

UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques

Année : 2013-2014



N° d'enregistrement :

/.../.../.../.../

THESE

**Pour l'obtention du diplôme de Doctorat ès sciences
En Agronomie Saharienne**

**INVENTAIRE ET BIOECOLOGIE DES TERFEZ DANS
QUELQUES REGIONS DU SAHARA SEPTENTRIONAL (OUED
M'YA, OUED RIGH ET GHARDAÏA)**

Présentée et soutenue publiquement

Par

M. BRADAI Lyès

Le 25 Juin 2014

Devant le jury composé de :

OULD EL HADJ Mohamed Didi	Professeur	U.K.M. Ouargla	Président
BISSATI-BOUAFIA Samia	Professeur	U.K.M. Ouargla	Promoteur
CHEHMA Abdelmadjid	Professeur	U.K.M. Ouargla	Rapporteur
HALILAT Mohammed Tahar	Professeur	Université de Ghardaïa	Rapporteur
KACI Yahya	Professeur	U.S.T.H.B. Alger	Rapporteur

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu tout puissant de m'avoir accordé la force, le courage, et les moyens afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et toute ma reconnaissance à l'égard de M^{me} BISSATI Samia. Professeur à l'Université Kasdi Merbah- Ouargla, non seulement pour avoir accepté de diriger ce travail, mais aussi pour son enthousiasme commutatif, sa compétence, sa patience et surtout sa disponibilité, qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude et l'assure de mes sentiments.

Mes sincères remerciements à M. Ouled Hadji Mohammed Didi Professeur à l'U.K.M.-Ouargla, pour l'honneur qu'elle me fait de présider le jury et d'évaluer ce travail ; qu'il trouve ici l'expression de ma grande reconnaissance.

Ma gratitude s'adresse à M. Kaci Yahya Professeur à l'université de UTSHB. Je suis très sensible à honneur et à l'amitié qu'il me témoigne en étant membre de ce jury.

Je remercie M. Chehma Abdelmadjid Professeur à l'U.K.M.-Ouargla d'avoir accepté de siéger à ce jury. Ses conseils judicieux m'ont permis de préciser plusieurs points importants de cette thèse.

M. HALILAT Mohammed Tahar Professeur à l'Université de Ghardaïa, d'avoir accepté de juger ce travail, malgré ses nombreuses préoccupations.

Une part importante de ce travail résulte d'une profonde collaboration avec M. Haroun Chenchouni Maître assistant A à l'Université de Tébessa, qu'il trouve ici mes vifs et sincères remerciements pour sa gentillesse, ses aides précieuses, avec beaucoup de rigueur et de patience, ses critiques et ses conseils éclairés m'ont été très biens bénéfiques.

Mes remerciements s'adressent à l'équipe du Laboratoire de Bioressources Sahariennes.

A tous les enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie.

Je tiens également à exprimer mes remerciements :

A tout l'ensemble du personnel de la faculté.

Ceux qui ont apporté une aide inestimable durant les périodes critiques de ce travail notamment pour leur aides précieuses afin d'organiser les sorties sur terrain.

Liste des abréviations

<i>Abréviations</i>	<i>Signification</i>
AR²	R ² ajusté
CE	Conductivité électrique,
Distance T.P	Distances entre Terfez et la plante symbiotique
F	F-statistique
L.f	Limon fin
L.g	Limon grossier
Martonne	Indice de Martonne
M.L.	Modèles linéaires
M.L.G.	Modèles linéaires généralisés
MO	Matière organique
MR²	Multiple R ²
n	Nombre d'échantillons de sol analysés dans chaque site
Nombre de T/P	Nombre des Terfez récoltés par plante symbiotique
P	p-valeur
P Ann	Précipitations annuelles
P Ann	Précipitations annuelles
P JFM	Précipitation cumulée de janvier-mars,
P OND	Précipitation cumulée de octobre-décembre
Poids T	Poids des Terfez dans le sol.
PPN	Production Primaire Nette
Profondeur T	Profondeur des Terfez dans le sol
S.f	Sable fin
S.G	Sable grossier
T max	Moyenne annuelle des températures maximales
T min	Moyenne annuelle des températures minimales
T signifie	Moyenne annuelle des températures moyennes,

Liste des figures

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
01	Cycle biologique de la truffe noire (<i>Tuber melanosporum</i>) (Delmas, 1983)	10
02	Différents types de mycorhizes (Fortin et al., 2008)	15
03	Limite du Sahara septentrional en Algérie et en Tunisie (Ozenda, 1991)	18
04	Localisation de la région d'étude (Map inofs 8.0 Modifiée)	23
05	Localisation des stations d'étude (Map inofs 8.0 Modifiée).	26
06	Répartition des truffes du désert dans le Sahara Septentrional algérien	44
07	Fréquence d'occurrence des espèces des Terfez par site	46
08	Box plots des poids individuels de l'ascocarpe des espèces de Terfez	47
09	Nombre d'ascocarpes de Terfez récoltés par plant et par station	49
10	Nombre des carpophores récoltés selon les espèces	49
11	Box plots des profondeurs de carpophores des espèces récoltées	51
12	Courbe des modèles linéaires généralisés de la variation du poids individuels des ascocarpes en fonction de la profondeur	51
13	Densité relative d' <i>Helianthemum lippii</i> dans les différentes stations d'étude	55
14	Courbe du modèle linéaire généralisé du poids des Terfez en fonction de la densité d' <i>Helianthemum lippii</i> .	55
15	Box plots des distances comprises entre le collet d' <i>Helianthemum lippii</i> et les carpophores des Terfez	57
16	Diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN appliqués au stations d'étude (2006-2012).	62
17	Variation de production de la truffe du désert en fonction des précipitations	65
18	Variations de la production des espèces de la truffe du désert en fonction des régimes des précipitations	66

Liste des Photos

Photo	Titres	Page
01	Surfaces du sol gonflées et fendillées par truffe du désert.	27
02	Craquelures dues à la présence de la truffe du désert.	27
03	Examen des racines de la plante hôte.	28
04	Ascocarpes de <i>Terfezia arenaria</i> .	39
05	Gléba de <i>Terfezia arenaria</i> .	39
06	Hyphes de <i>Terfezia arenaria</i> Gr x 400.	39
07	Ascospores de <i>Terfezia arenaria</i> .	39
08	Ascocarpes de <i>Terfezia claveryi</i> .	41
09	Gléba de <i>Terfezia claveryi</i> .	41
10	Hyphes de <i>Terfezia claveryi</i> Gr x 400.	41
11	Spoires de <i>Terfezia claveryi</i>	41
12	Ascocarpes de <i>Tirmania nivea</i> .	43
13	Gléba <i>Tirmania nivea</i> .	43
14	Hyphes de <i>Tirmania nivea</i> (Gr x 400).	43
15	Asque et spores de <i>Tirmania nivea</i> .	43
16	Trois carpophores par une seule plante symbiotique.	48
17	<i>Helianthemum lippii</i> (Reguigue) plante symbiotique de Terfez.	53
18	Ectomycorhize de <i>Tirmania nivea</i> .	56
19	Vue générale de la station de Hassi El Fehal.	58
20	Vue générale de la station de Noumerate.	58
21	Vue générale de la station de El Goléa.	59

Liste des tableaux

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
1	Coordonnées des stations d'étude	25
2	Espèces, familles, types biologiques du couvert végétatif des terrains truffiers.	60
3	Caractéristiques climatiques des stations d'étude	63
4	Résultats de l'analyse par les modèles linéaires de l'effet des paramètres climatiques sur la production des espèces Terfez et la production totale	68
5	Résultats des analyses physico-chimiques des sols des stations d'étude.	71
6	Résultats de l'analyse par les modèles linéaires généralisés (M.L.G.) de l'effet des paramètres édaphiques sur le poids individuel des Terfez.	74

Table des matières

	<i>Page</i>
Introduction générale	01
<i>Chapitre I : Synthèse bibliographique</i>	
I-1 Aperçu sur la truffe du genre <i>Tuber</i>	05
I-1-1 Taxonomie	05
I-1-2 Aspect Anatomique	07
I-1-3 Nature de la symbiose	09
I-1-4 Cycle biologique	09
I-2 Les truffes du désert	11
I-2-1 Origine et historique	11
I-2-2 Taxonomie des Terfez	11
I-2-3 Répartition géographique	12
I-2-4 Paramètres bioécologiques des Terfez	13
I-2-5 Plantes symbiotiques des Terfez	13
I-2-6 Nature des associations mycorhiziennes	14
I-2-7 Cycle biologique des Terfez	15
I-2-8 Composition chimique	16
I-2-9 Propriétés antimicrobiennes	17
I-3 Présentation de la région d'étude	18
I-3-1 Géologie	19
I-3-2 Paysages sahariens	19
I-3-3 Caractéristiques du climat	19
I-3-4 Hydrogéologie	21
<i>Chapitre II : Matériel et Méthodes d'étude</i>	
II-1 Méthodes d'approche sur terrain	23
II-1-1 Délimitation des sites d'étude	23
II-1-2 Choix des stations d'étude	24
II-1-3 Prospection et collecte et des truffes	27
II-1-4 Mesures effectués sur le terrain	27
II-2 Etude mycologique des Terfez	29
II-3 Etude taxonomique	30
II-3-1 Identification du genre	30
II-3-2 Identification des espèces	31
II-4 Etude bioécologique des Terfez	31
II-4-1 Etude du couvert du couvert végétatif des terrains truffiers	31
II-4-2 Etude climatique	31
II-4-3 Etude du sol des sites prospectés	32
II-5 Traitement des données	34

Chapitre II : Résultats et Discussions

III-1 Etude analytique des Terfez récoltés	36
III-1-1 Taxonomie des Terfez récoltés	36
III-1-2 Caractérisation morphologique et mycologique des Terfez récoltées	37
III-1-2-1 <i>Terfezia arenaria</i> (Moris) Trappe	38
III-1-2-2 <i>Terfezia claveryi</i> Chatin 1892	40
III-1-2-3 <i>Tirmania nivea</i> Trappe	42
III-1-3 Répartition géographique des Terfez récoltées	44
III-1-4 Fréquence d'occurrence des espèces des Terfez	45
III-1-5 Poids individuel des ascocarpes	47
III-1-6 Nombre d'ascocarpes de Terfez récoltés par plante symbiotique	48
III-1-7 Profondeur de Terfez	50
III-2 Caractérisation de la symbiose des Terfez	52
III-2-1 Plante symbiotique	52
III-2-1-1 Identification	52
III-2-1-2 Description	53
III-2-1-3 Systématique	54
III-2-1-4 Habitat	54
III-2-2 Densité relative de la plante symbiotique	54
III-2-3 Description de la mycorhize	56
III-2-4 Distance plante-Terfez	57
III-3 Caractérisation écologique des terrains truffiers	58
III-3-1 Géomorphologie des terrains truffiers	58
III-3-2 Caractéristiques du couvert végétal naturel des terrains truffiers	60
III-4 Caractérisation bioclimatique des sites truffiers	62
III-4-1 Climatogramme des sites truffiers	62
III-4-2 Classification climatique des sites truffiers	63
III-4-3 Variation annuelle de la productivité truffière en fonction du climat	64
III-5 Caractérisation Eco-pédologique des terrains truffiers	70
III-5-1 Caractérisation physico-chimique des sols truffiers	70
III-5-2 Effets des facteurs édaphiques	73
Conclusion générale	77
Références bibliographiques	80

Annexes

Introduction Générale

Les zones arides, couvrent 41,3% de la surface terrestre de notre planète où la biodiversité des terres arides joue un rôle central dans la lutte mondiale contre la pauvreté, la désertification et le changement climatique (**Davies *et al.*, 2012**).

Paradoxalement, les zones désertiques ont été considérées longtemps comme hostiles à la survie des êtres vivants, surtout leurs sols supposés, comme étant milieux stériles. Cependant les travaux d'exploration ont montrés qu'il existe une grande biodiversité dans ces région, particulièrement des espèces microbiennes, qui s'adaptent aux conditions climatiques extrêmes. Ainsi, ces sols produisent un aliment de luxe : la truffes du désert (**Sasson, 1967 ; Alsheikh ; 1994 ; Davies *et al.*, 2012**).

Les truffes du désert présentent, une grande importance économique et commerciale et peuvent offrir de bonnes perspectives de valorisation dans un environnement difficile, caractérisé par la rareté de ses ressources naturelles (**Davies *et al.*, 2012**).

Elles ajoutent de la saveur aux aliments de base, mais elles constituent aussi une riche source de protéines, d'acides aminés, d'acides gras, des minéraux et des glucides (**Al-Naama *et al.*, 1988 ; Bokhary et Parvez, 1988 ; Bokhary *et al.*, 1989**).

Elles sont utilisées également en médecine traditionnelle depuis plus de deux millénaires, sans effets nocifs ou toxiques connus sur leurs utilisateurs (**Al-Rahmah, 2001**).

Malgré ces vertus, les truffes du désert ont reçu peu d'attention sur leur bioécologie (**Alsheikh ; 1994**). En Algérie, les travaux de recherche sur les truffes de désert sont peu nombreux, voire inexistantes pour le Sahara Septentrional, où elles demeurent mystérieuses (**Bradai *et al.*, 2013**).

Cependant, la majorité des études portant sur la bioécologie des truffes de désert donnent des constats individuels au sujet de l'influence des facteurs écologiques sur leur occurrence et leur productivité (**Alsheikh et Trappe, 1983 ; Alsheikh, 1994 ; Khabar *et al.*, 2001 ; Chafi *et al.*, 2004 ; Kagan-Zur et Roth-Bejerano 2008**).

Ainsi, les propriétés des sols de la truffe du désert sont faiblement connues. La majorité des travaux sur les sols des truffes du désert se concentrent sur la caractérisation d'une manière générale, mais sans donner des précisions sur l'influence des propriétés de ces sols sur la truffe du désert (**Bonifacio et Morte, 2014**).

Puisque les activités écologiques des êtres vivants sont influencées par plusieurs variables (climatique, pédologique, floristique...etc.), qui connaissent des grands changements (**Chapin et al., 2000**), nous émettons l'hypothèse que l'occurrence et le développement de la truffe du désert seraient contrôlés par les variations des facteurs écologiques de leurs biotopes.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail, balisé par deux grands axes :

Un premier consiste à déterminer la diversité des truffes du Sahara Septentrional algérien, avec une caractérisation de leurs biotopes naturels.

Le second s'articule sur un suivi à moyen terme de la productivité de la truffe du désert dans le Sahara septentrional algérien ; particulièrement l'influence des paramètres climatiques sur sa productivité ; et d'autre part, déterminer l'effet de certains facteurs édaphiques sur la biomasse des ascocarpes de la truffe du désert.

Chapitre I
Synthèse bibliographique

I-1 Généralités sur la truffe du genre *Tuber*

La truffe est un champignon ascomycète hypogé, appartenant au genre *Tuber*, comestible et très appréciée à l'échelle mondiale. Les truffes vivent en symbiose, en formant souvent, avec les racines des plantes vasculaires des mycorhizes. Par son aspect, la truffe est plutôt arrondie, mais elle peut avoir une forme irrégulière (**Riousset et al., 2001; Ricard et al., 2003 ; Murat-Fuminieux, 2004**).

Le genre *Tuber* se développe sous des climats tempérés qui présentent une alternance de saisons, l'éventail des amplitudes que peuvent prendre les variables climatiques des zones truffières est important. La truffe genre *Tuber* se trouve généralement entre les 44° et 47 ° de latitude Nord et 100 à 1000 mètres d'altitude (**Chatin, 1892a**).

La truffe est connue depuis la haute antiquité, (environ de 3500 ans avant J.C.), par les grecs et les romains, comme un produit de la nature, sans intervention de l'homme (**Ackerman, et al., 1975 ; Gandeboeuf , 1997**).

Le mot *terrae tufule*, premier terme donné pour désigner la truffe, est issu de la ressemblance physique entre la truffe et le tuf qui constitue une pierre poreuse typique de l'Italie centrale. Par la suite, ce mot fut transformé en « tertufole » et « tartufo » en Italie, « truffe » en France, « trüffel » en Allemagne, truffle en Angleterre (**Ackerman, et al., 1975 ; Gandeboeuf ,1997**).

I-1-1 Taxonomie

Les analyses morphologiques et les similitudes de formes rencontrées pour les ascocarpes hypogés, ont conduit à classer les truffes dans un ordre distinct des Pezizales connu sous le nom de l'ordre des Tubérales (**Riousset et al., 2001**).

Les truffes sont des champignons, appartenant aux familles des *Pezizaceae*, *Helvellaceae*, *Tuberaceae*, *Morchellaceae*, *Discinaceae*, *Pyronemataceae*, *Glaziellaceae*, et *Carbomycetaceae* (**Læssøe et Hansen, 2007**).

Trappe (1971) a ajouté dans l'ordre des Tubérales le genre *Amylascus*, mais en 1979, il a transféré le genre *Mukagomyces* de la famille des *Terfëziaceae* à celle des

Tuberaceae et le genre *Amylascus* à celle des *Pezizaceae*. **Trappe (1979)**, a considéré l'ordre des Tubérales comme étant « artificiel et anachronique » et a intégré la famille des *Tuberaceae* dans l'ordre des Pezizales.

Des études plus récentes de **Dannell (1996)**, et **Percudani et al. (1999)**, basées sur la biologie moléculaire réalisée sur l'ordre des Tubérales et des Pezizales et portant sur les régions 18S et 28S de l'ADN ribosomique, ont confirmé les conclusions de **Trappe (1979)**, en montrant que l'ordre des Pezizales n'avait pas de raison d'exister.

Actuellement, le genre *Tuber* fait partie de la famille des *Tuberaceae* et à l'ordre des Tubérales.

Taxonomiquement, la truffe appartient :

- **Règne** : Fungi.
- **Embranchement** : Septomycota.
- **Sous embranchement** : Ascomycotina.
- **Classe** : Euascomycètes (Eutuniquées).
- **Sous classe** : Discomycetidae.
- **Ordre** : Tubérales.
- **Famille** : *Tuberaceae*.
- **Genre** : *Tuber*

(**Trappe et al., 1979**).

Selon **Korf (1973)**, il existe 80 à 100 espèces d'ascomycètes qui sont considérées comme des truffes, mais **Trappe (1979)**, attache au genre *Tuber* une soixantaine d'espèces, dont les plus connues : *Tuber melanosporum* (truffe noire), *Tuber albidum* (truffe blanche ou blanquette), *Tuber oestivum* (truffe blanche d'été), *Tuber borchii* (blanquette), *Tuber brumale*, *Tuber indicum* (truffe de chine), *Tuber magnatum* (truffe blanche d'Italie), *Tuber mesentericum* (truffe mésentérique), *Tuber rufum* (truffe nez de chien), *Tuber uncinatum* (truffe grise).

I-1-2 Aspect Anatomique

Le champignon « truffe de genre *Tuber* » comprend dans sa totalité :

- Une partie végétative
- Une partie reproductive ou sexuée (**Ricard *et al.*, 2003**).

I-1-2-1 Forme végétative

La truffe du genre *Tuber* est formée par un appareil végétatif très discret et non comestible qui s'associe avec les racines de certains arbres. Cette partie est constituée de mycélium, de mycorhizes et de stromas; ces différentes formes sont reliées de façon complexe entre elles et avec le système racinaire (**Callot *et al.*, 1999 ; Ricard *et al.*, 2003**).

Le mycélium

C'est un ensemble d'hyphes, constituant un premier niveau d'organisation. Le mycélium s'organise pour constituer des structures plus complexes, élaborées par la truffe, soit ascocarpe soit mycorhize et stroma (**Callot *et al.*, 1999 ; Ricard *et al.*, 2003**).

Le stroma

Les filaments mycéliens peuvent s'agglomérer en pelotes denses qualifiées de stroma. Ces stromas sont de "faux tissus", formés par la soudure des filaments, constitués d'hyphes agrégées. Ils sont en contact direct avec les cellules de l'écorce de la racine (**Callot *et al.*, 1999 ; Ricard *et al.*, 2003**).

Les Mycorhizes

C'est un organe mixte, formé par l'association entre la racine de la plante hôte et un champignon du sol, favorisant l'absorption des éléments minéraux par les racines et améliorant ainsi la nutrition de la plupart des espèces végétales (**Callot *et al.*, 1999 ; Ricard *et al.*, 2003**).

I-1-2-2 Forme sexuée

C'est la forme de l'ascocarpe, constitué d'une partie centrale appelée gléba, qui contient les ascospores. Souvent la gléba est protégée par une enveloppe résistante ou cortex appelé périidium (**Callot et al., 1999 ; Ricard et al., 2003**).

Le périidium

Le périidium est une structure résistante qui assure la protection de la gléba interne et peut présenter des écailles de dimension et de forme très différentes.

Il est observé également en surface du périidium, la formation de plaque calcaire d'une centaine de micromètres, provenant de précipitations de carbonates de calcium, dues à des sécrétions acides par les filaments mycéliens.

Ces phénomènes protègent progressivement l'ascocarpe de la dessiccation et lui donnent une excellente résistance à la sécheresse. Chez *Tuber melanosporum*, il est constitué d'écailles pyramidales de 5 à 6 pans (**Callot et al., 1999 ; Ricard et al., 2003**).

La gléba

La Gléba c'est la partie centrale, origine des asques et des spores. Elle est constituée de la masse interne de l'ascocarpe dont la coupe révèle à la maturité, la présence "de marbrures" ou lignes sinueuses blanches appelées "veines". Ces veines sont variables selon les espèces, et ont reçu également le nom de "veines aérifères" ou "veines stériles " car elles ne contiennent jamais de spores. Elles sont remplies d'hyphes qui s'allongent, se ramifient et s'apparient entre elles pour former un véritable réseau mycélien. L'hyphes est facilement visible à la surface des truffes matures. Les veines s'ouvrent à l'extérieur au niveau des écailles du Périidium de la truffe.

Les veines permettent les échanges gazeux entre la gléba du champignon et le sol (oxygène, gaz carbonique, vapeur d'eau) (**Callot et al., 1999 ; Ricard et al., 2003**).

I-1-3 Nature de la symbiose

La truffe du genre *Tuber* vit en association symbiotique avec des racines de plantes hôtes (Chevalier et Grente, 1979 ; Le Tacon *et al.*, 1988 ; Chevalier et Frochot, 1997 ; Rioussat *et al.*, 2001 ; Selosse *et al.*, 2004 ; Smith *et al.*, 2008).

