourcentage de la tourbe incorporé.

#### ➤ **Le Biochar**

D'après les analyses statistiques, le traitement 25% Biochar est le seul qui ne diffère pas significativement du témoin (tourbe 100%), en termes de croissance (longueur totale moyenne de la plante : 136.1 cm). Les autres traitements ont donnés des plantes plus courtes que celle du témoin Tourbe.

Le nombre moyen de feuilles par plant du traitement 25 % présente la valeur la plus élevée (187.25 feuilles) suivie de 75% (178.75 feuilles). Les plantes cultivées sur 25% de Biochar sont les plus les feuillies.

Pour la longueur moyenne de la partie aérienne la valeur la plus élevée (77.55 cm) est notée sur le traitement 25% Biochar. Tandis que les autres traitements ont présente des plantes dont la partie aérienne plus courte par rapport à celle du témoin.

En ce qui concerne la longueur moyenne des racines, tous les traitements ne montrent pas de différences significatives avec le témoin (66.6 cm) au seuil de 5%, à l'exception du traitement 100% ou la longueur moyenne de la racine est très faibles (25.6 cm).

#### ➤ **Le Compost-Vert**

Les taux de croissance des plantes (longueur totale moyenne de la plante) varient entre 104.7 cm pour le traitement 25 % compost-vert et 141.45 cm pour les plants cultivés dans un substrat constitué uniquement de compost-vert (100%). Le traitement 75% compost-vert (131.7 cm) étant le plus proche du traitement 100% tourbe (témoin). De même, la longueur moyenne de la partie aérienne varie en concordance avec la longueur totale moyenne de la plante.

Le nombre moyen de feuilles par plant est plus élevé dans le traitement 75% Compost-vert (282.75 feuilles), suivi du traitement 25% (209.25 feuilles).

Pour la partie racinaire la plus élevé longueur (76.05) est observé avec un traitement de 50% composte-vert

### ➤ **Le Champi-compost**

Le nombre moyen de feuilles par plant est plus élevé (272.25 feuilles) dans le traitement 75% Champi-compost suivi de celui du traitement 25% champi-compost (256.75 feuilles). Les autres traitements ne montrent de différences significatives avec le témoin (Tourbe). La longueur moyenne de la plante et de la partie aérienne les plus élevés (122 cm et 72.85 cm) sont observées sur 50 % Champi-composte. Il est à signaler que ces dernières ne sont pas significativement différentes du témoin (137.35 cm et 70.75 cm) et que toutes les autres valeurs sont plus faibles du témoin. Les valeurs de la longueur moyenne des racines sont aussi tous inférieurs au témoin.

## **2. Paramètres qualitatifs**

### ➤ **Le Biochar**

La plus élevée masse sèche moyenne de la partie aérienne (41.28g) est obtenu avec le traitement 25% Biochar. La masse sèche moyenne des feuilles varie dans le même sens que la masse sèche moyenne de la partie aérienne. Le poids frais moyen et le poids sec moyen des racines sont plus faibles que la tourbe pour toutes les combinaisons étudiées. En revanche, la meilleure valeur est obtenue avec le pourcentage 25%. L'addition de 25% de Biochar à la tourbe a amélioré nettement les résultats des paramètres quantitatifs et qualitatifs étudiés par rapport au témoin. Tandis que tous les autres combinaisons de Biochar, ne montre pas de différence significative entre eux.