La plupart des espèces du genre *Tuber* forment des ectomycorhizes. Les hôtes compatibles sont des plantes dites "ectomycorhiziennes" (Chênes, Charmes, Hêtres, Pins), principalement des arbres forestiers, les uns s'associant seulement aux : *Tuber melanosporum*, *Tuber uncinatum*, *Tuber magnatum*, *Tuber indicum* (Le Tacon *et al.*, 1988 ; Chevalier et Frochot, 1997 ; Callot *et al.*, 1999 ; Ricard *et al.*, 2003 ; Murat-Furminieux, 2004).

I-1-4 Cycle biologique

Le cycle biologique des *Tuber* n'est pas bien connu (Chavalier et Grente 1973). Delmas (1983), ont proposé un cycle vital probable pour les truffes ; ce cycle comporte trois phases en général : une phase saprotrophique, une phase symbiotique et une phase reproductive (figure 1).

La phase saprotrophique est caractérisée par la germination des spores dans le sol et le développement du mycélium. Celui-ci pourrait former soit le primordium fructifère, soit les mycorhizes. Ainsi, les hyphes se développent jusqu'au contact des racines pour entrer en phase symbiotique (Callot *et al.*, 1999 ; Ricard *et al.*, 2003).

Lors de la phase symbiotique, le mycélium prend contact avec les racines de la plante et les colonise, formant ainsi les structures typiques d'ectomycorhizes avec le manteau et le réseau de Harting. Autour des apex mycorhizés, se développe le mycélium extra-matriciel qui explore le sol environnant (Murat-Fuminieux, 2004).

La phase reproductive commence par l'association de deux hyphes pour donner l'ascocarpe. Puisque ces deux mycéliums sont identiques (autogamie), c'est-à-dire les truffes sont homothalliques. Durant cette phase se produit la caryogamie et la formation des ascospores (Callot *et al.*, 1999 ; Ricard *et al.*, 2003).

Les fortes chaleurs de juillet et les orages d'août (apport d'eau) ; stimulent le cycle biologique des truffes par la germination des spores ; à condition que les quantités d'eau et de chaleur soient optimales (Murat-Fuminieux, 2004)

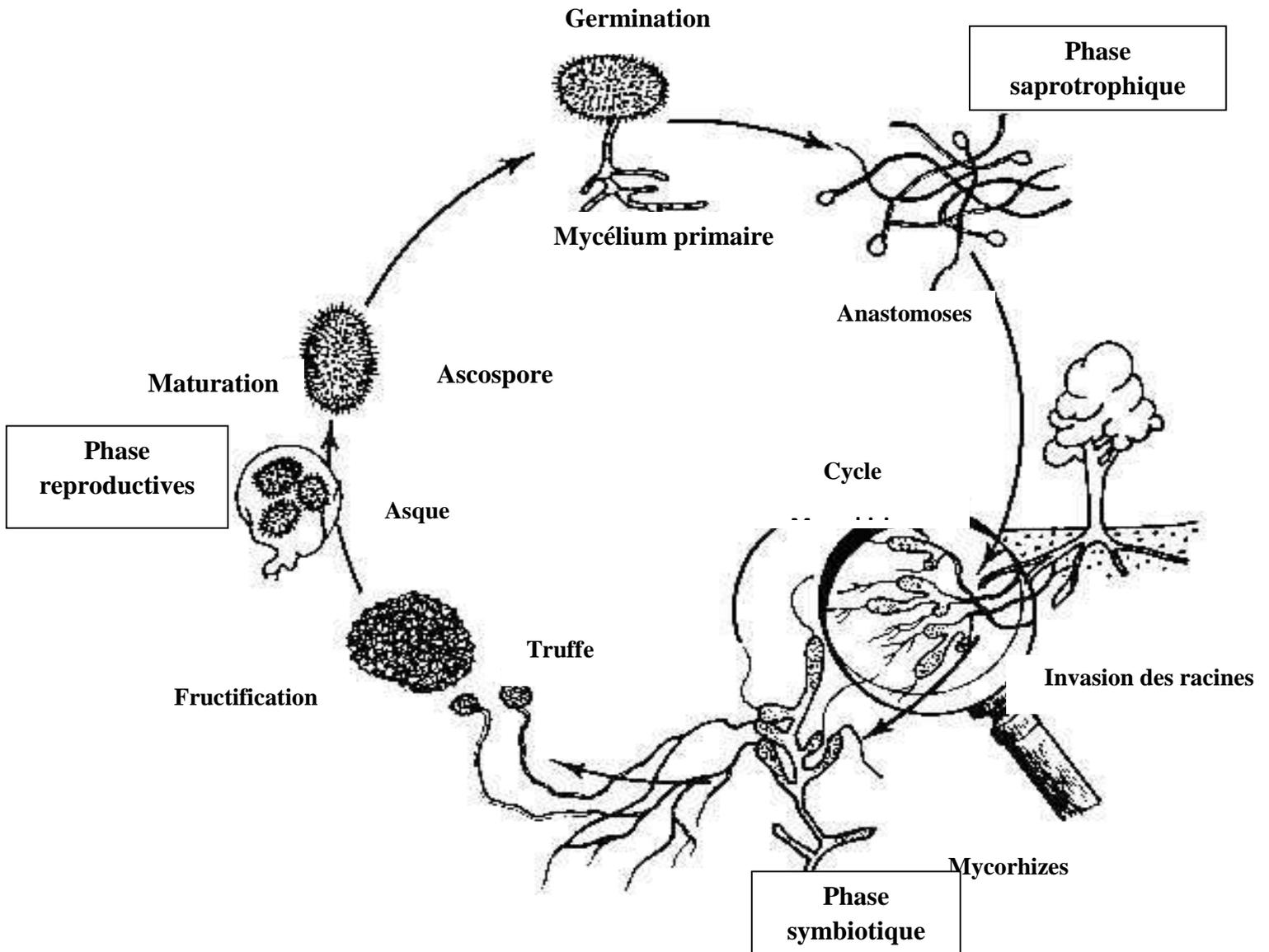


Figure 1 : Cycle biologique de la truffe noire (*Tuber melanosporum*) (Delmas, 1983)

I-2 Truffes du désert

Les truffes du désert ou appelés Terfez, sont des ascocarpes hypogés, comestibles, très appréciées, sous forme de tubercule. Elles ont une distribution géographique spécifique qui se limite en particulier aux régions semi-arides et arides. Les Terfez vivent en association mycorhizienne avec les *Cistaceae*, particulièrement les hélianthèmes, (Trappe, 1971 ; Fortas *et* Dib, 2005 ; Kagan-Zur *et* Roth-Bejerano, 2008).

I-2-1 Origine et historique

Les truffes du désert ont été longtemps confondues avec les truffes du genre *Tuber* (Chatin, 1891).

Le mot arabe "Terfez" et le mot français "Truffe" ont une même origine. Ils proviennent tous deux de "Tabarli" ; nom apparu aux alentours de 3500 année A. JC dans le langage sumérien qui signifiait " champignon souterrain " (Chatin, 1892b ; Burdsall, 1968 ; Malencon, 1973 ; Trappe, 1979).

Le terme Terfez, désigné sous le terme général de "truffe du sable" ou "truffe du désert", pour les différencier des autres truffes du genre *Tuber*, mais leur appellation diffère d'un pays à autre. Selon les régions dans lesquelles on les trouvait, les Terfez étaient désignés par des appellations diverses. En Europe, ils sont communément appelés "Truffes du désert" ou "Truffes du sable ", en Algérie, ils sont appelés Terfez, Torfez, Terfas et Koma en Kabylie (Chatin, 1891 ; Chevalier, 2014).

On leur donne le nom de Kameh et Kamés en Asie et Komah au Proche et Moyen-Orient (Alsheikh, 1994).

I-2-2 Taxonomie des Terfez

La taxonomie des Terfez est basée essentiellement sur les caractéristiques du péridium (aspect ; couleur), sur celles des spores (nombre, forme ; ornementation), et sur des caractères complémentaires : forme ou taille des corps fructifères, coloration de

la Gléba, disposition des veines, odeur, habitat... voir annexe 02) (Trappe, 1971; Trappe, 1979).

Selon Trappe (1979), *Terfezia* et *Tirmania* appartiennent aux familles *Terfeziaceae* et *Pezizaceae*, respectivement, dans l'ordre des Pezizales.

La famille des *Terfeziaceae* est actuellement formée par les (07) genres : *Amylascus* Trappe ; *Delastria* Tul.et Tul. ; *Hydnobolites* Tul.et Tul. ; *Mukagomyces* Tul.et Tul. ; *Picoa* Vitt. ; *Terfezia* Tul.et Tul. ; *Tirmania*. Tul.et Tul.

Le genre *Terfezia* regroupe douze (12) espèces : *Terfezia claveryi* (Chatin), *Terfezia spinosa* (Hark), *Terfezia longii* (Gilkey), *Terfezia arenaria* (Moris) *Terfezia leptoderma* Tul, *Terfezia gigantea* (Imai), *Terfezia boudieri* (Chatin), *Terfezia pflleilii* (Henn), *Terfezia austroafricana* (Marasas et Trappe), *Terfezia terfezioides* (Moris), *Terfezia erimita* (Malençon) et *Terfezia terfezioides* (Mat.) Trappe 1971).

Le genre *Tirmania* est représenté par deux (02) espèces: *Tirmania nivea* (Desf) Trappe, *Tirmania pinoyi* (Maire) Malençon

Le genre *Picoa* inclut trois (03) espèces : *Picoa lefebvrei*, *Picoa carthusiana*, *Picoa juniperi*

I-2-3 Répartition géographique

Les Pezizales ont une large distribution, ils se trouvent dans les zones arides et semi-arides de la Méditerranée et en Afrique du Nord, approximativement entre le 28^{ème} et le 45^{ème} degré de latitude Nord (Chatin, 1891a ; Malençon, 1973 ; Trappe, 1979 ; Khabar et al. , 2001 ; Moreno et al., 2002 ; Slama et al., 2006).

Toutefois, certaines espèces de la truffe du désert ont été trouvées aussi au Botswana en Afrique du Sud (Marasas et Trappe, 1973 ; Trappe et al., 2008a ; Trappe et al., 2014a) ; en Amérique du Nord (Trappe et Sundberg, 1977 ; Trappe et al., 2014b) mais aussi en Australie (Trappe et al., 2008b ; Claridge et al., 2014)

I-2-4 Paramètres bioécologiques des Terfez

I-2-4-1 Climat

Les truffes du désert sont adaptées aux climats chauds des zones semi-arides et arides. Elles se développent sous des climats, avec des étés secs (aucune pluie à partir de juin à septembre) et des hivers humides (**Trappe, 1971 ; Malençon, 1973 ; Awameh, 1981 ; Feeney, 2002 ; Khabar, 2001**).

Les régions où se développent les truffes du désert se caractérisent généralement, par une pluviométrie annuelle comprise entre 50 et 380 mm. Par ailleurs, leur développement ainsi que leur répartition sont particulièrement liés à la pluviométrie automnale et hivernale (**Trappe et al., 2001 ; Kagan-Zur et Roth-Bejerano 2008**).

Au Koweït, **Awameh et Alsheikh (1979)**, indiquent que le développement des Terfez nécessite un minimum de 180 mm de précipitations ; réparties sur la saison de la fructification des Truffes (octobre à mars)

I-2-4-2 Sol

Les sols des truffes du désert sont relativement homogènes. Les espèces de Terfez se développent sur des terrains plats sablonneux, soient gypseux, soient graveleux-gypseux, relativement riches en calcaire et pauvres en matière organique et en phosphore. La majorité des Terfez se développent dans des sols à pH alcalin ou presque neutre (**Alsheikh et Trappe, 1983 ; Jannex-Favre et al., 1988 ; Fortas, 1990 ; Giovannetti et al., 1994 ; Taylor et al., 1995 ; Bonifacio et Morte, 2014**).

En Algérie, les Terfez se développent sur un sol sablonneux, calcaire, pauvre en matière organique et en phosphore, bien pourvu en potassium et riche en magnésium (**Fortas, 1990**)

I-2-5 Plantes symbiotiques des Terfez

Les truffes du désert vivent en association mycorhizienne, avec des plantes annuelles ou pérennes. Elles s'associent avec des plantes annuelles de la famille des Cistacées et plus particulières avec des Hélianthèmes (**Awameh et al., 1980 ; Awameh**

1981 ; Alsheikh et Trappe 1983 ; Moreno *et al.*, 2000, 2002 ; Diez *et al.*, 2002 ; Kovacs *et al.*, 2011 ; Roth-Bejerano *et al.*, 2014).

Au Kuwait les truffes du désert vivent en symbiose avec *Helianthemum ledifolium* et *Helianthemum salicifolium* (Awameh et Alsheikh, 1979).

En France, les Terfez s'associent aussi à d'autres plantes annuelles :*Artemisia herba alba*, *Plantago albicans* (Janex-Favre *et al.*,1988). ; *Helianthemum almeriense* (Gutierrez *et al.*, 2003) et avec *Helianthemum ovatum* (Kovacs *et al.*, 2003).

Au Maroc, les Terfez sont trouvés en symbiose avec le genre *Helianthemum*, le genre *Cistus* et le genre *Pinus* (Khabar,1994).

En Algérie, les Terfez vivent en symbiose avec l'*Helianthemum guttatum* (Fortas, 1990).

I-2-6 Nature des associations mycorhiziennes

Au Koweït, les hyphes de *Terfezia boudieri*, *Terfezia claveryi*, *Tirmania nivea* et *Tirmania pinoyi* forment avec les racines d'*Helianthemum salicifolium* des endomycorhizes (Awameh et Alsheikh 1980).

Deux espèces du genre *Terfezia* forment sur le même hôte *Helianthemum salicifolium* soit des endomycorhizes (*Terfezia claveryi*) soit des ectomycorhizes (*Terfezia leptoderma*), présentant des caractères typiques, comme les hyphes accolés contre la face interne de la paroi cellulaire pour les endomycorhizes , ou l'absence du manteau pour les ectomycorhizes. Il s'agit de formes intermédiaires entre les endomycorhizes et les ectomycorhizes (Dexheimer *et al.*, 1985).

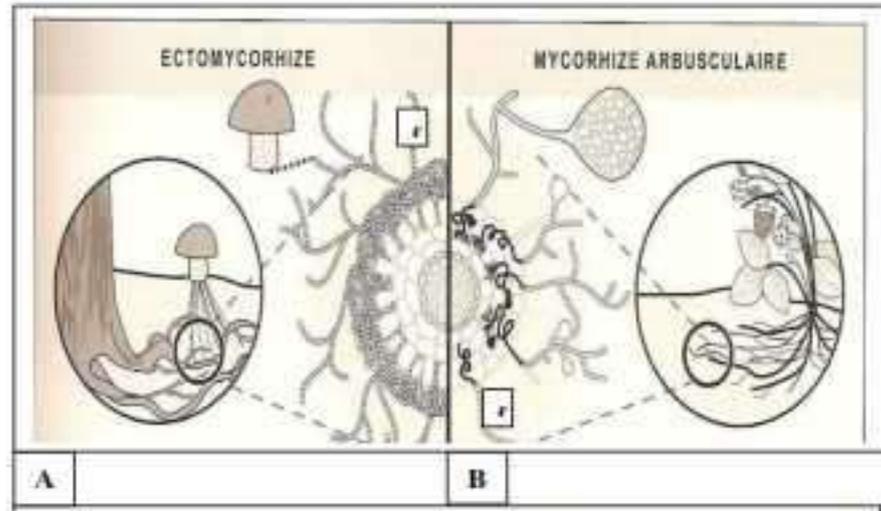


Figure 2 : Différents types de mycorhizes (Fortin et al., 2008)

A : Ectomycorhize B : Endomycorhize

D'après Gutierrez et al. (2003), l'endomycorhize est établie entre *Helianthemum Sp.* et *Terfezia claveryi* et *Picoa lefebvrei*.

L'étude de l'organisation ultrastructurale des mycorhizes d'*Helianthemum guttatum*, montre que *Terfezia arenaria*, *Terfezia claveryi*, *Tirmania pinoyi* forment sur la même plante hôte en fonction du substrat de culture, soit des ectomycorhizes avec un réseau de Hartig bien différencié mais sans manteau fongique sur un substrat riche en phosphore, soit des ectendomycorhizes sans manteau sur substrat pauvre en phosphore (Chevalier et al., 1984 ; Dexheimer et al., 1985; Roth-Bejerano et al., 1990).

I-2-7 Cycle biologique des Terfez

Les stades du cycle biologique des Terfez ne sont que partiellement connus (Fortas, 1990 ; Bradai, 2006).

Le cycle biologique des Terfez débute par la germination des spores ; qui donnera naissance à un filament (hyphe) s'associant à un hyphe d'une autre spore. Ensuite, le champignon infectera les racines d'Hélianthème ; en donnant naissance à des mycorhizes. Les fortes chaleurs de juillet et les orages d'août (apport d'eau) ; stimulent le cycle biologique des Terfez par la germination des spores (Bradai, 2006).

La majorité du cycle biologique s'effectue sous forme de filaments; formant un réseau ou mycélium. Le mycélium permet aux champignons de se nourrir et de coloniser des sites nouveaux. Le développement de ce mycélium est un préalable indispensable avant l'introduction du Terfez dans les racines de l'hélianthème. Le mycélium, s'associant aux racines de l'arbre, crée un mycorhize permettant au champignon de se nourrir en sucre (hydrates de carbone).

Les hyphes mycéliens divergent et se ramifient; l'ensemble évoluant globalement vers l'édification d'un organisme à front de croissance circulaire. Avec le temps: l'initiation fructifère débute par la formation de petits pelotons (primordium) au début de l'hiver: dans l'enchevêtrement des filaments du mycélium secondaire; à proximité des racines. Chaque peloton évoluera en ascocarpe de Terfez. À la fin du printemps; l'ascocarpe se décompose et libère ses spores (**Bradai, 2006**).

I-2-8 Composition chimique

Les compositions des truffes du désert ont été effectuées dans les pays où elles sont consommées et appréciées. Il s'avère que la matière sèche représente environ 20% du poids, qui se compose de : 60% d'hydrates de carbone ; 20 - 27% de protéines ; 3 - 7,5% de composés lipidiques et 7,13% de fibres brutes. Les Terfez renferment des quantités élevées d'acide ascorbique (2 -5%) (**Bokhari et al., 1989 ; Bokhari et Parvez, 1993 ; Murcia et al., 2003**).

Par ailleurs, les Terfez contiennent des quantités considérables en potassium, en phosphate et en fer (**Bokhari et al., 1989**).

La truffe du désert ne contient aucun composé toxique (**Shavit and Shavit, 2014**).

Les Terfez présentent des arômes différents selon l'espèce ; la blanche possède des arômes fortement alliacés (**Callot et al., 1999**).

II-2-9 Propriétés antimicrobiennes

Les utilisations des truffes du désert en médecine traditionnelle, ont incité la recherche scientifique moderne à étudier leurs propriétés bioactives (**Shavit and Shavit, 2014**).

Les extraits de *Terfezia claveryi* ont montré une importante activité antibactérienne contre une large gamme de bactéries testées, y compris, celles qui causent le trachome *Chlamydia Trachomatis* (**Mandeel et Al-Laith 2007**).

Janakat et al. (2005) ; Gouzi et al., (2011), ont étudié l'efficacité des extraits aqueux et méthanoliques du *Tirmania claveryi* comme contre *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa*. Les deux bactéries sont connues pour causer des infections oculaires. Les 5 % d'extrait aqueux ont empêché la croissance de *Staphylococcus aureus* par 66.4 % et *Pseudomonas aeruginosa* par 40.9 %. Les extraits méthanoliques de *Tirmania claveryi* se sont avérés inefficaces.

D'autres truffes du désert ont également démontré des propriétés antimicrobiennes. **Dogan et Ayden (2013)**, ont étudié les effets antimicrobiens de trois extraits différents de *Terfezia boudieri* contre : *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus vulgaris*, *Salmonella enteritidis*, et *Candida albicans*. Tous les extraits de la truffe du désert ont montré une activité antimicrobienne contre toutes les bactéries et la levure, avec l'extrait acétonique cette activité antimicrobienne augmente.

Stojkovic et al. (2012, 2013), ont évalué les extraits méthanoliques de *Tirmania Pinoyi* contre *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*. L'extrait de truffe a un effet antimicrobien uniquement sur *Staphylococcus aureus*.

I-3 Présentation de la région d'étude

Le Sahara est le plus grand des déserts, mais également le plus expressif et typique par son extrême aridité, c'est-à-dire celui dans lequel les conditions désertiques atteignent leur plus grande austérité (Toutain, 1979 ; Ozenda, 1991). Il s'étend à travers le tiers septentrional de l'Afrique, de l'Atlantique à la Mer Rouge, sur une surface totale de 8 millions de Km² (Le Houerou, 1990).

Le Sahara Septentrional, zone de notre présente étude, occupe plus de 1 million de Km² et est soumis à l'extrême rigueur du climat méditerranéen, où les pluies surviennent presque toujours en hiver (Le Houerou, 1990). Il se présente comme une zone de transition entre les steppes méditerranéennes nord africaines et le Sahara Central.

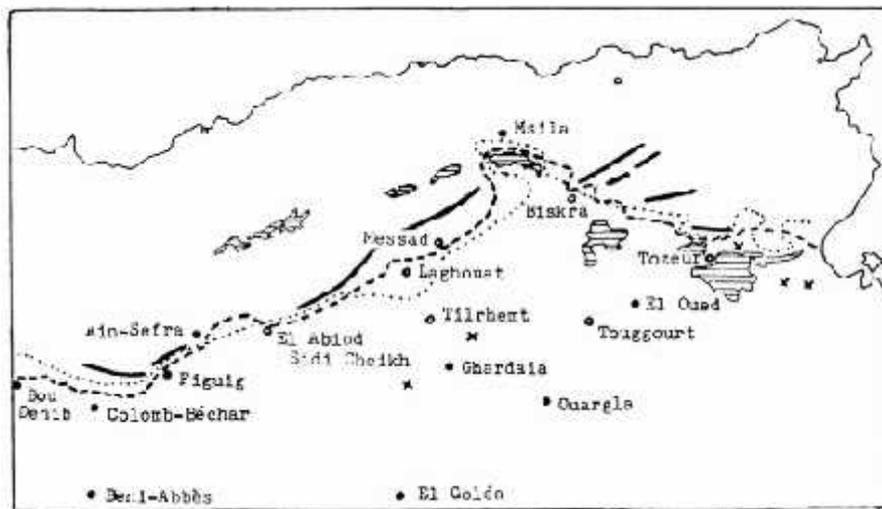


Figure 03 : Limites du Sahara septentrional en Algérie et en Tunisie (Ozenda, 1991).

I-3-1 Géologie

D'après **Hamdi-Aïssa (2001)**, ce sont les formations sédimentaires qui dominent le Sahara Septentrional. Pour les régions de Ghardaïa, Ouargla, et Oued Righ, on constate les formations suivantes :

- Le grand Erg Occidental, vaste dépôt de sable éolien à l'Est et au Sud.
- Les vallées au centre où prédominent les dépôts d'alluvions.
- Le plateau du M'Zab à l'Ouest.