### ➤ **Le Compost-vert**

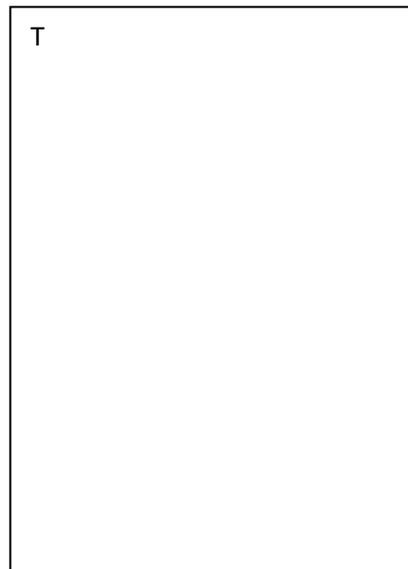
Pour les traitements 50%, 75% et 100% compost-vert, les paramètres qualitatifs et quantitatifs de la partie aérienne montre une nette amélioration par rapport au témoin. Par contre elles ne présentent pas de différences significatives entre eux au seuil de 5%. Les valeurs les plus élevées de la masse fraîche (233.78g) et la masse sèche (36.54g) de la partie aérienne de plante sont notées avec 50% de substrat. De même, la masse fraîche et la masse sèche des feuilles varient en concordance avec la masse fraîche et sèche de la partie aérienne. Le poids sec moyen des racines du traitement 25% se distingue largement des autres traitements avec 13.05 g, suivi du traitement 75% (9.95g). Le poids frais moyen des racines est maximal (35.05g) sur le même traitement (25%).

### ➤ Le Champi-compost

Le traitement 25% champi-compost présente la masse aérienne de plante la plus élevée (396.43g). Il est à signaler que ce dernier diffère aussi significativement de toutes les combinaisons des substrats testés. Par rapport à la tourbe et aux autres traitements, les valeurs les plus faibles sont obtenus avec les pourcentages 100 champi-compost (149.66g) (Tableau 3) (Fig. 9).

En ce qui concerne les poids secs moyens de la partie aérienne de tous les substrats testés, la valeur la plus élevée (71.18g) est notée sur 25% champi-compost.

Pour le Champi-compost, le poids frais moyen et le poids sec moyen des racines, le traitement 75% ne montre pas de différence significative avec le témoin (39,65g et 15.25g). Néanmoins le traitement 25% a donné des valeurs (29.05g et 10.5g) proche de la tourbe.



**Figure 9:** Variation de la dimension de la feuille en fonction du substrat de culture (Biochar, Compost-vert, Champi-compost et la tourbe).

### 3. Effets des substrats éco-durables sur la nutrition minérale du câprier

Sept mois après le repiquage, des analyses de la composition minérale ont été effectuées afin de déterminer le rendement et la composition élémentaire minérale des feuilles de câprier.

#### a. Azote (N)

L'azote est un élément nécessaire à la croissance végétative et générative et au développement des plantes. Une carence en azote entraîne une diminution de la croissance des plantes, un jaunissement des feuilles, une réduction des fruits et une réduction de la résistance des plantes aux maladies. L'excès d'azote provoque une croissance excessive des organes végétatifs des plantes, tandis que la croissance générative diminue, la maturation des fruits est plus lente et la vulnérabilité des plantes aux maladies augmente.

Une amélioration de la teneur d'azote a été observée chez tous les substrats utilisés par rapport au témoin (tourbe).

Les teneurs en éléments minéraux des feuilles de câprier, ont été statistiquement homogènes, dans les différents traitements (Tableau ...). Il s'est produit, au bout de 7 mois, une amélioration des teneurs en azote des feuilles de câprier, qui sont passées de 17.99 g/kgMS dans le témoin à 20.40 g/kgMS, 26.48 g/kgMS et 27.88 g/kgMS dans respectivement 50% de Biochar, 100% champ-compost et 25% Compost vert. Dans le sol la nutrition minérale en azote des feuilles de câprier est de 31.52 g/kgMS.

Cependant, il est à noter que les traitements 100% Biochar et 75% Champi-compost ont donné des résultats qui ne diffèrent pas significativement du traitement témoin (17,99 g/kgMS).

### **b. Phosphore (P)**

Le phosphore est un élément nécessaire à la croissance des organes reproducteurs, à la croissance des plantes, à la prolifération cellulaire, à un meilleur enracinement des plantes, au développement des graines et des fruits et à la maturation des fruits. Une carence en phosphore ralentit la croissance des plantes ainsi que la formation des feuilles et des fleurs. Un excès de phosphore entraîne une croissance réduite des plantes et les feuilles présentent des taches sombres.