I-3-2 Paysages sahariens

Le désert se présente sous des formes diversifiées : Les ergs, restes massifs de dunes. Les Regs sont des plaines caillouteuses, avec des sols pierreux recouvrent une partie importante des déserts.

Sur l'ensemble des paysages sahariens, le sable ne couvre qu'une faible partie de la surface (20% environ). Les hamadas et les regs représentent l'essentiel du paysage ; les sols alluviaux et les sols à encroûtement ne constituent que des phénomènes locaux (**Ozenda, 1991 ; Monod, 1992**).

Les sols sont très peu fertiles, leur rétention en eau est très faible, environ 8 % en volume d'eau disponible. La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique est très faible (inférieure à 1 %) et ne permet pas une bonne agrégation (**Daoud et Halitim, 1994**).

La région de Ouargla est caractérisée par des sols légers à prédominance sableuse et à structure particulière. Ils sont caractérisés par un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une activité biologique faible et une forte salinité (**Halilat, 1993**).

I-3-3 Caractéristiques du climat

Les caractères du climat saharien sont dus avant tout à la situation en latitude, au niveau du tropique, ce qui entraîne de fortes températures, et au régime des vents qui se traduit par des courants chauds et secs (**Ozenda, 1991**).

Le climat saharien est caractérisé donc par :

➤ **Faiblesse et irrégularité des précipitations**

Selon **Dubief (1963)**, les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative, comprises entre les isohyètes annuelles 50 et 100 mm par an (**Le Houerou, 1990**). Elles peuvent tomber pendant un seul mois produisant des crues d'Oued et le reste de l'année demeure sec, engendrant ainsi une végétation rare et disséminée.

➤ **Forte luminosité et forte température**

La luminosité est considérable au Sahara, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année (**Toutain, 1979**). Les températures moyennes annuelles sont élevées, avec des maxima absolus pouvant atteindre et même dépasser 50°C, et des minima de janvier variant de 2 à 9°C (**Le Houerou, 1990**).

La température du sol en surface peut dépasser 70 °C. Cependant, en profondeur, les températures diminuent rapidement et s'équilibrent. Il ne peut geler, pratiquement que dans la partie Nord du Sahara et sur les montagnes (**Monod, 1992**). Toutes ces conditions entraînent le réchauffement considérable de l'air et du sol pendant le jour, contrairement à la nuit et provoque de fortes amplitudes thermiques.

➤ **Forte évaporation et faible humidité de l'air**

D'après **Dubief (1950)**, le Sahara apparaît comme la région du monde qui possède l'évaporation la plus élevée, accentuée par les vents et les températures journalières très importantes.

Quant à l'humidité de l'air elle est souvent inférieure à 20% (**Monod, 1992**), mais elle peut s'élever à 50 et 60%, parfois d'avantage au Sahara septentrional au mois de janvier (**Ozenda, 1991 et Dubief, 1952**).

➤ Vents

C'est un phénomène continu du désert qui provoque les érosions et le transport des particules minérales (de fertilité) et en contre- partie une sédimentation, se traduisant par la formation de dunes (**Ozenda, 1991**).

Insolation et la nébulosité

Au Sahara, le nombre de jours clairs, sans aucun nuage, peut s'élever à 230 (**Monod, 1992**) ce qui engendre une quantité de lumière solaire relativement forte, qui a un effet desséchant.

I-3-4 Hydrogéologie

La faible pluviométrie est compensée par les eaux souterraines qui sont considérées comme la principale source d'eau dans le Sahara Septentrional algérien.

La nappe phréatique est continue dans les sables alluviaux, s'écoule du Sud vers le Nord suivant la pente de la vallée. Sa profondeur varie de 1 à 8 m, en fonction du lieu et de la saison (**Rouillois-Brigol, 1975**).

Les analyses des eaux de la nappe phréatique montrent qu'elles sont très salées, avec une conductivité électrique de l'ordre de 5 à 10 dS/m et parfois dépasse les 20 dS/m. Le Complexe Terminal couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350 000 Km². Sa profondeur varie de 100 à 400 m. Il alimente l'essentiel des palmeraies du Bas- Sahara (Zibans, Oued Rhir, Souf et Ouargla) (**A.N.R.H, 2006**).

La nappe du Mio-pliocène, dite nappe de sable, fut à l'origine des palmeraies irriguées. Elle s'écoule du Sud Sud-Ouest vers le Nord Nord-Est, en direction du chott Mèlghir. La salinité de cette nappe varie de 1,8 à 4,6 g/l. La nappe du Sénonien est peu exploitée vu son faible débit, sa profondeur d'exploitation varie de 140 à 200 m (**Rouillois-Brigol, 1975**).

La nappe du Continental Intercalaire (Albien), est située entre 1000 et 1500 m de profondeur. Les potentialités du Sahara algérien en termes de ressource en eau, sont évaluées à 5 milliards de m³ (**A.N.R.H, 2006**).

Chapitre II
Matériel et Méthodes d'étude

II-1 Méthodes d'approche sur terrain

II-1-1 Délimitation des sites d'étude

La zone d'étude est située dans deux wilaya du Sahara Septentrional algérien : la wilaya de Ghardaïa et la wilaya de Ouargla, couvrant au total une superficie de 298 085 km², entre 28°40' N à 33°40' N longitude et 02°00' E à 08°00' E (Figure 03).

Des prospections sur terrain ont été effectuées au début, pour délimiter des sites de suivi et de collecte des truffes du désert. Ces sites sont réputés comme des sites producteurs de la truffe du désert, selon les conseils et les orientations des chercheurs, des collecteurs de Terfez et des éleveurs de la région d'étude.

Une première étape de reconnaissance sur terrain, nous a permis de sélectionner des stations et d'élaborer une fiche descriptive (voir annexe 01), qui sert à gagner du temps au moment des relevés de terrain, de faire ressortir le maximum d'informations, et de déterminer la nature des analyses éventuelles à effectuer au niveau du laboratoire.

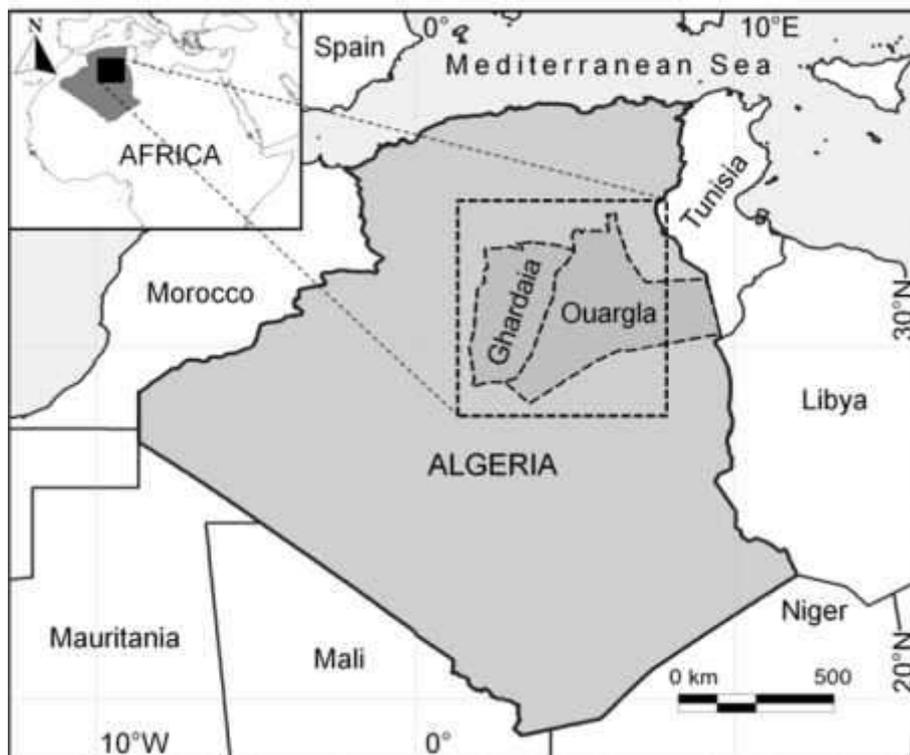


Figure 04 : Localisation de la région d'étude (Map inofs 8.0 Modifiée).

II-1-2 Choix des stations d'étude

Malgré les difficultés d'accès, de déplacement, de manque de moyens de transport et les guides, nous avons pu localiser quelques zones de suivis et de prélèvements des truffes du désert.

Au sein de ces zones truffières, nous avons délimité des stations d'études, le choix s'est basé sur l'utilisation d'un échantillonnage raisonné, en choisissant les stations qui semblent particulièrement homogènes et représentatives (**Gounot, 1969**). Ces stations ont été jugées comme étant les plus propices au développement des truffes du désert.

En effet, pour le choix des stations, nous avons pris en considération la forte dominance des Hélianthèmes, car et selon la bibliographie, la majorité des plantes hôtes des truffes du désert (*Terfezia*, *Tirmania*, *Picoa*) appartiennent à la famille des *Cistaceae*, et dans les régions arides il s'agit surtout du genre *Helianthemum*. Sur la base de ces données, nous avons formulé l'hypothèse que les plantes du genre *Helianthemum* seraient les plantes la plus habilitées à s'associer aux champignons truffiers du Sahara septentrional algérien.

Ainsi, nous avons privilégié les Dayas et lits d'Oueds. En effet, ces unités géomorphologiques sont favorables au développement des Terfez ainsi que des Hélianthèmes (**Ozenda, 2004**).

Au sein de chaque site d'échantillonnage, une station d'une superficie d'un hectare a été délimitée. Au total, sept (07) stations d'échantillonnages ont été retenues (Figure 04).

Les coordonnées de chaque station ont été enregistrées à l'aide d'un appareil GPS MAP GARMIN de modèle GPS Map 76 CSX (Tableau 01).

Afin de déterminer la répartition géographique de l'ensemble des espèces collectées, un SIG a été appliqué par l'utilisation du logiciel MapInfo 8.0

Tableau 01 : Coordonnées des stations d'étude

Station	Localisation	Coordonnées	Altitude (m)
01	Entre la commune de Zelafana et Guerrara (wilaya de Ghardaïa).	32°40' N longitude 04°17' E.	360
02	Commune de Hassi El Fehal (wilaya de Ghardaïa).	31°37' N longitude 03°43' E.	367
03	Noumerate : Sud - Est de la commune de Ghardaïa.	32°20' N longitude 03°49' E.	457
04	Oued Mya : Sud de la commune de Rouissat (wilaya de Ouargla).	31°24' N longitude 04°53' E.	200
05	Oued N'ssa : Nord-Ouest de la commune de N'goussa (wilaya de Ouargla).	32°16' N longitude 05°19' E.	137
06	Oued Righ : Nord-Ouest de la commune de Touggourt (wilaya de Ouargla).	33°19' N longitude 05°54' E.	73
07	El Goléa : Nord de la commune de M'nia (wilaya de Ghardaïa).	30°40' N longitude 03°01' E.	431

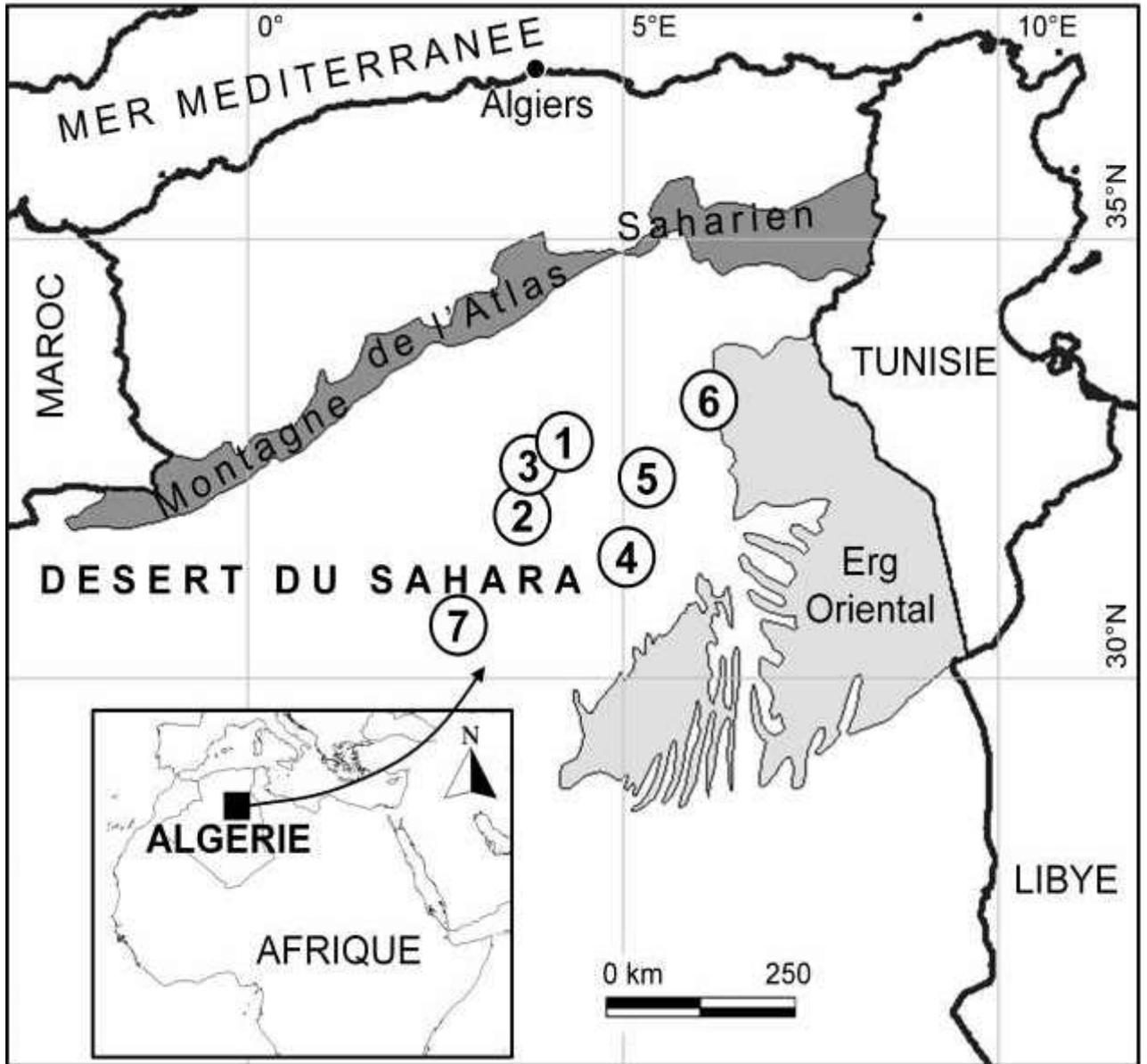


Figure 05 : Localisation stations d'étude (Map infos 8.0 Modifiée).

II-1-3 Prospection et collecte des truffes

• Prospections

Durant la période d'étude étalée entre 2006 et 2012, des prospections régulières (hebdomadaires) de nos stations ont eu lieu, à partir de début de janvier au mois de mars, période correspondant à l'apparition des truffes du désert (Chafi *et al.*, 2004 ; Bradai *et al.*, 2014).

• Méthode de détection des truffes du désert

Les ascocarpes de la truffe du désert ont été détectés *in situ* par la méthode dite « à la marque », en observant les fissures et les surfaces gonflées du sol auprès de plantes hôtes du genre *Helianthemum* (Awameh et Alsheikh, 1978 ; Taylor *et al.*, 1995 ; Bradai *et al.*, 2013, 2014). (Voir photos 01, 02).



Photo 01 : Surfaces du sol gonflées et fendillées par truffe du désert



Photo 02 : Craquelures dues à la présence de la truffe du désert

II-1-4 Mesures effectuées sur le terrain

• Nombre et poids des ascocarpes

Après avoir repéré des carpophores des truffes du désert, nous avons compté le nombre des ascocarpes existants par plante symbiotique. Pour cela, nous avons creusé aux alentours des racines de la plante symbiotique, puis examiné le système racinaire sans déraciner la plante. Par la suite, nous avons effectué un comptage des Terfez rencontrés par plante (Photo 03).

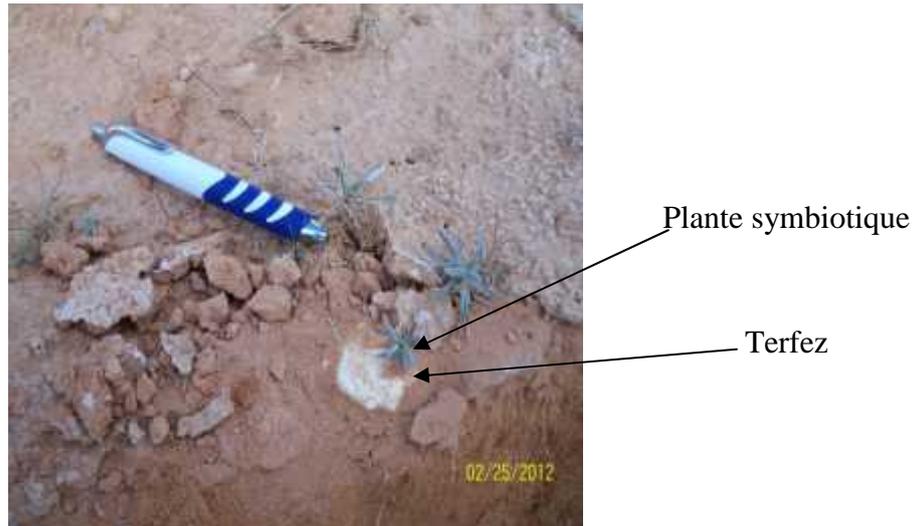


Photo 03 : Examen des racines de la plante hôte

Chaque ascocarpe récolté a été pesé sur place à l'aide d'une balance électronique (avec un degré d'erreur de ± 0.01 g), ensuite mis dans un sachet pour l'identification des espèces au niveau du laboratoire.

- **Fréquence d'occurrence des espèces de Terfez**

La fréquence d'occurrence de l'espèce (P_i) est encore appelée l'abondance relative. Si dans un peuplement donné n_i est le nombre d'individus d'une espèce i et N le nombre total d'individus que comporte le peuplement on aura :

$$P_i = n_i / N$$

(Ramade, 2008).

- **Profondeur du champignon dans le sol**

Avant la collecte systématique de chaque ascocarpe de truffe repéré, nous avons mesuré à l'aide d'un pied à coulisse la profondeur de l'ascocarpe dans le sol, qui désigne la distance verticale entre la surface du sol et le point d'attachement de la truffe avec la racine de la plante symbiotique.

- **Distance champignon tige**

Nous avons mesuré la distance comprise entre le collet de la tige et le point d'attachement racinaire de Terfez, à l'aide d'un pied à coulisse.

- **Plante symbiotique (plante hôte)**

Les plantes symbiotiques sont identifiées sur place, au moment de la récolte des Terfez. Nous avons noté le stade végétatif de la plante symbiotique.

L'identification de la plante symbiotique, a été effectuée à l'aide des descriptions citées par **Ozenda (2004)** et **Chehma (2006)**.

- **Densité relative de la plante symbiotique**

Elle correspond à la proportion du nombre d'individus d'une espèce par rapport au nombre total (**Ramade, 2008**). Elle est calculée selon la formule :

$$\text{Densité relative} = \frac{\text{Nombre de plantes symbiotiques dans la parcelle}}{\text{Nombre Total de plantes recensées dans la parcelle}} \times 100$$

- **Végétation**

Nous avons procédé à la confection d'un herbier pour les espèces rencontrées. L'identification des espèces est réalisée à l'aide des descriptions citées par **Ozenda, (2004)** et **Chehma, (2006)**. L'identification des types biologiques a été effectuée selon Chehma, (2005).

II-2 Etude mycologique des Terfez

L'étude mycologique a été effectuée par des observations sous la loupe binoculaire et par la microscopie photonique des truffes récoltées, à partir des sites prospectés et conservées sans lavage à 9 °C.

Pour la morphologie des échantillons collectés, nous nous sommes intéressés surtout aux aspects suivants :

- ✓ La présence ou non de pédoncule à la base des individus de *Terfez* récoltés ;
- ✓ La forme des corps fructifères, qui a été déterminée en mesurant le grand et le petit diamètre ;
- ✓ La couleur du péridium et de la gléba selon le code Munsell du sol ;

Pour l'apparence et les dimensions des asques et des ascospores des espèces récoltées, des échantillons frais de *Terfez* sont coupés à la main avec une lame de rasoir puis mis en solution de KOH 5%, et colorés avec le réactif de Melzer (**Ferdman et al., 2005 ; Bradai et al., 2014**).

Diverses caractéristiques telles que la forme, le nombre d'ascospores par asque, la couleur et l'orientation des ascospores sont observés sous microscope optique, connecté à un micro-ordinateur pour calculer les dimensions des asques et des ascospores, à l'aide du logiciel Bio microscopique Motic Image plus 2.0.

II-3 Etude taxonomique

Une fois l'étude mycologique effectuée, l'étude taxonomique a concerné l'ensemble des échantillons collectés à partir des différentes stations prospectées.

II-3-1 Identification du genre

L'identification de genre est basée sur la propriété de la coloration des asques par la méthode Chloro-ido-iodure ou réactif de Melzer.

Le principe de cette méthode est basé sur la coloration des parois amyloïdes suite au taux et la présence d'amidon dans les parois. Les asques du genre *Terfezia* se colorent en jaune ou orange, et ceux du genre *Tirmania* prennent une teinte grise bleue (**Trappe, 1979 ; Alsheikh, 1994 ; Ferdman et al., 2005**).

Le réactif de Melzer a été préparé au niveau du laboratoire, en tenant compte de la composition suivante :

Eau bi-distillée	100 g
Iodure de potassium	5 g
Iode	1,5 g
Hydrate de chloral	100 g

(Heinemann, 1945).

Plusieurs observations successives s'imposent après des temps de 4, 6, 24, jusqu'à 48 heures, afin de confirmer la coloration finale des asques.

II-3-2 Identification des espèces

L'identification des espèces est réalisée à partir de la comparaison des caractères morphologiques, des dimensions des corps fructifères, les asques et les spores des espèces récoltées, avec les descriptions de **Trappe (1979)** (annexe 02) ; **Ferdman et al., (2005)** et **Khabar (2014)**.

II-4 Etude bioécologique des Terfez

II-4-1 Etude du couvert végétatif des terrains truffiers

Des relevés floristiques systématiques, pour chaque station d'étude ont été effectués au moment de la récolte des Terfez. L'identification des plantes a été faite selon les travaux de **Ozenda (2004)** ; **Chehma (2005, 2006)**.