Après 7 mois de culture, le transfert des plantes du sol sur la tourbe n'a pas modifié significativement la teneur en phosphore des feuilles de câprier.

Néanmoins, une augmentation nette des teneurs en phosphore des feuilles de câprier est repérée, de 1.91 g/kgMS dans le témoin à 7,33g/kgMS dans 75% Champi-compost, suivi de 5,18 et 6,11g/kgMS dans respectivement 25 % et 50% du même substrat. Les plantes cultivées dans les traitements Biochar sont caractérisées par des teneurs en phosphore qui ne diffèrent pas significativement du témoin (1,91 g/kgMS) et du sol (1,02 g/kgMS).

### **c. Potassium (K)**

Le potassium est important pour le métabolisme des plantes. Il affecte l'absorption et le transport de tous les nutriments et de l'eau, la régulation de la valeur du pH du jus cellulaire, la régulation de la pression osmotique et la croissance des jeunes tissus. Augmente la résistance aux maladies. Une carence en potassium dans les feuilles les plus anciennes de la plante sur les bords provoque des taches chlorotiques et nécrotiques et une torsion des feuilles. Le rapport N/K élevé dans le sol nuit au rendement et à la qualité des fruits.

En ce qui concerne la concentration en potassium foliaires une amélioration de la teneur de potassium a été observée chez tous les substrats utilisés par rapport au témoin (Tr).

Les teneurs les plus élevées sont repérées dans les plantes de câprier cultivés dans le Champi-compost. 49.2 g/kgMS dans 25% et 100% Champi-compost suivies de 41,2 g/kgMS et 37,93 g/kgMS dans 50% et 75% du même substrat. Les plantes cultivées dans les différentes combinaisons du Biochar et du Compost-vert présentent une teneur de potassium proche de celui trouvé dans les feuilles des plantes cultivées en sol (28,56 g/kgMS).

#### **d. Calcium (Ca)**

Le calcium est un élément de grande importance, il affecte la prolifération cellulaire, la croissance et l'élongation des racines, la résistance des plantes aux maladies.

Pour tous les substrats testés, la concentration du calcium dans les feuilles a diminué par rapport aux plantes cultivées dans le sol.

Toutefois, il y a une amélioration de la teneur de calcium par rapport au témoin qui a passé de 20,58 g/kgMS dans le témoin (tourbe) à 27,64 g/kgMS, 25,73 g/kgMS et 25.5 g/kgMS dans respectivement 25% de Biochar, 25% Compost vert et 75% Champi-compost.

La plus faible teneur (11.91g/kg MS) a été observée chez les plantes cultivées sur 100% Biochar. Les autres substrats ne montrent aucune différence significative avec la tourbe (témoin).

#### **e. Magnésium (Mg)**

Le magnésium est un ingrédient important de la chlorophylle et des processus physiologiques des plantes. En l'absence de magnésium, le processus de photosynthèse et de décomposition de la chlorophylle est arrêté.

Les conséquences d'une carence en magnésium peuvent être observées sur les feuilles les plus anciennes des plantes sous forme de chlorose interventionnelle, lorsque les nerfs restent verts et que la surface entre eux devient jaune.



Projet cofinancé  
par l'Union Européenne



# CONCLUSIONS GENERALES

## Conclusions

L'objectif principal de ce travail est la recherche de substrats alternatifs à la tourbe, en raison de la forte utilisation de cette ressource naturelle à des fins agricoles. La collecte et la transformation des déchets, des résidus,... provenant de la matière végétale biodégradable, ainsi que des déchets industriels et ménagers biodégradables permettent de diminuer à réduire la consommation des matières non renouvelables telle que la tourbe. Les résultats de cette étude ont montré que le Compost-vert, le champi-compost et le Biochar peuvent être utilisés comme alternatives à la tourbe pour la culture du câprier. Les plantes du câprier cultivées sur les substrats testés (Compost-vert, le champi-compost et le Biochar) seuls ou combinés avec la tourbe ont montré des améliorations significatives en termes de biomasse, de composition chimique et de composition minérale par rapport à celles cultivées sur la tourbe. En effet, Le Biochar, le Compost-vert et le Champi-compost apportent à la tourbe de la matière organique plus ou moins stabilisée qui influence positivement la régulation hydrique et la structure poreuse qui permettent la rétention d'eau qui ont influencé l'approvisionnement des plantes en nutriments..