II-4-2 Etude climatique

Vu que nous ne disposons pas de stations météorologiques installées au niveau de chaque station, les données climatiques retenues sont celles relevées par les stations météorologiques les plus proches de l'Office National Météorologique.

Par la suite, nous avons effectué une extrapolation climatique des données avec latitude et longitude de chaque station, par le logiciel New_LocClim version 1.10 (www.fao.org/nr/climpag/pub/en3_051002_en.asp ; **Grieser et al., 2006**).

Ce traitement numérique des données, nous permet d'obtenir la classification climatique de nos sites, leur production primaire nette, et de calculer quelques indices climatiques (Indice d'aridité, Indice radiatif d'aridité de Budyko, Déficit de Précipitation (mm/an), Indice de continentalité de Gorczynski, Indice De Martonne).

II-4-3 Etude du sol des sites prospectés

Au niveau de chaque point de récolte des truffes, des échantillons de sol sont prélevés, à une profondeur comprise entre 10 et 25 cm de la surface. Ils sont par la suite séchés à l'air libre à 25 C°, tamisés à l'aide un tamis de 2 mm et analysés pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques en utilisant des procédés standard (**Baize, 2000**).

• Granulométrie

La granulométrie est obtenue par la méthode de tamisage. Cette méthode qui s'effectue sur une prise de terre fine (éléments < 2 mm), a pour but de déterminer le pourcentage des différentes fractions minérales constituant les agrégats.

Le tamisage consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut en bas (1mm, 500µm, 250µm, 125µm, 63µm, 45µm).

• pH

Le pH est mesuré au pH mètre à électrode en verre, avec un rapport terre/eau de 1/2.

• Conductivité électrique

Déterminée à l'aide d'un conductimètre à 25°C avec un rapport terre/eau de 1/5.

• Calcaire total

Le dosage du calcaire total est basé sur la méthode volumétrique (calcimètre de Bernard). Nous utilisons la propriété du carbonate de calcium à se décomposer sous l'action d'un acide en gaz carbonique. Ce dernier est recueilli dans un tube gradué en ml (**Baise 2000**).

• Matière organique

Elle est basée sur le dosage du carbone organique existant dans les échantillons par la méthode de Anne. Le principe est basé sur l'oxydation du carbone organique par du

bichromate de potassium en milieu sulfurique, s'ensuit une titration de l'excès de bichromate de potassium par une solution de sel de Mohr, en présence de diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert (Aubert, 1978 ; Baise 2000).

Le taux de matière organique est obtenu par la formule suivante :

$$\text{Matière organique \%} = \% \text{ CO} \times 1,72$$

• Bilan ionique

Les anions SO_4^{-2}

Les anions SO_4^{-2} sont dosés par la méthode gravimétrique après précipitation sous forme de chlorure de baryum.

Les anions HCO_3^-

Pour le dosage de HCO_3^- , nous avons réalisé une titrimétrie au H_2SO_4 .

Phosphore total

Afin de déterminer le taux de phosphore total, nous l'avons procédé en quatre étapes :

- Extraction de P par l'acide nitrique concentré à chaud ;
- Précipitation du P à l'état de phosphate– molybdate d'ammonium ;
- Dissolution de ce précipité dans un excès de soude ;
- Titrage de l'excès de soude par l'acide sulfurique.

Dosage de Ca^{++} , Mg^{++} et K^+ solubles

Le dosage de ces cations a été réalisé à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption atomique, pour un extrait terre/eau de 1/5.

II-5 Traitement des données

Les statistiques descriptives ont été effectuées pour décrire toutes les valeurs quantitatives obtenues, concernant chaque espèce de truffe, pendant la période de l'étude et pour toutes les stations.

- ✓ Un test du chi-carré de Pearson (χ^2) a été réalisé pour tester l'hypothèse nulle selon laquelle il n'existe pas d'association entre la présence d'espèces de truffes du désert et les sites d'étude.
- ✓ Les moyennes et les écarts-types des paramètres quantitatifs du sol ont été donnés pour chaque site. Après l'évaluation de la distribution normale et l'homogénéité des données par le test de normalité de Shapiro-Wilk, tous les paramètres du sol ont été testés pour des différences significatives entre les sites échantillonnés à l'aide de One-Way ANOVA, suivi du test de Tukey lorsque le test est positif.
- ✓ Pour tester l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence dans la production (g / ha) et la réalisation de la fréquence d'occurrence de chaque espèce de truffe du désert entre les sept (07) sites échantillonnés, le test Chi carré de Pearson (χ^2) a été appliquée à $\alpha = 0,05$.
- ✓ Pour modéliser les effets des paramètres climatiques étudiés sur la variation annuelle de la production de chaque espèce de truffe ainsi que la production totale dans chaque site, les modèles linéaires (M.L.) ont été utilisés. Dans chaque modèle, les productions annuelles (totales et spécifiques) sur chaque site ont été associées à des valeurs annuelles des paramètres climatiques. Le résumé de M.L. a été donné pour chaque production, y compris Multiple R^2 (MR^2), ajusté R^2 (AR^2), statistique F (F) avec P-valeur (P).
- ✓ Pour voir la relation entre les poids individuels des ascocarpes des Terfez récoltés et les paramètres édaphiques, nous avons utilisé les modèles linéaires généralisés (M.L.G.). Dans chaque M.L.G. retenu, il s'agit d'une régression linéaire, permettant au paramètre étudié d'être relié à la variable réponse via une fonction lien et en autorisant l'amplitude de la variance de chaque mesure d'être une fonction de sa valeur prévue.

R-commander (Rcmdr) a été utilisé comme logiciel statistique pour les calculs (Chambers, 1992 ; Fox, 2005 ; R Development Core Team, 2014).

Chapitre III
Résultats et Discussions

III-1 Etude analytique des Terfez récoltés

III-1-1 Taxonomie des Terfez récoltés

Généralement, les truffes du désert au niveau des stations d'étude, sont détectées, par l'observation des surfaces du sol gonflées et fendillées, aux alentours des plantes hôtes (Photos 1, 2).

Certains éleveurs nomades rapportent que quelques caprins savourent et recherchent les Terfez. En effet, lorsque l'animal repère une truffe du désert par l'odorat, il commence à creuser avec ses membres postérieurs, afin de retirer une partie ou la totalité du l'ascocarpe.

Les ascocarpes de la truffe du genre *Tuber* sont repérés à l'aide de certains animaux. Ce sont surtout des chiens et des truies dressés à cet effet, qui repèrent le champignon grâce à son odeur caractéristique (Delmas, 1983 ; Callot et al., 1999 ; Ricard et al., 2003).

L'étude taxonomique réalisée par observation à l'œil nu, à la loupe binoculaire et au microscope optique photonique, nous a permis d'identifier trois (03) espèces des truffes du désert récoltées à partir des différents stations d'étude.

Le test de Melzer nous a permis d'avoir deux colorations de spores : deux espèces que leurs spores se colorent en jaune, c'est le genre *Terfezia*, et une espèce que ses spores prennent une teinte grise bleue c'est le genre *Tirmania* (Trappe, 1979 ; Alsheikh, 1994).

Ces espèces appartiennent à la famille des *Pezizaceae* et réparties sur deux (02) genres *Terfezia* et *Tirmania*, à savoir :

1. *Tirmania nivea* Trappe, communément appelée "Terfesse Labyadh" ;
2. *Terfezia arenaria* (Moris) Trappe, connue sous le nom vernaculaire "Terfesse Lahmar" ;
3. *Terfezia claveryi* Chatin, connue localement sous le nom de "Terfesse Lakhal".

III-1-2 Caractérisation morphologique et mycologique des Terfez récoltés

Les ascocarpes des truffes récoltées ont un aspect général globuleux, de forme lobée et présentant un pied (pédicelle) à sa base.

L'observation sous la loupe binoculaire pour l'ensemble des espèces, montre que la surface du Péridium est relativement lisse, hérissée de minuscules pyramides de 3 à 4 faces, formant de petites écailles polygonales.

Les glèbes sont parcourues de petites veines (sillons) de couleur pâle jaunâtre.

La couleur du péridium et celle de gléba diffère d'une espèce à l'autre et selon le stade de maturation.

Les mycéliums sont tous de couleur blanche et de forme isodiamétriques. Ce résultat montre que les truffes étudiées ont les mêmes critères que les truffes de la famille des *Terfeziaceae*, particulièrement celles du Maroc (**Khabbar, 2014**) et de la Tunisie (**Slama et al., 2006**).

III-1-2-1 *Terfezia arenaria* (Moris) Trappe

Ascocarpe :

Subglobuleux, tubériformes, de 05 à 12 cm de diamètre, présentant un pédoncule à la base, couleur marron foncée, passant à brune noirâtre (Photo 04).

Péridium

0,75 à 1,80 mm d'épaisseur, brunâtres, souvent craquelé à surface lisse, composé de grandes cellules isodiamétriques, parallèles, de 12 à 25 × 14 à 37 μm (Photo 06).

Gléba

Charnue, d'aspect spongieux, rougeâtre marbrée à rose, avec veines irrégulières de largeur 1,4 à 3,7 mm. Les hyphes des veines stériles et fertiles ont des parois minces de 6,8 à 10,5 μm de largeur, à paroi mince (Photo 05).

Asques

Subglobuleux, parfois ovoïdes, mesurant de 62 à 71 × 73 à 83 μm, contenant 6 spores à maturité, hyaline, à paroi mince.

Ascospores

Librement disposés à l'intérieur des asques, de taille de 21 à 25 × 22 à 23 μm et de forme sphérique (Photo 07).



Photo 04 : Ascocarpe de *Terfezia arenaria*



Photo 05 : Gléba de *Terfezia arenaria*

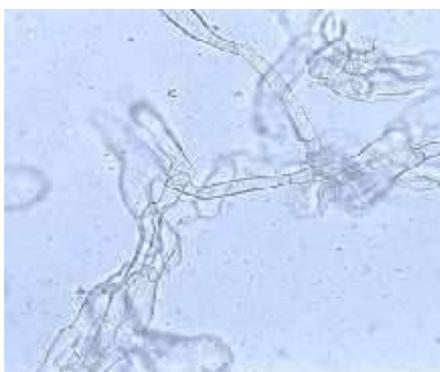


Photo 06 : Hyphes de *Terfezia arenaria*
(Gr x 400)

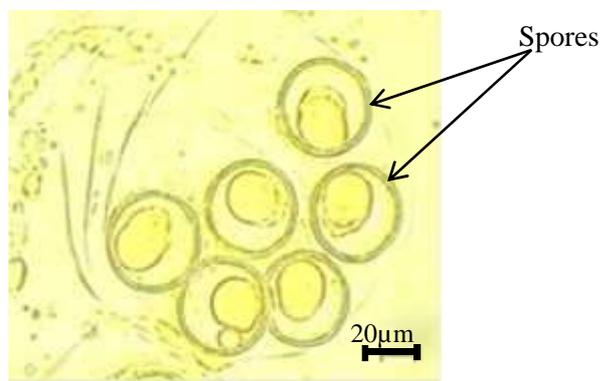


Photo 07 : Ascospores de *Terfezia arenaria*

III-1-2-2 *Terfezia claveryi* Chatin 1892

Ascocarpes

4,5 à 10 cm de diamètre, subglobuleux, parfois piriformes à pédicelle, surface stérile bombée, ochracé à brun clair à marron, brun noirâtre à maturité (Photo 08).

Péridium

0,8 à 1,2 mm d'épaisseur, de couleur orange-brun, composé d'hyphes à parois minces avec des cloisons, de largeur de 7, 80 à 18, 20 μm (Photo 10).

Gléba

Charnue, compacte, d'abord de couleur jaunâtre puis rougeâtre à maturité, divisée par des nervures plus pâles. Les hyphes des veines stériles et fertiles ont des parois plus ou moins épaisses de 08,3 à 12,5 μm de largeur, à paroi mince (Photo 09).

Asques

Globuleux, contenant 08 spores disposées aléatoirement dans le tissu des hyphes, 73 à 93 \times 62 à 74 μm .

Ascospores

De forme globuleuse ayant 17 à 22 μm de diamètre (Photo 11).



Photo 08 : Ascocarpes de *Terfezia claveryi*



Photo 09 : Gléba de *Terfezia claveryi*

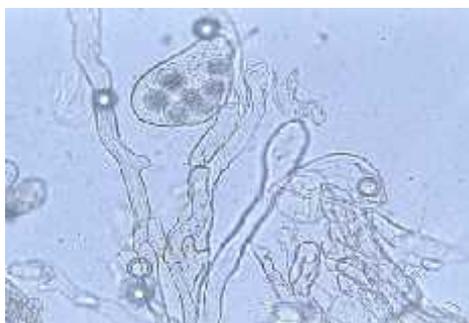


Photo 10 : Hyphes de *Terfezia claveryi*
(Gr x 400)

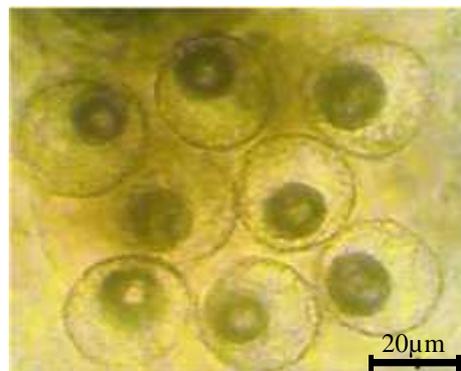


Photo 11 : Spores de *Terfezia claveryi*

III-1-2-3 *Tirmania nivea* Trappe

Ascocarpes

Souvent subglobuleux ou piriformes et lobés, lisses, avec un pédicelle court. Couleur blanchâtre à crème parfois. Diamètre de 4 à 10,5 cm (Photo 12).

Péridium

Son épaisseur est de 1,5 à 2mm, blanc lacté à jaune. Il est composé d'hyphes plectenchymateux de 5 à 7 μm de largeur, les parois des cellules sont minces (Photo14).

Gléba

Blanche, charnue, solide, légèrement marbrée de quelques veines, largeur de 1,7 à 4,8 mm. Les veines stériles et fertiles ont une forme plus ou moins annulaire, constituées d'hyphes de 8 à 12 μm de largeur. Leur parois plus ou moins épaisses, parfois plus larges, peuvent atteindre 17 μm (Photo13).

Asques

De forme ellipsoïde à obovoïde, avec la présence de 08 spores amyloïdes, hyalines à paroi mince et à pédicelle court. Dimensions de 56 à 73 \times 38 à 47 μm (Photo15).

Ascospores

Sont librement disposés à l'intérieur des asques, de forme ellipsoïdale, ayant de 15 à 18 \times 11 à 13,5 μm de diamètre (Photo15).



Photo 12 : Ascocarpe de *Tirmania nivea*



Photo 13 : Gléba de *Tirmania nivea*



Photo 14 : Hyphes de *Tirmania nivea*
(Gr x 400)

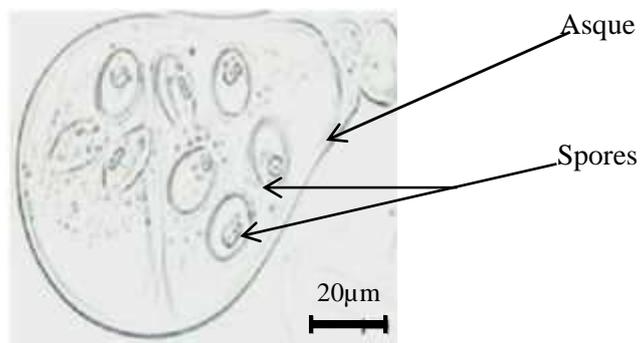


Photo 15 : Asque et spores de *Tirmania nivea*

Ces diverses descriptions morphologiques et anatomiques de *Terfezia arenaria*, *Terfezia clavariet* et *Tirmania nivea* ont également été mentionnées par **Malencon (1973)**, **Trappe (1979)**, **AlSheikh et Trappe (1983)**, **Bokhary (1987)**, **El-Kholy (1989)**, **Moreno et al., (2002)** **Ferdman et al., (2005)** et **Khabar (2014)**.

III-1-3 Répartition géographique des Terfez récoltés

La figure 06 illustre la répartition géographique des espèces de truffe du désert, récoltées dans les différentes stations du Sahara septentrional algérien.

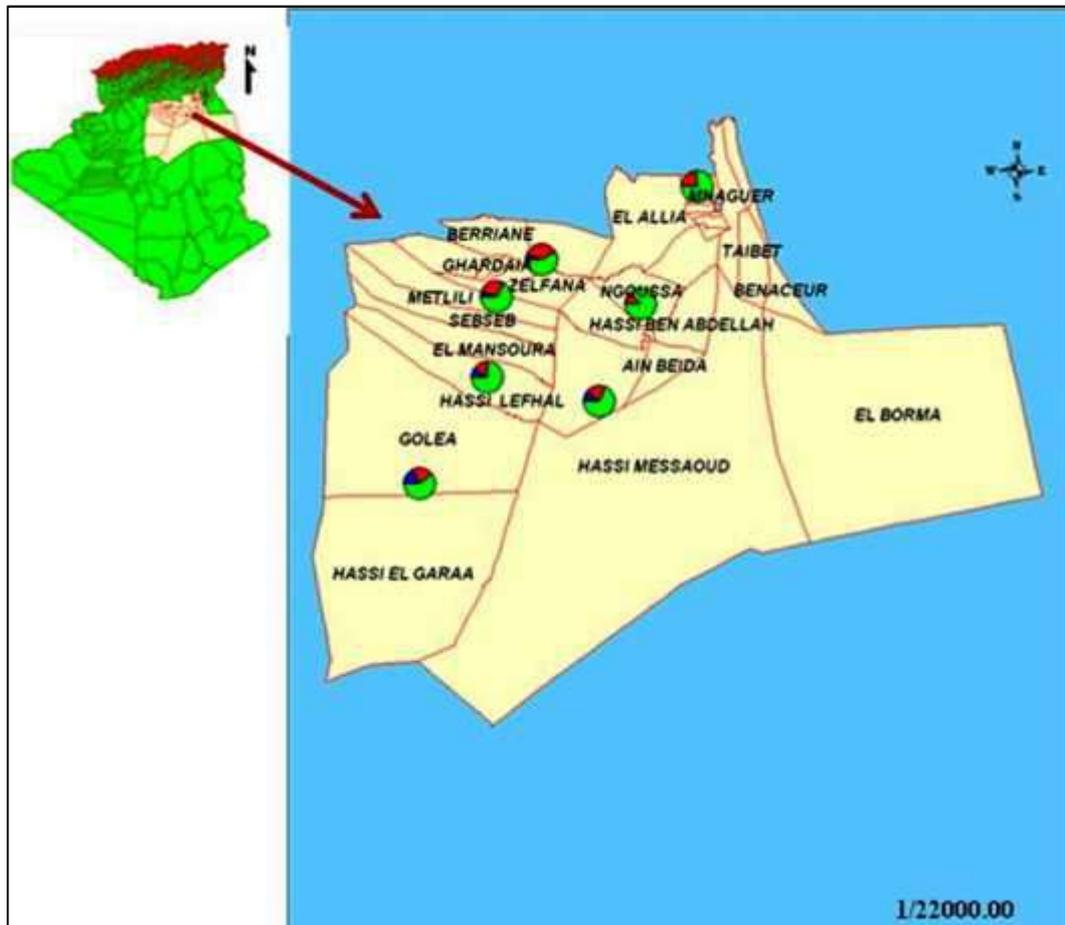


Figure 06 : Répartition des truffes du désert dans le Sahara Septentrional algérien (SIG Map) : Vert (*Tirmania nivea*), Rouge (*Terfezia arenaria*), et Bleu (*Terfezia claveryi*).

Tirmania nivea et *Terfezia arenaria* sont retrouvées dans tous les sites et durant toutes les années de récolte, contrairement à *Terfezia claveryi*, qui non seulement sa présence était sporadique, mais elle est également absente dans certains sites comme Oued N'ssa et Oued Righ.

Terfezia claveryi, est largement répandue dans la région méditerranéenne (Khabar, 2014 ; Chevalier 2014). Elle fut citée pour la première fois en Algérie par Chatin en 1891 dans les parcours de Laghouat.

Généralement, *Terfezia arenaria* est très commune dans les pays d'Afrique du Nord (Khabar, 2014). En Algérie, cette espèce a été signalée à Bou-Saâda et dans la région de Zeriguet à Béchar par Fortas et Chevalier (1992).

Terfezia arenaria constitue le Terfez du bassin méditerranéen occidental. Il a la plus large répartition géographique en Europe (Hongrie, Portugal, Espagne, Italie, Grèce, Roumanie) et en Afrique du Nord (Chevalier 2014).

Tirmania nivea a été décrite pour la première fois en Algérie à Biskra, à Barika et à Batna par Chatin (1891). Fortas et Chevalier (1992), rapportent que cette espèce a été également repérée à l'Ouest de Naama et dans la région de Zériguet à Bechar.

D'une manière générale, la distribution des espèces est fortement liée aux conditions climatiques et pédologiques (Kagan-Zur et Roth-Bejerano, 2008).

Les pays d'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Libye, et l'Égypte) présentent une grande diversité d'espèces de truffes du désert. Une douzaine d'espèces sont réparties un peu partout, avec une distribution spécifique en fonction de la nature du sol et du climat (Khabar, 2014).

Toutefois, certaines espèces de truffes ont été retrouvées au Botswana en Afrique du Sud (Marasas et Trappe, 1973 ; Trappe *et al.*, 2008) et en Amérique du Nord (Trappe et Sundberg, 1977).

III-1-4 Fréquence d'occurrence des espèces des Terfez

Durant la période d'étude (entre 2006 et 2012), un total de 78 ascocarpes de truffes du désert ont été récoltés dans les stations d'étude. La fréquence des espèces par site est mentionnée dans la figure 06.

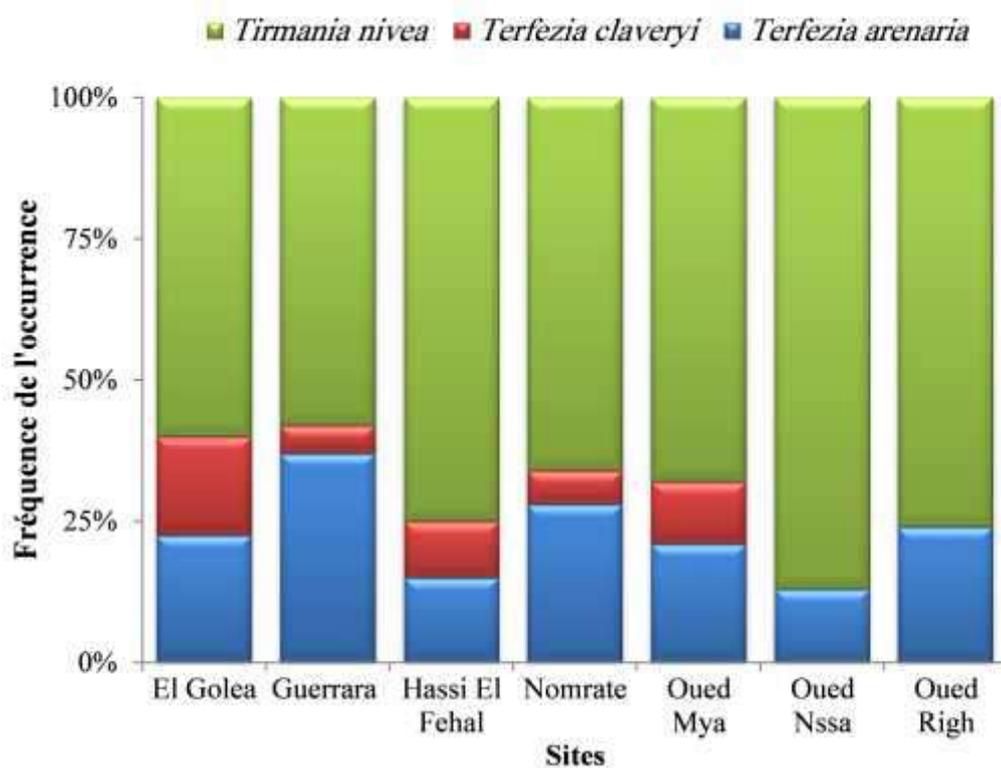


Figure 07 : Fréquence d'occurrence des espèces des Terfez par site

L'espèce la plus fréquente dans tous les sites explorés est *Tirmania nivea* avec une occurrence moyenne égale à $70 \pm 10.1\%$. D'après le test Chi-carré, il n'y a aucune différence significative ($\chi^2=8.77$, $P=0.187$) entre les sites d'étude pour les valeurs d'occurrence de cette espèce.

Les espèces du genre *Tirmania* sont les plus abondantes dans les zones arides, subsahariennes et sahariennes (**Khabar, 2014**).

Tirmania nivea est l'espèce la plus abondante des Terfez, elle se trouve dans le bassin méditerranéen à la péninsule arabique (**Alsheikh 1994 ; Awameh et Alsheikh 1979 ; Alsheikh et Trappe, 1983 ; Diez et al., 2002 ; Chevalier, 2014**).

En deuxième position venait *Terfezia arenaria* dont la fréquence d'occurrence variait de 19 à 37% avec une moyenne de $22,9 \pm 8,1\%$. La fréquence d'occurrence de cette espèce est significativement différente entre les sites d'étude ($\chi^2=17.02$, $P=0.009$). Tandis que *Terfezia claveryi* était faiblement représentée avec une fréquence d'occurrence variant entre 0–17% avec une moyenne de $9,9 \pm 5\%$.

Terfezia arenaria est fréquente Afrique du Nord, notamment au Maroc, dans la forêt de la Mamora (nord de Rabat). Il est rare en France, où sa limite nord est près de Bordeaux (Chevalier, 2014 ; Khabar, 2014).

Bien que *Terfezia claveryi* soit l'espèce la moins fréquente, son abondance relative est très hautement significativement entre les sites échantillonnés ($\chi^2 = 33.69$, $P < 0.001$), cela peut être expliqué par le fait que cette espèce est fréquente uniquement dans certains sites, où certains paramètres bioécologiques seraient favorables à son développement.

Terfezia claveryi est largement ré pondue dans la région méditerranéenne, des pays d'Afrique du Nord à l'Asie Mineure. Dans la péninsule ibérique, notamment dans les régions du sud, du sud-est et du centre, à partir du niveau de la mer jusqu'à environ 1100 m (Chevalier, 2014 ; Khabar, 2014 ; Kagan-Zur *et al.* 2014).

III-1-5 Poids individuel des ascocarpes

La variation du poids individuel des ascocarpes (figure 07), montre que celui de *Terfezia arenaria* est le plus important, avec une moyenne de $64,67 \text{ g} \pm 16,30 \text{ g}$, légèrement supérieur à celui de *Terfezia claveryi* qui est d'une moyenne de $62,93 \text{ g} \pm 12,01 \text{ g}$. Le poids de l'ascocarpe de *Tirmania nivea* est le moins important par rapport aux deux autres espèces avec une moyenne de $59,29 \text{ g} \pm 17,09 \text{ g}$.

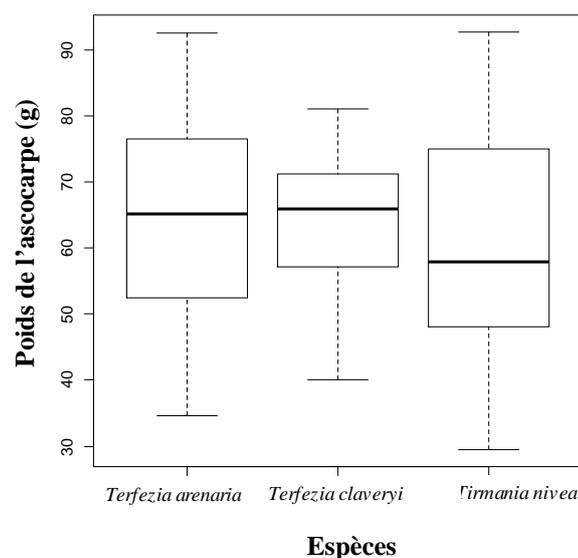


Figure 08 : Box plots des poids individuels de l'ascocarpe des espèces de Terfez

Le poids des ascocarpes de Terfez varie généralement de 30 à 300 g (**Kagan- Zur et Roth-Bejerano, 2008**) ; et même parfois plus, de 400 à 500 g pour des spécimens récoltés respectivement en Afrique du Sud et au Botswana (**Trappe et al., 2008a**) ; 700 g ou plus d'1 Kg pour *Tirmania nivea* (**Hussain et Al- Ruqaie, 1999 ; Pegler, 2002**).

III-1-6 Nombre d'ascocarpes de Terfez récoltés par plante symbiotique

Lors de nos prospections et durant les opérations de recherche et de récolte de la truffe du désert, le nombre d'ascocarpes associés à une plante est compris entre une seule truffe et trois truffes par plant (photo 16).



Photo 16 : Trois ascocarpes pour une seule plante hôte.

Dans toutes les stations, au moins un carpophore de Terfez est cueilli par plant, (figure 09). Néanmoins, trois (3) carpophores symbiotes à une seule plante, ont été trouvés uniquement au niveau de la station de Noumerate. Dans la station de Hassi El Fehal et celle de Oued N'ssa nous avons pu récolter deux (2) ascocarpes par plante symbiotique.

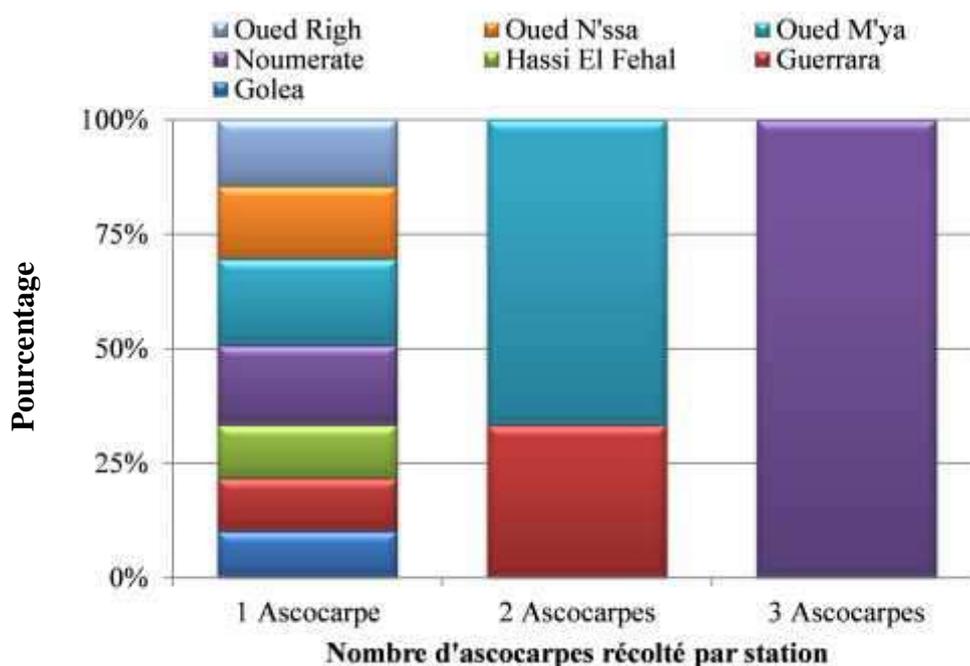


Figure 09 : Pourcentage de nombre d’ascocarpes de Terfez récoltés par plant et par station.

Concernant les espèces, trois (3) carpophores symbiotes à une seule plante n’est récolté que pour *Tirmania nivea* ; contrairement à *Terfezia claveryi* qu’ un seul ascocarpe est récolté par plante symbiotique (figure 10).

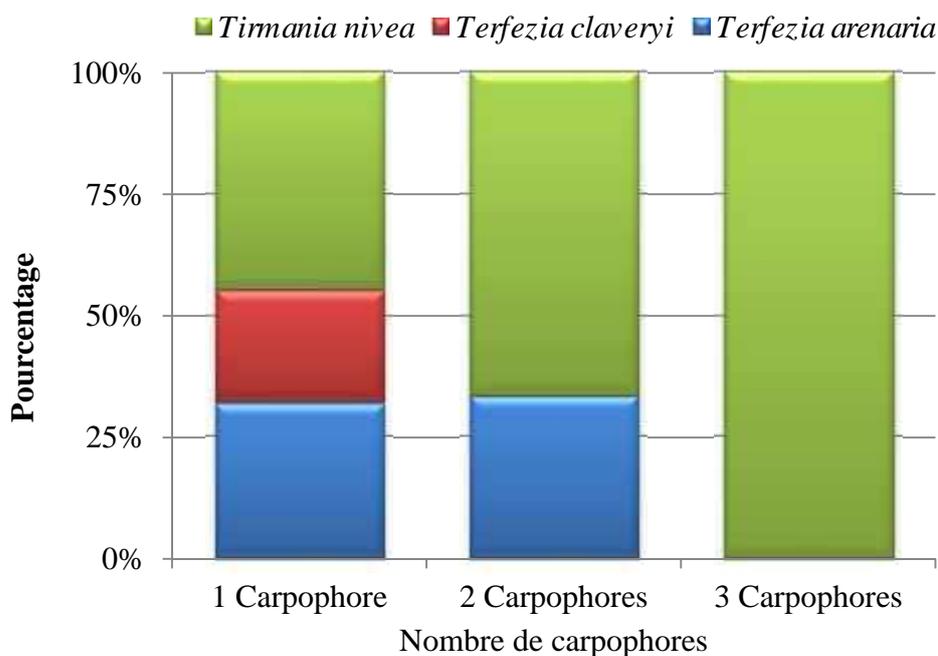


Figure 10 : Taux des nombre des carpophores récoltés selon les espèces

La variation de nombre de Terfez récoltés par plante symbiotique est liée étroitement aux niveaux de la colonisation mycorhizienne des racines par la truffe.

Ces niveaux sont conditionnés par les stress hydriques, reflète la capacité des champignons mycorhiziens à aider les plantes à faire face à ce type de déficit (**Bethlenfalvay et Linderman 1992 ; Smith et Read 2008**).

Le stress hydrique causé par la sécheresse, est connu pour augmenter les teneurs en acide abscissique dans les racines. Cela permet leur allongement en combinaison avec les conditions de sécheresse du milieu (**Smith et Read 2008**).

Les deux éléments clés qui déterminent la nature de la mycorhizie semble être la concentration d'auxine sécrétée par les champignons et la sensibilité de la racine à l'auxine. Le niveau du phosphate dans le sol jouera également un rôle dans la détermination le développement de la forme des mycorhizes (**Barker et Tagu, 2000 ; Smith et Read 2008**)

III-1-7 Profondeur de Terfez

Les résultats du box plots relatifs à la profondeur d'ascocarpes de Terfez (figure 11), montrent une variabilité interspécifique.

En effet, pour l'ensemble des espèces, les truffes du désert sont récoltées à une profondeur moyenne de $05,14 \pm 0,96$ cm. *Tirmania nivea* est l'espèce hypogée la moins profonde avec une profondeur moyenne de $4,92 \pm 1,21$ cm, contrairement à *Terfezia claveryi* qui est récoltée plus profondément dans le sol avec une moyenne de $5,46 \pm 0,76$ cm. Cette profondeur est légèrement supérieure que celle de *Terfezia arenaria* pour laquelle la moyenne des profondeurs des ascocarpes est de $5,04 \pm 0,93$ cm.

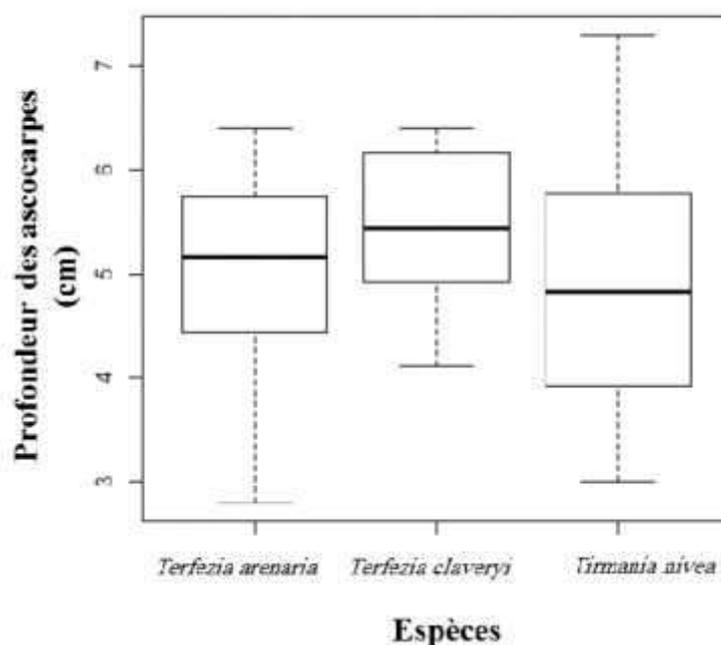


Figure 11 : Box plots des profondeurs de carpophores des espèces récoltées

De point de vue effet de la profondeur de l'ascocarpes sur la production (figure 12), les résultats du modèle linéaire généralisé (M.L.G.) montrent que le poids individuels d'ascocarpes des Terfez, et pour l'ensemble des espèces diminue d'une manière très hautement significative avec la profondeur ($Z = -6.41$; $P < 0.001$).

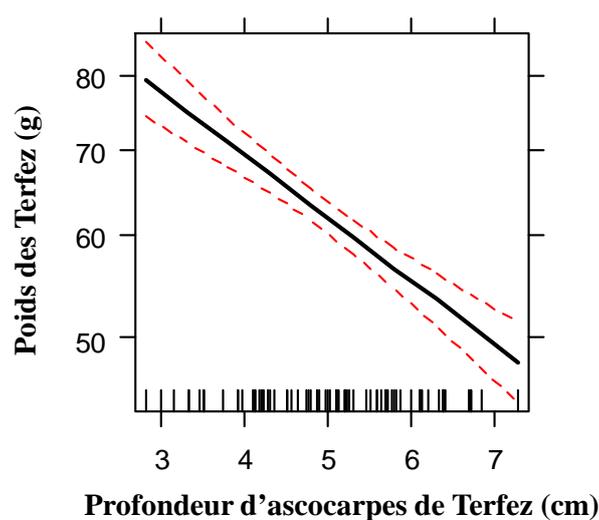


Figure 12 : Courbe des modèles linéaires généralisés de la variation du poids individuels des ascocarpes en fonction de la profondeur.

Selon **Malençon (1973)**, les espèces du genre *Terfezia* demeurent hypogées jusqu'à maturation, alors que celles du genre *Tirmania* (qui sont plus communes sur les terrains gypseux) affleurent la surface du sol à maturité, ce qui a amené certains auteurs à les qualifier de Terfez épigés ou semi épigés (**Malençon, 1973 ; Khabar, 2002**).

Les carpophores de *Tirmania nivea* apparaissent assez près de la surface du sol une partie de l'ascocarpe apparaît souvent comme une petite pierre blanche (**Loizides, 2012**).

Les truffes du désert se développent sous le sol en profondeur entre 5 et 10 cm. Elles sont généralement collectées par des spécialistes qui possèdent une certaine expérience à explorer ce type de champignons (**Boukhari et Parvez, 1993**).

Bessah (1999), signale que les Terfez de la région de Djelfa naissent et vivent sous le sol, entre 10 et 25 cm de profondeur. Cependant, Callot (1999), indique que l'ascocarpe du genre *Tuber* se développe à des profondeurs comprises entre 5 et 40 cm, sous le sol.

III-2 Caractérisation de la symbiose des Terfez

L'étude de la bio-écologie de la truffe du désert (Terfez.), est fortement liée aux variations des critères morphologiques de la symbiose mycorhizienne entre ce champignon et la plante hôte.

III-2-1 Plante symbiotique

III-2-1-1 Identification

L'identification des espèces végétales symbiotes avec les Terfez, révèle que les truffes du désert récoltées dans toutes les stations, sont des champignons symbiotes avec des plantes du genre *Helianthemum*, notamment l'espèce *Helianthemum lippii* (photo 17).

Cette plante est appelée localement **Reguigue**.



Photo 17 : *Helianthemum lippii* (Reguigue) plante symbiotique du Terfez

Souvent, les plantes symbiotiques des Terfez sont des plantes de la famille des *Cistaceae* (**Kagan- Zur et al., 2014**).

L'espèce végétale symbiotique avec les Terfez diffère d'une région à une autre : *Helianthemum ledifolium* et *Helianthemum salicifolium* au Koweït (Awameh, 1979), avec *Helianthemum gattatum* en Algérie (**Fortas et al., 1990 ; Ozenda, 2004**), au Maroc (**Khabar et al., 1994**).

D'après nos observations sur le terrain, la période d'apparition de la truffe du désert correspond au stade floraison ou dans certains cas, en début de fructification de la plante. Ce constat était même signalé par **Slama et al. (2006)**.

III-2-1-2 Description

Plante : Petite plante herbacée

Tige : Courte dressée et de couleur blanchâtre

Feuilles : Longues, opposées, velues et de couleur verte blanchâtre

Fleurs : Petites fleurs jaunes

D'après **Chehma (2006)**, ce petit arbrisseau très rameux, à tiges raides et en partie lignifiées, ne mesure guère plus de 30 cm de haut. Les feuilles opposées, allongées, sont

couvertes de très courts poils, ce qui leur donne une couleur verte blanchâtre. De minuscules fleurs jaunes, sessiles comme les feuilles, sont visibles en grappes, peu fournies à l'extrémité des rameaux. Elles comportent cinq pétales

Selon **Ozenda (2004)**, les rameaux sont peu intriqués, allongés, présentant des grappes mortes à hampe non persistante. Les sépales sont le principal critère de distinction des espèces, notamment leurs dimensions.

III-2-1-3 Systématique

Division	Magnoliophyta ou Angiospermae.
Classe	EU Dicotylédones.
Famille	Cistaceae.
Espèce	<i>Helianthemum lippii</i> .

(**Ozenda, 2004**)

III-2-1-4 Habitat

Helianthemum lippii, comme toute la famille des Cistacées, sont des plantes de souche méditerranéenne, bien représentées dans le Sahara Septentrional (**Ozenda.2004 ; Chehma 2006**).

Helianthemum lippii est retrouvé en pieds isolés, dans les terrains sableux caillouteux des lits d'oueds et des dépressions (**Chehma 2006**).

Aussi, *Helianthemum lippii* prospère en particulier les terrains rocheux du plateau du Tassili, de même qu'au bord des oueds plus sablonneux et au pied des falaises (**Benchelah et al., 2000**).

III-2-2 Densité relative de la plante symbiotique

La densité relative d'*Helianthemum lippii*, est de 28,27 % \pm 2,92% pour l'ensemble des stations, sachant qu'au niveau de la station d'El Goléa, nous avons enregistré la densité relative la plus élevée 30.14 %, contrairement à la station de Guerrara, où la densité relative d'*Helianthemum lippii* était la plus faible avec un taux de 23.74 % (Figure 13).

Cela peut être lié directement à la diversité floristique et aux conditions édapho-climatiques spécifiques à chaque station.

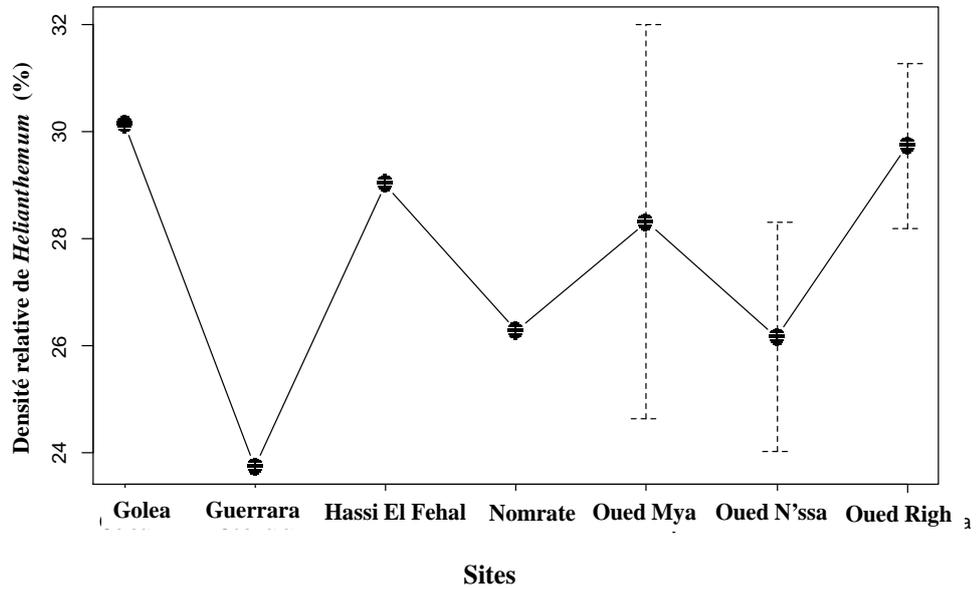


Figure 13 : Densité relative d' *Helianthemum lippii* dans les différentes stations d'étude.