Egalement, les trois substrats représentent une source en éléments minéraux. Le champi-compost et le composte vert ont des teneurs d'azotes (N) et de phosphore (P) élevées par rapport à la tourbe. Par contre, le Biochar a la teneur la plus faible en N ce qui est confirmé par les études de Egamberdieva et al. [18] et Les recherches de Laurin-Lanctôt [19]. Les métaux alcalins (K, Na) et alcalino-terreux (Mg, Ca) sont les éléments minéraux dominants dans le Biochar. Ce résultat est comparable à celui obtenu par Suliman et al. [6] et Shing et al. [35]. L'additionné de 75% de tourbe à la Biochar réduit la teneur en métaux alcalins et alcalino-terreux du mélange.

Les macro et micro-éléments, ainsi que les métaux lourds, dans le système plante-substrat subissent plusieurs interactions entre les phases organiques, la solution du sol et la plante. La solution liquide riche en éléments minéraux issus du substrat est absorbée par les racines des plantes puis s'écoulent vers la partie aérienne. Au sein des organes de la plante, certains éléments pourraient s'accumuler en grande quantité, bien qu'ils ne soient pas en concentration adéquate dans les substrats. Aucune corrélation n'a été trouvée entre le même élément déterminé dans les substrats et dans les feuilles de jeunes plantes de câprier.

La concentration différente de macronutriments dans les feuilles de câprier cultivées

sur les différentes combinaisons du Biochar, Compost-vert et de Champi-compost peut être due à la présence de N-minéral dans le Biochar, le Compost-vert et le champi-compost., Dans le champi-compost, les teneurs en élément minéraux (Ca, Mg, N et K et P) augmentent dans les feuilles de câprier comparativement à celle cultivées dans la tourbe après 7 mois de culture. Pour le Biochar, le Compost-vert, la diminution Ca et de P peut-être due à leur forte interaction avec la phase solide et forme divers composés minéraux secondaires avec Ca, Fe, Mn, Al. Le phosphore est facilement adsorbé, pour cette raison il a une très faible mobilité. Ceci explique la concentration faible de P et de Ca dans les feuilles de câprier cultivées sur le Biochar et le Compost-vert. L'utilisation de Biochar ou de Compost-vert peut améliorer la capacité d'échange de cations dans les substrats de culture, ce qui entraîne une réduction du lessivage des nutriments. La nature alcaline du Biochar et de Compost-vert améliore la disponibilité des nutriments [15–17]. En plus le P est un élément prélevé en plus faible quantité par les plantes en comparaison avec l'azote et le potassium, par contre il est d'une extrême importance pour la nutrition des plantes et la production de biomasse.

En terme de Biomasse, l'utilisation du Biochar, du Compost-vert ou de Champi-compost, a montré dans un premier abord que tous les substrats utilisés seuls ou combinés avec de la tourbe ont amélioré les paramètres quantitatifs et surtout qualitatifs de la croissance et de rendement des plantes de câprier à des degrés variables selon la concentration du substrat dans le mélange. Cet effet est dû à l'apport de la matière organique et à l'amélioration des propriétés physico-chimiques du substrat qui ont influencé l'approvisionnement des plantes en nutriments.

Le Biochar, le Compost-vert et le Champi-compost seul ou combiné avec la tourbe peuvent être utilisés comme substrats alternatifs à la tourbe. En termes de paramètres quantitatifs et qualitatifs, L'utilisation de 100% Biochar et 100% Compost-vert donnent des résultats nettement supérieurs au témoin (tourbe). Contrairement, la biomasse est inversement proportionnelle au pourcentage du Champi-compost dans les mélanges testés.