Selon le modèle linéaire généralisé (Figure 14), et pour l'ensemble des stations, la densité relative d' *Helianthemum lippii* n'a aucun effet sur la production ni sur le poids individuel des Terfez récoltés ($Z = -1,29$; $P = 0,198$).

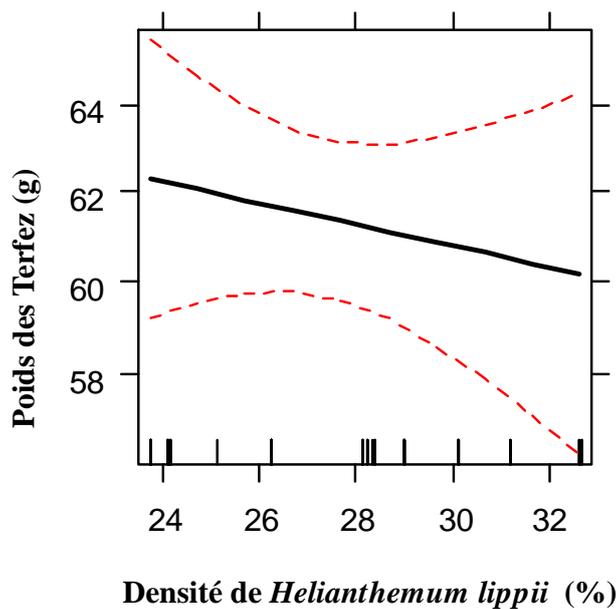


Figure 14 : Courbe du modèle linéaire généralisé du poids des Terfez en fonction de la densité d'*Helianthemum lippii*.

Khabar (2001), a constaté que le développement des Terfez nécessite la présence des "plantes- hôtes" en forte densité et en pleine vigueur.

Le choix des sites producteurs des Terfez de la Tunisie méridionale, est basé sur la forte densité relative des plantes du genre *Helianthemum* (**Slama et al., 2006**).

III-2-3 Description de la mycorhize

Les Terfez forment des mycorhizes avec les racines secondaires de l'*Helianthemum lippii*. Observées à l'œil nu, ces mycorhizes sont souvent de type ectomycorhizien, un feutrage dense et plus ou moins épais, capable au maximum, de s'insinuer entre les cellules des couches les plus extérieures de l'écorce (Photo 18).



Photo 18 : Ectomycorhize de *Tirmania*

Awameh et Alsheikh, (1980), ont montré que les hyphes de *Terfezia boudieri*, *Terfezia claveryi*, *Terfezia nivea* et *Tirmania pinoyi* forment avec les racines d'*Helianthemum salicifilium* des endomycorhizes.

Selon **Dexheimer et al. (1985)**, deux espèces du genre *Terfezia* forment sur les racines de *Helianthemum salicifilium*, soit des endomycorhizes (*Terfezia claveryi*) soit des ectomycorhizes (*Terfezia leptiderma*), présentant des caractères typiques, comme les hyphes

accolés contre la face interne de la paroi cellulaire pour les endomycorhizes, ou l'absence du manteau pour les ectomycorhizes.

III-2-4 Distance plante-Terfez

Les mesures de distances comprises entre l'*Helianthemum lippii*, et le carpophore de de *Tirmania nivea* ont fait sortir que ce dernier s'attache aux racines des plantes symbiotiques à une distance moyenne de 5.66 ± 1.37 cm de la plante symbiotique, plus proche que *Terfezia claveryi* et *Terfezia arenaria*, avec des distances moyennes de 6.40 ± 1.51 cm et 6.77 ± 1.83 cm respectivement (figure 15).

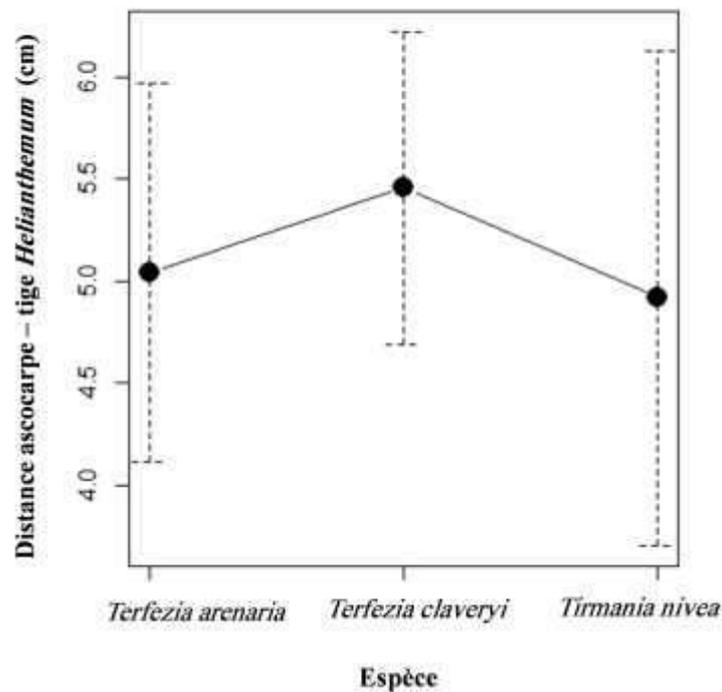


Figure 15 : Box plots des distances comprises entre le collet d' *Helianthemum lippii* et les carpophores des Terfez

Pour l'ensemble des stations, les distances séparant la plante symbiotique des Terfez était de 02, 40 cm à 11,20 cm, soit une moyenne de $6,18 \pm 1,8$ cm. Il n'y a pas de différence significatives entre les espèces de Terfez ($P = 0,542$).

Cette distance n'a aucun effet sur le poids individuel des Terfez récoltés comme le montrent les résultats des M.L.G. ($Z = -1.29$; $P = 0.198$). Ces variations de distances peuvent être dues aux longueurs et ramifications des racines qui sont surtout conditionnées par la nature physicochimique du sol et les précipitations.

La ramification et la longueur des racines influent sur la distribution des truffes dans le sol, vu que ce champignon hypogé symbiote, ne peut vivre indépendamment des arbres (Awameh et Alsheikh, 1980).

III-3 Caractérisation écologique des terrains truffiers

La caractérisation écologique des terrains truffiers est très importante. Elle repose sur une description de ces terrains, notamment la géomorphologie, le climat, le sol et la végétation.

Cette description permet de comprendre par la suite l'influence des facteurs du milieu sur la bio-écologie des Terfez.

III-3-1 Géomorphologie des terrains truffiers

Les zones productrices de truffes de désert sont surtout des dépressions (Daya) et des lits d'oueds (photos 19, 20, 21).



Photo 19 : Vue de la station de Hassi El Fehal.



Photo 20 : Vue de la station de Noumerate.



Photo 21 : Vue de la station d'El Goléa.

La tendance de Terfez à coloniser ces unités géomorphologiques n'est pas aléatoire, elle résulte du fait que ces formations se caractérisent par leur capacité d'accumuler les eaux de pluies, ce qui favorise le développement des hélianthèmes ainsi que les Terfez.

Roth-Bejerano et al. (1990) et **Khabar (2001)**, ont constaté que les Terfez des régions méditerranéennes se développent, dans la plupart des cas, dans des terrains plats ou bien dans des micro-vallées.

Ozenda (2004), affirme que les lits d'oueds, les Daya (dépressions) sont parmi les biotopes les plus favorables à l'installation de la végétation dans les régions sahariennes. En outre **Chehema et al. (2005)** attestent aussi que les lits d'oueds sont les habitats les plus riches et les plus diversifiés en espèces et en familles végétales dans le Sahara Septentrional.

D'après nos constatations dans les sites à vocation truffière et même au niveau de nos stations de suivis et de récoltes, dans la plupart des cas, l'action anthropique dans les sites truffiers est absente.

Plusieurs auteurs considèrent que les Terfez sont des champignons des régions naturelles (**Melaçon, 1973, Awmech et Alsheikh 1980, Frenny 2002 ; Chevalier, 2014**). En effet, les truffes se développent dans des terrains naturels et leur développement est perturbé par le travail du sol, ou toute perturbation comme le pâturage (**Slama et al., 2006**)

Ainsi, **Callot (1999)**, mentionne que le travail du sol est néfaste pour le développement du *Tuber melanosporium*.

III-3-2 Caractéristiques du couvert végétal naturel des terrains truffiers

A travers les différents relevés floristiques effectués nous avons recensé 38 espèces appartenant à 13 familles (Tableau 02) divisées en 09 plantes vivaces et 29 éphémères.

Tableau 02 : Espèces, familles, types biologiques du couvert végétatif des terrains truffiers.

Espèce	Famille	Type Biologique	
<i>Pancratium saharae</i>	<i>Amaryllidaceae</i>	Ephémère	
<i>Ammodaucus leucotricus</i>	<i>Apiaceae</i>	Ephémère	
<i>Ferula vesceritensis</i>		Ephémère	
<i>Pituranthos chloranthus</i>		Vivace	
<i>Pergularia tomentosa</i>		<i>Asclepiadaceae</i>	Vivace
<i>Anvillea radiata</i>	<i>Asteraceae</i>	Ephémère	
<i>Atractylis delicatula</i>		Ephémère	
<i>Bubonium graveolens</i>		Ephémère	
<i>Chamomilla pubescens</i>		Ephémère	
<i>Chrysanthemum macrocarpum</i>		Ephémère	
<i>Cotula cinerae</i>		Ephémère	
<i>Echinops spinosus</i>		Ephémère	
<i>Koelpinia linearis</i>		Ephémère	
<i>Launea glomerata</i>		Ephémère	
<i>Rhantherium adpressum</i>		Vivace	
<i>Arnebia decumbens</i>		<i>Boraginaceae</i>	Ephémère
<i>Echium humile</i>			Ephémère
<i>Megastoma pusillum</i>			Ephémère
<i>Trichodesma africanum</i>			Ephémère
<i>Diploaxis harra</i>	<i>Brassicaceae</i>	Vivace	
<i>Oudneya africana</i>		Vivace	
<i>Salsola longifolia</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	Ephémère	
<i>Salsola vermiculata</i>		Ephémère	
<i>Convolvulus supinus</i>	<i>Convolvulaceae</i>	Ephémère	
<i>Ephedra alata</i>	<i>Ephedraceae</i>	Vivace	
<i>Argyrolobium uniflorum</i>	<i>Fabaceae</i>	Ephémère	
<i>Astragalus gombo</i>		Ephémère	
<i>Astragalus gyzensis</i>		Ephémère	
<i>Genista saharae</i>		Vivace	
<i>Retama ratam</i>		Vivace	
<i>Erodium glaucophyllum</i>		<i>Geraniaceae</i>	Ephémère
<i>Monsonia nivea</i>	Ephémère		
<i>Androcymbium punctatum</i>	<i>Liliaceae</i>	Ephémère	
<i>Asphodelus tenuifolius</i>		Ephémère	
<i>Urginea noctiflora</i>		Ephémère	

<i>Crypsis aculeata</i>	<i>Poaceae</i>	Ephémère
<i>Cymbopogon schoenanthus</i>		Ephémère
<i>Stipagrostis plumosa</i>		Vivace

Il faut noter que sur les 13 familles recensées, 04 ne sont représentées que par une seule espèce. Cependant, la famille des Astéracées, représente plus du tiers des espèces Inventoriées (Tableau 2).

Chehma (2005), affirme que les lits d'Oued et les Dayas des parcours du Sahara septentrional algérien, sont les plus diversifiés, avec 27 familles et 78 espèces dont 16 vivaces et 63 éphémères, Regroupant ainsi plus de 70 % de la totalité des espèces inventoriées.

Les lits d'oueds sont des milieux favorables au développement de la végétation et relativement pourvu en eau et en alluviaux ramenés par les crues, même irrégulières, qui traversent ces zones (**Quezel, 1978 ; Ozenda, 2004**).

La flore du Sahara septentrional est relativement homogène, et l'une des régions les plus riches du Sahara. L'endémisme y est élevé du fait des vastes espaces impropres à la vie. Pour le Sahara septentrional, on dénombre 162 espèces endémiques (**Quezel, 1978**).

Sur la base de ces données climatiques, le climat est généralement aride chaud (classe climatique BWh selon la classification de Köppen -Geiger, **Peel et al., 2007**) avec des valeurs très faibles de l'indice d'aridité (0,02-0,04) et de l'index De Martonne (1,21 à 4,91). Pour l'indice radiatif d'aridité de Budyko les valeurs se situent entre 21,4 dans le site d'étude extrême nord (Oued Righ) et 42,6 enregistré à El Goléa (tableau 03)

En outre, la combinaison de ces faibles précipitations avec le régime pluviométrique irrégulier qui connaît une forte variabilité interannuelle, est à l'origine de longues périodes de sécheresse dans le désert du Sahara (**Laity, 2009**). Ceci soutient le fait que les précipitations, plutôt que les températures, jouent le rôle de facteur limitant pour la Production Primaire Nette (PPN) dans le Sahara Septentrional algérien.

En effet, selon le modèle de Miami (**Lieth , 1975**), les faibles valeurs de PPN sont liées aux précipitations annuelles, ainsi ces dernières sont considérées comme un facteur limitant. Enfin, l'indice de la continentalité de Gorczy ski (**Galczynski, 1920**) se situe entre 46 et 58 (tableau 03).

Le climat joue un rôle essentiel dans la distribution des espèces de la truffe en Europe, Afrique du Nord, au Proche-Orient, Moyen-Orient et de la péninsule arabe. Si le genre *Tuber* domine dans les zones humides et subhumides tempérées d'Europe, les espèces appartenant aux genres *Terfezia* et *Tirmania* sont plutôt xérothermiques, occupent des zones arides et sahariennes et les pays du sud de la Méditerranée (**Riousset et al., 2004**).

Les truffes du désert se développent sous climat de type BWH (Hot Desert Arid Climate), caractérisé par la température annuelle supérieure à 18 °C. Le régime de l'humidité du sol est généralement aride dans ces régions (**Soil Survey Staff, 2010**).

III-4-3 Variation annuelle de la productivité truffière en fonction du climat

Pour l'ensemble des sites et pour toutes les espèces récoltées, la productivité de la truffe de désert dans le Sahara Septentrional algérien varie d'une année à une autre, notamment en fonction des précipitations enregistrées, particulièrement celles de la période d'octobre-décembre (figure 17).

III-4-4 Effets des facteurs climatiques sur la production des Terfez

Dans l'ensemble et selon F- statistiques des modèles linéaires (ML), les paramètres climatiques testés ont un effet significatif ($P < 0,05$) sur la production totale des espèces de Terfez, à l'exception de la production de *Terfezia claveryi* ($F = 2.00$, $P = 0,120$), pour laquelle la moyenne annuelle des températures minimales présentent un effet négatif de manière significative ($P = 0,025$) sur sa production (Tableau 04).

Le test Chi-carré (X^2) a révélé une différence très hautement significative entre les stations pour les productions spécifiques en les truffes du désert ($P < 0.001$). La production de *Terfezia claveryi* a été plus perturbée par le déficit des précipitations annuelles et les pluies automnales que *Tirmania nivea* et *Terfezia arenaria*, qui étaient les plus productives.

Pour la production de *Terfezia arenaria* et *Tirmania nivea* ainsi que la production totale, les précipitations cumulées d'octobre à décembre ont eu un effet hautement significatif ($P < 0,01$). Cette période correspond au pré-grossissement des truffes du développement de la plante hôte.

Cependant, tous les autres paramètres climatiques (Indice De Martonne, températures maximales) n'ont eu statistiquement aucun effet sur la production individuelle de la truffe du désert. En dépit de ces résultats, nous pouvons affirmer, sur la base des valeurs d'estimations de ML, que la production des Terfez (totale et spécifique) a été constamment associée négativement à des températures minimales et des précipitations de Janvier-Mars, mais positivement corrélée avec des températures moyennes et maximales et des précipitations annuelles (tableau 04).

Le climat constitue un facteur limitant pour la production de la truffe. La production de la truffe noire *Tuber melanosporum Vittad* est en déclin suite aux changements climatiques, notamment les précipitations de mai à août de l'année (**Le Tacon et al., 2014**).

Les truffes du désert ont été découvertes et décrites dans des différentes régions du monde. Le seul facteur commun qui conditionne leur apparition est l'eau (**Kagan-Zur et al., 2014**).

En effet, et selon Chafi *et al.* (2004), des précipitations annuelles bien réparties d'octobre à mars donnent de bons résultats pour la récolte des truffes de désert en Algérie qui a lieu en décembre–janvier dans des zones arides et en mars–avril dans les zones semi-arides.

De façon générale, les régions où poussent les truffes du désert se caractérisent par une pluviométrie annuelle comprise entre 50 et 380 mm. Par ailleurs, un bon rendement de truffes dans les pays d'Afrique du Nord est obtenu lorsque la pluviométrie annuelle varie de 70 à 120 mm. Alors que dans les pays d'Europe du Sud, les bonnes productions en truffes coïncident avec des pluviosités variant entre 100 à 350 mm. En outre, la périodicité de ces précipitations est aussi importante que leur quantité, c'est-à-dire la synchronisation des pluies est nécessaire au plus tard au début décembre en Afrique du Nord et du Moyen-Orient et au plus tard début octobre dans les pays du sud de l'Europe (**Morte et al., 2009**).

Non seulement la quantité de pluies est critique, mais aussi la synchronisation de la période des précipitations avec la période de croissance des plantes hôtes est parmi les facteurs déterminants de la production des truffes du désert. En effet, un minimum de 180 mm de pluies bien réparties entre octobre et mars, produit une dense couverture végétale avec un bon développement des plantes annuelles dont *Helianthemum Sp.* Cette croissance de la plante hôte permet la formation de mycorhizes avec *Terfezia spp.*, qui est une condition indispensable pour une bonne formation des ascocarpes. Toutefois, des précipitations à la fin de l'automne retardent la germination et la croissance des hôtes annuelles (**Alsheikh, 1994**). Ce qui aura des influences négatives sur la production en truffes du désert. Par ailleurs, le calendrier et la quantité des précipitations régulent la croissance des ascocarpes, comme il a été reporté pour *Phaeangium lefebvrei* (**Alsheikh et Trappe, 1983**).

Selon **Alsheikh et Trappe (1983)**, ce sont surtout les pluies de la seconde moitié du mois de janvier et celles du mois de février qui provoquent l'apparition du Terfez au Qatar. Au Maroc, ce sont plutôt les pluies de novembre, décembre et janvier qui sont les plus déterminantes (**Khabar et al., (1994)**). Alors que la germination des truffes du désert au Kuweit et en Égypte est conditionnée par les pluies d'octobre et de novembre (**Awameh et Alsheikh, 1979 ; Feeney, 2002**), mais en cas de pluies abondantes les spores peuvent être endommagées et peu de truffes seront produites ainsi (**Feeney, 2002**).

Des précipitations annuelles bien réparties d'octobre à mars donnent de bons résultats pour la récolte des Terfez en Algérie qui a lieu en décembre- janvier dans des zones arides et en mars- avril dans les zones semi-arides (**Fortas, 2004**).

La température de l'air pourrait avoir un effet sur la productivité des truffes, en influençant la température du sol d'une part et par conséquent l'ascocarpe, mais aussi en ayant un impact direct sur les activités physiologiques de la partie aérienne de la plante symbiotique et donc sur la relation plante hôte-champignon.

Étant donné que les performances de la mycorhization dépendent de la physiologie des deux partenaires de la symbiose, ce sont surtout les températures minimales qui peuvent perturber la production des truffes, puisque elles ont une influence plus marquée tant sur le végétal que sur le champignon, car la température est atténuée en profondeur du sol (**Morte et al. 2000**).

III-5 Caractérisation Eco-pédologique des terrains truffiers

Le sol est un facteur édaphique capital pour le développement des Terfez, ses caractéristiques physico-chimiques exercent une action prépondérante sur la croissance de ces champignons (**Bonifacio et Morte, 2014**).

Les résultats des analyses physico-chimiques d'échantillons du sol des différents sites truffiers, sont présentés dans le tableau 05.

Tableau 05 : Résultats des analyses physico-chimiques des sols des stations d'étude.

Les résultats de l'analyse de variance à un seul facteur de classification (One-way ANOVA) sont donnés par la valeur de F (avec DDL entre les groupes, et DDL dans les groupes) et la valeur de P . Les lettres en exposant montrent des différences significatives entre les sites selon le test post-hoc de Tukey (à un niveau de confiance = 95%).

Paramètre (Unité)	Stations d'étude (n = 78)							ANOVA	
	Guerrara (n = 10)	Hassi El Fehal (n = 7)	Noumerate (n = 15)	Oued M'ya (n = 17)	Oued N'ssa (n = 11)	Oued Righ (n = 10)	El Goléa (n = 8)	$F_{(6, 71)}$	P
Argiles (%)	2.38±0.18 ^a	2.07±0.19 ^b	0.18±0.04 ^c	1.64 ± 0.29 ^d	2.69 ± 0.25 ^e	3.19±0.12 ^f	2.05±0.08 ^b	316.57	< 0.0001
Limons (%)	13.9±2.18 ^a	6.2±1.38 ^b	18.03±0.49 ^c	9.66±6.52 ^b	16.72±0.7 ^{ac}	15.29±0.89 ^{ac}	6.98±0.61 ^b	20.84	< 0.0001
Sables (%)	83.72±2.25 ^a	91.73±1.24 ^b	81.79±0.51 ^a	88.67±6.53 ^b	80.6±0.78 ^a	81.53±0.94 ^a	90.97±0.62 ^b	19.74	< 0.0001
CE (dS/m)	0.66±0.04 ^a	0.66±0.06 ^a	0.79±0.07 ^a	0.78±0.07 ^a	0.67±0.03 ^a	0.78±0.08 ^b	0.65±0.07 ^a	11.63	< 0.0001
pH	7.88±0.12 ^{ab}	7.78±0.39 ^{ac}	7.96±0.07 ^b	8.05±0.11 ^b	7.60±0.21 ^c	7.90±0.07 ^{ab}	7.84±0.1 ^{bc}	10.62	< 0.0001
CaCO ₃ Total (%)	10.21±0.76 ^{ab}	11.28±1.26 ^{ac}	11.66±1.13 ^c	9.09±0.54 ^d	9.19±0.32 ^{bd}	9.09±0.77 ^d	12.01±0.11 ^c	27.09	< 0.0001
Matière Organique (%)	0.83±0.11 ^{ab}	0.83±0.05 ^{bc}	0.85±0.04 ^{ab}	0.84±0.08 ^{ab}	0.78±0.07 ^b	0.97±0.09 ^c	0.98±0.1 ^{ac}	6.42	< 0.0001
Phosphore (ppm)	22.09±1.32 ^a	23.42±1.38 ^{ab}	21.95±1.09 ^a	24.22±1.05 ^b	21.83±1.50 ^a	22.28±0.94 ^a	25.54±0.50 ^c	14.83	< 0.0001
Ca ⁺⁺ (cmol ⁺ /kg)	6.26±0.17 ^a	5.19±0.49 ^b	6.26±0.17 ^a	4.62±0.7 ^c	5.31±0.08 ^b	4±0.46 ^d	5.02±0.12 ^{bc}	42.70	< 0.0001
Mg ⁺⁺ (cmol ⁺ /kg)	1.44±0.19 ^{ab}	1.13±0.13 ^c	1.28±0.2 ^{ac}	1.46±0.1 ^b	1.36±0.06 ^{ab}	1.3±0.1 ^{bc}	1.4±0.12 ^{ab}	7.47	< 0.0001
K ⁺ (cmol ⁺ /kg)	0.14±0.02 ^a	0.18±0.03 ^a	0.14±0.02 ^a	0.18±0.02 ^a	0.19±0.03 ^a	0.2±0.02 ^a	0.19±0.02 ^a	1.04	0.405
HCO ₃ ⁻ (cmol ⁺ /kg)	0.21±0.02 ^{ab}	0.21±0.03 ^b	0.22±0.01 ^{ab}	0.26±0.08 ^{ac}	0.29±0.01 ^c	0.28±0.04 ^c	0.23±0.02 ^{bc}	7.45	< 0.0001
SO ₄ ⁻⁻ (cmol ⁺ /kg)	0.44±0.02 ^a	0.4±0.02 ^a	0.42±0.04 ^a	0.4±0.09 ^a	0.44±0.04 ^a	0.41±0.02 ^a	0.4±0.03 ^a	1.56	0.171

III-5-1 Caractérisation physicochimique des sols truffiers

Les analyses pédologiques des sites de production des truffes du désert montrent que les caractéristiques pédologiques présentent une large hétérogénéité entre eux. En effet, les tests d'ANOVA ont montré une variation significative ($P < 0,05$) dans les valeurs de la plupart des facteurs édaphiques (sauf pour K^+ et SO_4^{--}) entre les sites échantillonnés.

Le test post-hoc de Tukey pour les paramètres édaphiques a montré que ces sites dans l'ensemble sont homogènes, à l'exception du taux de sable et de la conductivité électrique (CE).

L'analyse granulométrique pour l'ensemble des stations, montre que les taux d'argiles ($0.18 \pm 0.04\%$ à $3.19 \pm 0.12\%$) et ceux des limons ($6.2 \pm 1.38\%$ à 18.03 ± 0.49) sont faibles. En revanche nous enregistrons des taux élevés en sable ($80.6 \pm 0.78\%$ à $91.73 \pm 1.24\%$).

Selon la classification américaine des sols (**Watson, 1992 ; Soil Survey Staff, 2010**), tous les sols truffiers de nos stations ont une texture sableuse avec une structure particulière. Ces deux paramètres offrent au sol un caractère poreux, assurent un excellent drainage et une bonne circulation d'eau et d'éléments minéraux.

Selon **Khabar et al. (1994)**, les sols truffiers marocains sont les sols permettant une meilleure circulation des éléments minéraux.

En effet, la pédogenèse des sols désertiques est fortement liée aux particularités du climat désertique où le vent est le principal acteur dans la formation de ces sols, notamment de type éolien (**Kottek et al., 2006**).

Chimiquement, les sols des truffes du désert sont caractérisés par un pH légèrement alcalin, selon l'échelle d'alcalinité de **Baize (2000)**, les valeurs peuvent varier de 7.60 ± 0.21 et 8.05 ± 0.11 .

Selon l'échelle de classification de la salinité de l'extrait 01/05 (**Aubert, 1978**), les sols truffiers du Sahara Septentrional algérien possèdent des degrés de salinité inférieurs à 100 mg / l , car les valeurs de la conductivité électrique varient entre $0.66 \pm 0.04 \text{ dS / m}$ et $0.79 \pm 0.07 \text{ dS / m}$, ce qui nous permet de classer les sols des Terfez comme sols non salins.

La teneur en matière organique est comprise entre $0.78\pm 0.07\%$ et $0.98\pm 0.1\%$. Ces valeurs révèlent une grande carence en matière organique du sol selon l'échelle définie par **Morond (2001)**.

Le taux moyen en calcaire pour toutes les stations est compris entre un taux minimal de $9.09\pm 0.54\%$ obtenu pour la station de Oued M'ya et un maximum de $11.66\pm 1.13\%$, enregistré dans la station de Noumerate. Nous tenons à signaler qu'au niveau de cette station, nous avons pu récolter des quantités de Terfez relativement supérieures aux autres stations.

Pour l'ensemble des stations, le sol est modérément calcaire, suivant l'échelle de **Baize, (2000)**.

Les teneurs en éléments minéraux sont faibles, notamment pour celle en phosphore, comprise entre 21.83 ± 1.50 ppm et 25.54 ± 0.5 ppm, indiquant que les sols sont pauvres en phosphore selon l'échelle de la classification (**Baize, 2000**).

En comparant les propriétés édaphiques de nos stations, nous pouvons dire qu'elles sont très similaires à celles des sols truffiers du sud marocains (**Khabar 2002**) et le Sahara de la Tunisie méridionale (**Slama et al., 2006**).

III-5-2 Effets des paramètres édaphiques sur le poids individuel des Terfez

Les sols des truffes du désert sont peu connus en terme d'influence sur la répartition de la truffe. Cependant, les recherches sur la bioécologie des Terfez sont rarement accompagnées par une caractérisation complète de leur biotope sol (**Bonifacio et Morte, 2014**)

Dans l'ensemble et selon F- statistiques des modèles linéaires généralisés (M.L.G.), certains paramètres édaphiques testés ont eu des effets significatifs sur le poids individuels des ascocarpes de l'ensemble des espèces (tableau 06).

et Morte (2014), qui précisent que les Terfez du genre *Terfezia* se développent souvent dans les sols sableux.

Chimiquement, les pH des sols pour l'ensemble des stations sont de légèrement alcalins, et sans différence significative entre les sites. Ces valeurs de pH n'ont aucune influence sur les poids des ascocarpes récoltés ($Z = -0,21$; $P = 0,838$).

En effet, la comparaison des valeurs du pH des sols de la truffe du désert de la région méditerranéenne et celles du Moyen-Orient, montre que le pH qui peut atteindre 9 au Moyen-Orient, mais de 5 à 8 pour les sols méditerranéens varie (Fortas, 1990 ; Hashem and Al-Obaid, 1996 ; Bonifacio et coll. 1998 ; Khabar et al., 2002 ; Al-Ruqaie, 2002 ; Slama et al., 2006 ; Mandeel and Al-Laith, 2007 ; Khabar 2014).

La variation du pH dans les sols des Terfez dépend essentiellement, de leur teneur en carbonates (Morte et al., 2009).

Le pH ne représente pas le facteur limitant pour le développement des truffes du désert au Botswana et en Namibia (Bonifacio et Morte, 2014).

Ainsi, le tableau 5 fait sortir que les teneurs en matière organique, en CaCO_3 et en K^+ n'ont aucun effet sur poids de l'ascocarpe de Terfez du Sahara Septentrional algérien.

Les espèces de la famille des *Tuberaceae* exigent des sols riches en calcaire (Delmas, 1989 ; Callot, 1999), alors que celles appartenant à la famille des *Terfeziaceae* ne sont pas exigeantes en calcaire. Ces résultats convergent avec les travaux de Slama et al. (2006) en Tunisie, et de Khabar et al. (2002), en analysant les sols truffiers marocains.

Bien que la teneur de nos sols en phosphore soit faible, le poids individuel des ascocarpe pour l'ensemble des espèces augmente d'une manière hautement significative ($Z = 5,85$; $P < 0,0001$), avec l'augmentation de la teneur en phosphore des sols où sont récolté les Terfez (Tableau 6).

Selon Callot (1999), la truffe colonise les sols pauvres ou même dépourvus en phosphore assimilable, pour augmenter la chance de la mise en place de la symbiose et le

développement de la mycorhize par la suite. Les mycorhizes sont capables de solubiliser le phosphore et de le rendre sous la forme assimilable pour la plante.

Le phosphore tend à améliorer la formation des mycorhizes mais avec un certain seuil, au-delà duquel la plante n'a plus d'intérêt pour ce type de symbiose (**Smith et al., 1997**).

La faible disponibilité en phosphore pourrait donc représenter aussi une conséquence favorisant la formation des mycorhizes des Terfez, mais selon la bibliographie, aucune comparaison spécifique entre les sols n'a été réalisée pour vérifier cette hypothèse.

Les ascocarpes de Terfez ont été récoltés dans des sols à pH moyen de 7.88 ± 0.12 , légèrement alcalin. Statistiquement, le pH n'a aucune influence sur la production des Terfez ($Z = -0,21$; $P = 0,838$).

La relation entre la production de la truffe du désert et la conductivité électrique est très hautement corrélée, comme il est indiqué dans le tableau 05, ($Z = 4,76$; $P < 0,0001$).

Le poids de l'ascocarpe des Terfez et la teneur du sol en SO_4^{--} sont deux paramètres liés de façon très hautement significative ($Z = 3.94$; $P < 0,0001$). A ce niveau, chaque fois que la teneur du sol en SO_4^{--} augmente, le poids des ascocarpes augmente aussi (Tableau 06).

Cette adaptation à une salinité relativement élevée a été signalée par divers auteurs, notamment **Mandeeel et Al-Laith (2007)** au Bahrayn. **Bonifacio et Morte (2014)**, précisent que les truffes du désert semblent bien adaptées à haute conductivité électrique, notamment les sols contenant du gypse et des sels solubles.

Conclusion générale

A travers la présente étude, nous avons pu illustrer la diversité des truffes du Sahara Septentrional algérien et de récolter certaines données relatives à leur bioécologie.

La truffe du désert représente un champignon particulier, caractérisée par la localisation hypogée de son ascocarpe, sa structure globale formée d'une gléba entourée d'un péridium lisse.

Les Terfez du Sahara Septentrional algérien sont répartis sur trois espèces, appartenant à deux genres différents : *Tirmania nivea* Trappe, *Terfezia arenaria* (Moris) Trappe, *Terfezia claveryi* Chatin.

Quelque soit l'espèce de Terfez récoltée, elle représente un champignon symbiote, mycorhizien, hypogé avec des plantes de la famille des *Cistacea* et plus particulièrement avec l'*Helianthemum lippii*.

L'espèce la plus fréquente est *Tirmania nivea* avec une fréquence d'occurrence moyenne égale à $70 \pm 10.1\%$, en deuxième position, *Terfezia arenaria*, avec une moyenne de $22,9 \pm 8,1\%$, tandis que *Terfezia claveryi* est faiblement représentée car sa moyenne de la fréquence d'occurrence était de $9,9 \pm 5\%$.

L'appréciation effective de l'abondance et de l'occurrence des Terfez ne peut être faite que sur la base de prospections sur terrain au cours de la période de fructification, qui s'étale de la fin du mois de janvier jusqu'au début du mois de mars. Cependant, il est très difficile de pouvoir effectuer une prospection exhaustive sur tout le Sahara Septentrional algérien, étant donné que les fluctuations de l'ensemble des espèces sont liées aux conditions écologiques du milieu.

Dans l'ensemble des zones de distribution de truffes du désert, les caractéristiques géomorphologiques des habitats sont communes, mais leur abondance et leur production demeurent cependant, tributaires des conditions pédoclimatiques du milieu.

Les truffes du désert du Sahara Septentrional algérien apparaissent et se développent surtout dans les dépressions et des lits d'oueds : Ce sont les biotopes qui offrent des conditions bioécologiques favorables au développement des Terfez notamment leur capacité d'accumuler les eaux de pluies irrégulières et rares.

Sur le plan écopédologique, les Terfez du Sahara Septentrional algérien colonisent les sols modérément calcaires, à texture sableuse, à pH légèrement alcalins (7.87 ± 0.22) et pauvre en matière organique et éléments minéraux, notamment le phosphore (23.68 ± 1.05 ppm).

La production moyenne enregistrée était de 785.43 ± 743.39 g/ha, les paramètres climatiques sont parmi les facteurs les plus importants qui contrôlent l'occurrence et la production des truffes du désert. En effet, les truffes de désert du Sahara septentrional algérien se développant en climat aride exigent un certain niveau de pluies automnales et des hivers doux. Il est apparent que les pluies des mois d'hiver n'ont aucun effet sur la productivité des truffes. Ainsi, les basses températures hivernales des mois de janvier et de février diminuent la production des truffes de désert. Nous rappelons que les premiers ascocarpes maturés sont apparus souvent fin du mois de janvier.

C'est un véritable défi d'utiliser le vaste Sahara algérien, pour produire des aliments riches en protéines, en minéraux et en vitamines. Les truffes du désert peuvent être la réponse à travers une trufficulture propre aux régions sahariennes algériennes. En effet, cette ressource naturelle a un intérêt économique et écologique important et un moyen de revalorisation des écosystèmes des zones arides et semi-arides.

Références Bibliographiques

- A.N.R.H., 2006- Ressources en eaux de la wilaya de Ouargla, 13 p.
- Ackerman, L. G. J., Van Wyk, P. J., et Du Plessis, L. M., 1975 - Some aspects of the composition of the Kalahari truffle or N'abba. *S Afr Food Rev* (2), pp 145-146.
- Al-Naama N.M., Ewaze JO., et Nema JH., 1988 - Chemical constituents of Iraqi truffles. *Iraqi J Agr Sci* (6), pp 51-56.
- Al-Rahmah A.N., 2001 - La truffe du désert et les forêts. King Saud University publications. (en Arabe) 258p.
- Al-Ruqaie, I. M., 2002 - Effect of different treatment processes and preservation methods on the quality of truffles: I. Conventional methods (drying/freezing) :Pakistan Journal of Biological Sciences, 5(10), pp 1088-1093.
- Alsheikh A.M., et Trappe JM., 1983 - Taxonomy of *Phaeangium lefebvrei*, a desert truffle eaten by birds. *Can J Mycol* 61(7), pp 1919-1925.
- Alsheikh, AM., 1994 - Taxonomy and mycorrhizal ecology of the desert truffles in the genus *Terfezia*. Ph.D. thesis, Oregon State University, Oregon, USA, 239 p.
- Aubert, G., 1978 - Méthodes d'analyse des sols. Ed. Centre régional de documentation pédagogique, Marseille, France. 191 p.
- Awameh M.S., Alsheikh A., 1979 - Laboratory and Field Study of Four Kinds of Truffle (Kamah), *Terfezia* and *Tirmania* Species, for Cultivation. *Mushr Sci* 10(2), pp 507-517.
- Awameh MS., Alsheikh A.M, Al-Ghawas S. 1979 - Mycorrhizal synthesis between *Helianthemum ledifolium*, *H. salicifolium* and four species of the genera *Terfezia* and *Tirmania* using ascospores and mycelial cultures obtained from ascospore germination. In: Proceedings of the fourth North American Conference on Mycorrhizae, 24-28 June 1979, Colorado State University, Fort Collins. pp. 22-23
- Awameh, M. S., 1981- response of *Helianthemum salicifolium* and *H. ledifolium* to infection by the desert truffle *Terfezia boudieri*. *Mushroom science*. XI. Part II. In Proceedings of the Eleventh International Scientific Congress on the Cultivation of Edible Fungi, Australia, edited by NG Nair, AD Clift, pp 843-583
- Awameh, M. S., et Alsheikh, A., 1980 - Features and analysis of spore germination in the brown kame *Terfezia clavaryi*. *Mycologia*, pp 494-499.
- Baize D., 2000 - Guide des analyses courantes en pédologie (choix- expression - présentation- interprétation). I.N.R.A., Paris, 172 p.
- Barker S.J., Tagu D. 2000 - The roles of auxins and cytokinins in mycorrhizal symbioses. *J Plant Growth Regul* (19), pp 144-154
- Bessah G., 1999 - Contribution à l'étude de la symbiose mycorrhizienne entre deux espèces de Terfez : *Terfezia clavaryi*, *Terfezia boudieri* avec le pin d'Alpe (*Pinus halepensis* Mill) dans la région du Djelfa. Thèse Maj Institut National d'Agronomie EL-HARACH, 153 p

- Bethlenfalvay G.J., Linderman R.G., 1992 - Mycorrhizae in sustainable agriculture, vol 54, ASA Special Publication. Agronomy Society of America, Madison, WI, 124 p.
- Bokhary H.A., et Parvez S., 1988 - Desert truffles 'Al-kamah' of the Kingdom of Saudi Arabia. 2. Additional contributions. Arab Gulf J Sci Res 6 (1), pp 103–112.
- Bokhary H.A., Suleiman A.A.A., et Basalah M.O., 1989 - The fatty acid components of the desert truffle "Al Kamah" of Saudi Arabia. J Food Prot (52), pp 668–669.
- Bonifacio, E., et Morte, A., 2014 - Soil Properties. Desert Truffles. Springer Berlin Heidelberg, pp 57-67
- Bradai L., 2006 - Contribution à l'étude bioécologique de la truffe blanche de désert (*Tirmania sp.*) : Cas de la région de Oued Mya (Ouargla). Dissertation, Université de Ouargla, Algérie, 131p.
- Bradai L., Bissati S., et Chenchouni H., 2013 - Etude mycologique et bio-écologique de la truffe blanche du désert (*Tirmania nivea* Desf. Trappe 1971) dans la région de Oued M'ya (Ouargla, Sahara algérien). *Revue des Bioressources* (3), pp 6–14.
- Bradai L., Bissati S., et Chenchouni H., 2014- Desert Truffles of the North Algerian Sahara: Diversity and Bioecology. *Emirates J Food Agr* 26, pp 429-439.
- Burdsall H.H. Jr., 1968 - A revision of the genus *Hydnocystis* (Tuberales) and of the hypogeous species of *Geopora* (Pezizales) : *Mycologia* (60), pp 496–525.
- Callot, G., Byé, P., Raymond, M., Fernandez, D., Pargney, J. C., Parguey Leduc, A., et Pagès, L., 1999 - La truffe, la terre, la vie. INRA, Paris, 210 p.
- Chafi MEH., Fortas Z., Bensoltane A., (2004) : Bioclimatic survey of the Terfez zones of the South West of Algeria and an essay of the inoculation of *Pinus halepensis* Mill. with *Tirmania pinoyi*. *Egypt J Appl Sc* (19), pp 88–100.
- Chambers JM., 1992 - Linear models Statistical Models Ed S. Wadsworth & Brooks/Cole, pp 197-216.
- Chapin III S., Zavaleta E., Eviner V., 2000 -Consequences of changing biodiversity. *Nature* (405), pp 234–242
- Heinemann P., 1945 - Guide pour l'étude microscopique des champignons supérieurs. *Bulletin des Naturalistes Belges*, (8) 1945, pp : 3-4.
- Chatin A, 1892b - Contribution nouvelle à l'histoire chimique de la Truffe. Parallèle entre les Terfas ou Kamés d'Afrique et d'Asie et les Truffes d'Europe, sous les rapports de la composition chimique des terres et des tubercules. *Compt Rend Acad Sci*, Paris, série 3. 114, pp 46–53
- Chatin, A., 1891 - Contribution à l'histoire botanique de la truffe. Deuxième note: Terfas ou truffes d'Afrique (et d'Arabie), genres *Terfezia* et *Tirmania*. *Compt. Rend Acad Sci*, Paris, série. 3. 112, pp 136–141.
- Chatin, A., 1892a - La truffe : botanique de la truffe et des plantes truffières, sol, climat, pays producteurs, composition chimique, culture, récolte, commerce, fraudes, qualités alimentaires, conserves, préparations culinaires. JB Baillière et fils.

- Chehema, A., 2005 - Étude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara septentrional algérien. Cas de la région de Ouargla et Ghardaïa, Thèse doctorat, université Badji Mokhtar, Annaba 198 p.
- Chehema, A., 2006 - Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien. Dar El Houda: Laboratoire de protections des écosystèmes en zones arides et semi arides, Ed. université de Ouargla 146 p.
- Chevalier G., et Grente J., 1979 -Application pratique de la symbiose ectomycorhizienne : Production à grande échelle de plants mycorhizés par la truffe. *Mushr. Sei.* 10 (2), pp 483- 505.
- Chevalier G., Rioussset L., Dexheimer J., Dupré C., (1984) Synthèse mycorhizienne entre *Terfezia leptoderma* Tul. et diverses Cistacées. *Agronomie* (4), pp 210–211
- Chevalier, G., 2014 - The European Desert Truffles. Springer Berlin Heidelberg. Pp 121-141.
- Claridge A.W., Trappe J.M., et Paul D. J., 2014 - Ecology and Distribution of Desert Truffles in the Australian Outback. Springer Berlin Heidelberg, pp 205-214.
- Dannell E., 1996 - Tryfflar i Sverige och utomlands :Truffles and false truffles in Sweden and abroad. *Svensk Botanisk Tidskrift* (90), pp 215–230.
- Daoud Y., et Halitim A.,1994 - Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. *Sécheresse* 5 (3), pp 151-160.
- Davies, J., Poulsen, L., Schulte-Herbrüggen, B., Mackinnon, K., Crawhall, N., Henwood, W.D., Dudley, N., Smith, J. et Gudka, M., 2012 - Conserving dryland biodiversity. IUCN (International Union for the Conservation of Nature) 84 p.
- Delmas J., 1983 - La truffe et sa culture. Ed. INRA Paris , 55 p.
- Dexheimer, J., Gerard, J., Leduc, J. P., et Chevalier, G., 1985 - Comparative ultrastructural study of symbiotic mycorrhizal associations between *Helianthemum salicifolium*-*Terfezia clavaryi* and *Helianthemum salicifolium*-*Terfezia leptoderma*. *Canadian Journal of Botany* (63), pp 582–591.
- Dib-Bellahouel, S., et Fortas, Z., 2013 - Antibacterial activity of various fractions of ethyl acetate extract from the desert truffle, *Tirmania pinoyi*, preliminarily analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) : *African Journal of Biotechnology*, 10 (47), pp 9694-9699.
- Diez J., Manjon J.L., et Martin F., 2002 - Molecular phylogeny of the mycorrhizal desert truffles (*Terfezia* and *Tirmania*), host specificity and edaphic tolerance. *Mycologia* 94(2), pp 247–259
- Dogan H.H., et Ayden S., 2013 - Determination of antimicrobial effect, antioxidant activity and phenolic contents of desert truffles in Turkey. *Afr J Tradit Complement Altern Med* 10 (4), pp 52–58,

- Driessen P., Deckers J., Spaargaren O., Nachtergaele F., 2001 - Lecture notes on the major soils of the world. World Soil Resources Reports no. 94. <http://www.fao.org/docrep/003/Y1899E/Y1899E00.HTM>.
- Dubief, J., 1963 - Le climat du Sahara. Ed: Inst. Rech. Saha., Mémoire H.S. Tome II. Univ Alger. Algérie, 298 p.
- El-Kholy H., 1989 - Genetical and physiological studies on truffles. Ph.D. Thesis, Faculty of Agric, pp68-73.
- Feeney, J., 2002 - Desert truffles galore. Saudi Aramco World. pp 22–27
- Ferdman, Y., Aviram S., Roth-Bejerano, N., Trappe, J.M., et Kagan-Zur, V., 2005 - Phylogenetic Studies of *Terfezia pfeilii* and *Choiromyces echinulatus* (Pezizales) Support New Genera for Southern African Truffles: Kalahari tuber and Eremiomyces. Mycological Research (109), pp 237–245.
- Fortas Z., Chevalier G., 1992 - Effet des conditions de culture sur la mycorhization de l'*Helianthemum guttatum* par trois espèces de terfez des genres *Terfezia* et *Tirmania* d'Algérie. Can J Bot 70:2453–2460
- Fortas, Z., 1990 - Etude de trois espèces de Terfez : Caractères cultureux et cytologie du mycélium isolé et associé à l'*Helianthemum guttatum*. Doctorate Thesis, Univ. Oran, Algeria. 166 p.
- Fortin J.A., Plenchette C., Piché Y., 2008 -Les mycorhizes. La nouvelle révolution verte. Eds. MultiMondes et Quae, Québec, Canada, 131 p.
- Fox J., 2005 - Getting started with the R commander : A basic-statistics graphical user interface to R. J Stat Softw (14), pp 1–42.
- Gandeboeuf O., 1997 - Caractérisation et identification moléculaire de différentes espèces de genre *Tuber*. Thèse de doctorat de l'université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France, 65 p.
- Giovannetti G., Roth-Bejerano N., Zanini E., et Kagan-Zur V., 1994 - Truffles and their cultivation. Horticultural reviews (16), pp 71-107.
- Gorczy ski L., 1920 - Sur le calcul du degré du continentalisme et son application dans la climatologie. *Geografiska Annaler* (2), pp 324–331.
- Gounot M., 1969 - Méthode d'étude quantitative de la végétation. Ed. Masson, 7ème édition. Paris, 314 p.
- Gouzi H, Belyagoubi L., Abdelali KN., et Khelifi A., 2011 - In vitro antibacterial activities of aqueous extracts from Algerian desert truffles (*Terfezia* and *Tirmania*, Ascomycetes) against *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. Int J Med Mushrooms 13(6), pp553–558.
- Grieser J., Gommès R., Bernardi M., 2006 - New LocClim—the local climate estimator of FAO. In Geophysical Research abstracts, vol 8, (08305): p 2

- Gutierrez A., Morte A., et Honrubia M., 2003 - Morphological characterization of the mycorrhiza formed by *Helianthemum almeriense* Pau with *Terfezia claveryi* Chatin and *Picoa lefebvrei* (Pat.) Maire. *Mycorrhiza* (13), 299–307.
- Halilat M.T., 1993 - Etude de la fertilisation azotée et potassique sur le blé dur (variété Aldura) en zones sahariennes (région de Ouargla). Thèse Magister, Univ. Batna, 130 p.
- Hamdi-Aissa B., 2001 - Fonctionnement actuel et passé des sols du Nord du Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique et minéralogique et, variabilité spatiale. Thèse Doc. Inst. Nat. Agro. Paris-Grignon. 308 p.
- Hussain G., Al-Ruqaie M.A., 1999 - Occurrence, chemical composition, and nutritional value of truffles: an overview. *Pakistan J Bio Sci* 2(2), pp 510–514
- Janakat, S. M., Al-Fakhiri, S. M., et Sallal, A. K. J., 2005 - Evaluation of antibacterial activity of aqueous and methanolic extracts of the truffle *Terfezia claveryi* against *Pseudomonas aeruginosa*. *Saudi medical journal*, 26 (6), pp 952-955.
- Janex-Favre, M.C., Parguey Le Duc, A., et Rioussset, L., 1988 - L'ascocarpe hypogé d'une Terfez française (*Terfezia leptoderma* Tul., Tubérales, Discomycètes) : Bulletin Trimestriel de la Société Mycologique de France (104), pp 145–178.
- Kagan-Zur V., Roth-Bejerano N., Sitrit Y., et Morte A. , 2014 - Asian Mediterranean Desert Truffles. Springer Berlin Heidelberg, pp 159-171
- Kagan-Zur, V., et Roth-Bejerano, N., 2008 - Desert truffles. *Fungi*, 1(3), pp 32-37.
- Khabar L., Najim L., Janex-Favre M.C., Parguey-Leduc A., 2001 - Contribution à l'étude de la flore mycologique du Maroc : les truffes marocaines (Discomycètes) : *Bull Soc Mycol Fr* 117 (3), pp 213–229.
- Khabar L., Najim L., Janex-Favre MC., Parguey-Leduc A., 1994 - L'ascocarpe de *Terfezia leonis* Tul. (Discomycètes, Tuberales) : *Crypt Mycol* (15), pp187–206.
- Khabar, L., 2014 - Mediterranean Basin : North Africa. Springer Berlin Heidelberg, pp. 143-158.
- Korf, R. P., 1973 - Discomycetes and Tuberales, A Taxonomic Review with Keys: Ascomycetes and Fungi Academic Press New York, pp. 249-319.
- Kottke M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., et Rubel F., 2006 - World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Zeitschr* 15(3), pp 259–263
- Kovacs G.M., Bagi I, Vagvolgyi C., Kottke I., Oberwinkler F., 2002 - Studies on the root associations of the truffle *Terfezia terfezioides*. *Acta Microb Immunol Hung* 49(2–3), pp 207–213
- Læssøe, T., et Hansen, K., 2007 - Truffle trouble : what happened to the Tuberales?. *Mycological research*, 111 (9): 1075-1099.
- Laity J.J. 2009 - Deserts and desert environments. John Wiley & Sons.

- Le Houerou H.N., 1990 - Définition et limites bioclimatiques du Sahara. *sècheresse*, 1 (4), 246-259.
- Le Tacon F., Garbaye J., Bouchard D., Chevalier G., Olivier J. M., Guimberteau J., et Frochot H., 1988 - Field results from ectomycorrhizal inoculation in France. *Proceedings of the Canadian Workshop on Mycorrhizae in Forestry*, pp 1-4.
- Lieth H (1975) Modeling the primary productivity of the world. In: Lieth H, Whittaker RH (Eds). *Primary productivity of the biosphere*. Springer-Verlag, Heidelberg Berlin, pp 237–263
- Malençon, G., 1973 - Champignons hypogés du Nord de l’Afrique. I. Ascomycetes. *Persoonia* (7), pp 261–288.
- Mandeel, Q. A., et Al-Laith, A. A. A. , 2007 - Ethnomycological aspects of the desert truffle among native Bahraini and non-Bahraini peoples of the Kingdom of Bahrain. *Journal of ethnopharmacology*, 110(1), pp 118-129.
- Marasas W.F.O., Trappe JM., 1973 - Notes on southern African Tuberales. *Bothalia* (11), pp139–141
- Monod T., 1992 -Du désert. *Sécheresse*, 3(1), pp. 7-24.
- Moreno, G., Diez J., et Manjon JL., 2000 - *Picoa lefebvrei* and *Tirmania nivea*, two rare hypogeous fungi from Spain. *Mycol Res* 104, pp 378–381.
- Moreno, G., Diez, J., et Manjon, J. L., 2002 - *Terfezia boudieri*, first records from Europe of a rare vernal hypogeous mycorrhizal fungus. *Persoonia*, 17, pp 637-641.
- Morte A., Lovisolo C., Schubert A., 2000 - Effect of drought stress on growth and water relations of the mycorrhizal association *Helianthemum almeriense*-*Terfezia clavaryi*. *Mycorrhiza* (10), pp 115–119.
- Morte A., Zamora M., Gutiérrez A., Honrubia M., 2009 - Desert truffle cultivation in semiarid Mediterranean areas. *Mycorrhizas : Functional processes and ecological impact*. Springer Berlin Heidelberg, pp 221–233
- Murat-Furminieux, C., 2004 - Etude de la diversité génétique de la truffe blanche du Piémont (*Tuber magnatum Pico*) et de la truffe noire du Périgord (*Tuber melanosporum Vittad.*) Thèse de doctorat. Nancy 1, France 156 p.
- Ozenda P., 1991 - Flore de Sahara (3^{ème} édition mise à jour et augmentée) Paris, Editions du CNRS. 662 p.
- Ozenda P., 2004 - Flore et végétation du Sahara. 5^{ème} édition. Ed. C.N.R.S, 622p.
- Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A., 2007 - Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci Discuss* (4), pp 439–473.
- Pegler D.N., 2002 - Useful fungi of the World : the ‘Poor man’s truffles of Arabia’ and Manna of the Israelites. *Mycologist* (16), pp 8–9

Percudani R., Trevisi A., Zambonelli A., et Ottonello S., 1999 - Molecular phylogeny of truffles (Pezizales: *Terfeziaceae*, *Tuberaceae*) derived from nuclear rDNA sequence analysis. *Molecular Phylogenetics and Evolution* (13), pp 169–180.

Quezel P., 1978 - Analysis of the flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Annals of the Missouri Botanical Garden.*, 65 (2), pp 479-534.

Ramade, F., 2008 - Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Dunod, Paris, pp 09.

Ricard, J. M., Bergougnoux, F., Callot, G., Olivier, J. M., Pargney, J. C., et Sourzat, P., 2003 - La truffe. CTIFL, Paris , France, 270 p.

Riousset L. et G., Dupre C., et Chevalier G., 2004 - Truffes et Terfez communes à la France et au Maroc. In : Actes 1^{er} Symposium sur les Champignons hypogés du bassin méditerrané : 6–8 avril 2004, Rabat, Maroc, pp. 192–220

Riousset L., Riousset G., Chevalier G., et Bardet M.C., 2001 - Truffes d'Europe et de Chine. Ed. INRA, 181 p.

Roth-Bejerano N., Livne D., et Kagan-Zur V., 1990 - *Helianthemum-Terfezia* relations in different media. *New Phytol* (114), pp 235–238.

Roth-Bejerano N., Navarro-Rodenas A, et a Gutierrez A., 2014 - Types of Mycorrhizal Association. Springer Berlin Heidelberg, pp 69-80.

Rouvillois-Brigol, M. 1975 - Le pays d'Ouargla (Sahara algérien), Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Ed. Publications Univ. France, Paris, 316p.

Sasson, A., 1967 - Recherches écophysiologicals sur la flore bactérienne de sols de régions arides du Maroc., ISC et de la Faculté des Sciences, Série botanique et biologique végétale n° 30 – Rabat-Maroc, 230 p.

Selosse M.A., Faccio A., Scappaticci G., et Bonfante P., 2004 - Chlorophyllous and achlorophyllous specimens Of *Epipactis microphylla* (*Neottieae*, *Orchidaceae*) are associated with ectomycorrhizal septomycetes, including truffles. *Microbiology Ecology*, 47 (4), pp 416-42

Shavit, E., et Shavit, E., 2010 - Lead and arsenic in *Morchella esculenta* fruitbodies collected in lead arsenate contaminated apple orchards in the northeastern United States: A preliminary study *J. Frugi* (3), pp 11-18.

Shavit, E., et Shavit, E., 2014 - The Medicinal Value of Desert Truffles. Springer Berlin Heidelberg, pp 323-340.

Slama, A., Fortas, Z., Neffati, M., Khabar, L., et boudabous, A., 2006 - Etude taxinomique de quelques Ascomycota hypogés (*Terfeziaceae*) de la Tunisie méridionale. *Bulletin trimestriel de la Société mycologique de France*, 122 (2-3), pp 187-195.

Smith S.Ë., Read D.J., 1997 -Mycorrhizal symbiosis (second edition). Academic press, London, UK. 605 p.

- Soil Survey Staff , 2010 - Keys to soil taxonomy, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC 78 p.
- Stojkovi , D., Reis, F. S., Ferreira, I. C., Barros, L., Glamo lija, J., iri , A., Sokovi , M., 2013 - *Tirmania pinoyi* : Chemical composition, in vitro antioxidant and antibacterial activities and in situ control of *Staphylococcus aureus* in chicken soup. *Food Research International*, 53 (1), pp 56-62.
- Taylor, F.W., Thamage, D.M., Baker, N., Roth-Bejerano, N., et Kagan-Zur, V., 1995 - Notes on the Kalahari desert truffle, *Terfezia pfeilii*. *Mycological Research* (99), pp 874–878.
- Toutain G., 1979 - Eléments d'agronomie saharienne, de la recherche au développement. Paris. 276 p.
- Trappe J.M, Claridge A.W., Arora D., et Smit WA 2008a - Desert truffles of the African Kalahari: ecology, ethnomycology, and taxonomy. *Econ Bot* (62), pp 521–529.
- Trappe J.M., Claridge A.W., Claridge D.L., Liddle L. 2008b - Desert truffles of the Australian Outback: ecology, ethnomycology, and taxonomy. *Econ Bot* (62), pp 497–506.
- Trappe J.M., Sundberg W.J., 1977 - *Terfezia gigantea* (Tuberales) in North America. *Mycologia*, (69), pp 33–437
- Trappe, J. M., 1971 - A synopsis of the Carbomycetaceae and *Terfeziaceae* (Tuberales) : *Transactions of the British Mycological Society*, 57 (1), pp 85-92.
- Trappe, J. M., 1979 - The orders, families, and genera of hypogeous Ascomycotina (truffles and their relatives) “*Clelandia arenacea*, *Dingleya verrucosa*, *Choiromyces aboriginum*, *Peziza stuntzii*”, new taxa, *Fungi. Mycotaxon* (9), pp 297–340
- Trappe, J. M., Claridge, A. W., et Kagan-Zur, V. 2014a - Ecology and Distribution of Desert Truffles in the Kalahari of Southern Africa. Springer Berlin Heidelberg, pp 193-202.
- Trappe, J. M., Kovács, G. M., et Weber, N. S., 2014b - Ecology and Distribution of Desert Truffles in Western North America. Springer Berlin Heidelberg, pp 107-120
- Watson A., 1992 - Desert soils. *Weathering, soils & paleosols.*, pp 225-260.
- Zaretsky M., Kagan-Zur V., Mills D., et Roth-Bejerano N. 2006 - Analysis of mycorrhizal associations formed by *Cistus incanus* transformed root clones with *Terfezia boudieri* isolates. *Plant cell reports*, 25 (1), pp 62-70.

Annexes

Annexe 01 : Fiche descriptive

Station :

1-Date:...../...../.....

2- Coordonnées GPS

3- Géomorphologie :

.....
.....
.....

4- Densité de la plante symbiotiques :

.....
.....

5 Mesures

Prélèvement	Distance champignon – tige. (cm)	Nombre des truffes par plants	Profondeur dans le sol	Poids (g)	Stade végétatif de la plante symbiotique
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
09					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					

Annexe 02 : Clés descriptive des Terfez (Trappe, 1979)

Caractéristiques	Péridium	Glèba	asque	Ascospore	Plante-hôte	Habitat
Genres et espèces						
<i>Terfezia eremita</i> (Malençon.1973)	Couleur brune à marron. Coriace à section brune. Extérieurement glabre ; lisse ou faiblement veinulé. Les hyphes sont larges ; confuses rameuses et septes	Parcourue de veines pâles délimitant des modules globuleux Base stérile très brève ; homogène et charnue.	Ovoïde ou piriforme octo-sporé. Dimension : 60 à 70x50à 55 à55um	Sphérique avec une membrane épaisse de 1 µm groupées par 8parfois en nombre plus réduit par avortement. Dimension:12.3 à14µm ; sans les verrues.	Hélianthème	Afrique du nord.
<i>Terfezia pflleilii</i> (Henning1897)	Couleur marron possède une couleur externe ; forme d'hyphes allant 4 à 12 µm.	Couleur hyaline formée de poches séparées par des veines stériles.	Subglobuleux et parfois ellipsoïde. Jeune : Couleur hyaline âgé : couleur marron formé de poches	Globuleuse. Dimension : 16 à 26 µm avec ornementation.	hélianthème	Afrique du sud. Province du cap Damarland
<i>Terfezia oustroafricana</i> (Marasas et Treppe.1973)	Couleur jaune marron. Formé d'hyphes larges hyalines avec paroi épaisse.	Couleur marron ; solide ;marbrée de veines.	Subcylindrique ;réniforme ou asymétrique. Arrangé dans des poches fertiles portant 4 à 8 spores Dimension 140 x 30 µm.	Ellipsoïde à ovoïde ; très souvent irrégulière. Couleur jaune pâle Dimension : 22 à 26µm.	hélianthèmes	Afrique du sud. Province du cap Damarland

<i>Terfazia qiqantea</i> (Imai)	Couleur jaune marron	Couleur blanche, solide, charnue, formée par des tissus fertiles séparée par des veines stériles.	Forme irrégulière globuleuse. Ellipsoïdes, avec une courte queue 2 à 8 spores. Dimension : 100 à 145x75 à 105µm	Globuleuse. Marron, hyaline, granuleuse et épineuse. Dimension : 32,5 à 47,5µm de diamètre.	Hélianthème	Montagne appache pennsylvanie (Amérique) Hokkaido (Japon).
<i>Terfazi spinoza</i> (Marlen)	Couleur jaune pale. Formé par des hyphes enchevêtrés.	Couleur blanche	Sub-arrondi à légèrement arrondi	Emoussé ou large, portant des épines qui peuvent être minces. Dimension : 16à32µm	Hélianthème	Louisiane (sud de l'Amérique du Nord).
<i>Terfazia decaryi</i> (Heim)	Couleur brune charnue.	Couleur blanche marquée de veines relativement large et peu nombreuses avec des terminaisons aiguës et fermés sans être dures.	Largement cylindrique, claviforme sublosangique. Dimension : 50 à 80µm	Ornementée d'une péri spore très saillante atteignant 4µm d'épaisseur, d'aiguillons énormes isolés ou réunis par groupes. Dimension : 20à30µm de diamètre	Daro (résineux).	Madagascar.

<p><u>Terfazia clavervi</u> (Chat, 1982)</p>	<p>Couleur jaune brunâtre devenant plus foncé avec l'âge. Surface unie</p>	<p>Couleur blanche teintée de jaune Homogène avec une saveur peu sucrée se termine par un court et épais pédicule.</p>	<p>Ellipsoïde ou largement piriforme subsessile. Octosporé. Dimension : 80 à 100x65 à85µm.</p>	<p>Sphérique, finement réticulée hyaline. Ornée d'un beau réseau superficiel bas et serré. Dimension : 16 à 23µm de diamètre.</p>	<p><i>Heliathemum salicifolium.</i> <i>H.guttatum</i></p>	<p>Espagne (Granada). Moyen-Orient : Iraq, Koweït. Algérie, Tunisie, Maroc, Libye. Australie, Asie, Amérique du Nord (Louisiane).</p>
<p><u>Terfazia boudieri</u> (Chatin,1982) =<u>T.Microspora.pat</u> (1894) =<u>T.aphroditis</u> Chat (1893) =<u>T.Metaxii</u> Chat (1891).</p>	<p>Couleur jaune bistre. Surface unie</p>	<p>Couleur brune, sensiblement homogène. Saveur agréable</p>	<p>Subglobuleux ou ellipsoïde. Possède de 5 à 8 spores. Dimension : 66à 80µm.</p>	<p>Afrique relief avec courts festons munis de nombreuses granulations. Dimension : 22 à 26µm</p>	<p>Hélianthème.. Cistes.</p>	<p>Afrique septentrionale Algérie : (Boussaada, Biskra, Barika, Batna, El-Golea). Libye Moyen-Orient : Koweït et les pays voisins (Syrie, Iraq, Péninsule d'arabie, Turquie. Russie (Caucase).</p>
<p><u>Terfazia leptoderma</u> Chatin (1891)</p>	<p>Couleur jaune à marron .formé d'hyphes larges et des cellules gonflées.</p>	<p>Couleur jaune à marron foncée. Possède des poches fertiles séparées par des veines terminales stériles.</p>	<p>Ellipsoïde ou sphérique. Possède de 4à spores subglobuleuses. Dimension : 60x50 à 60µm</p>	<p>Sphérique à épines serrées de couleur claire, subhyaline. Dimension : 16 à 19µm de diamètre</p>	<p>Hélianthème, Pins , Cistes</p>	<p>Amérique de sud. Sud et centre de l'Europe, Asie.</p>

<p><i>Tirmania nivea</i> (trappe,1971) <i>T. Ovalispora</i> (Patouillard, 1890) <i>T. africana</i> (Chatin,1892)</p>	<p>Coloré en blanc lacté et jaunissant. Avec l'âge, mat, lisse, peut être turbiné, lobé ou bosselé.</p>	<p>Couleur blanchâtre ou jaunâtre. Homogène, charnue et spongieuse.</p>	<p>Ovoïde, piriforme à base courte. Octosporé. Dimension : 80-90x35-40µm</p>	<p>Ellipsoïde à membrane peu épaisse. Hyaline, lisse ou sublisse. Dimension : 18 à 20µm sur 13-15µm.</p>	<p>Hélianthème Cistes.</p>	<p>Afrique septentrionale (Maroc, sud algérien Libye). Iraq,(Syrie, Péninsule d'Arabie, Turquie)</p>
<p><i>Tirmania pinoyi</i> (Maire,1906)</p>	<p>Couleur blanche, mal définie à peine différencié, réduit à un feutrage stérile.</p>	<p>Couleur peu rosée homogène, marbrée de quelques veinules ascendantes</p>	<p>Piriformes. Octosporé. Dimension : 90à100x50µm</p>	<p>Sphérique parfois brièvement ellipsoïde avec un ou plusieurs globules. Dimension : 15à 19µm de diamètre</p>	<p>Hélianthème</p>	<p>Afrique du Nord : Maroc, Algérie, Iraq. (Syrie, Péninsule d'Arabie, Turquie).</p>
<p><i>Terfazia arenaria</i> (Trappe,1971) T.Leonis Tul.</p>	<p>Couleur mate passant à brun. Rouge avec l'âge. Epais</p>	<p>Couleur blanchâtre puis marbrée rose. Ocré lobée ou divisée en petites masses. Présence de poches jaunes à marron sombre espacées de veines stériles</p>	<p>Subglobuleux à ellipsoïde. Grand contentent de 5 à 8spores. Dimension : 51 à 56x62à65µm</p>	<p>Sphérique non alvéolée avec papilles. Grosses obtuses, tronquées avec des dents d'engrenage. Dimension : 22à26µm</p>	<p><i>Tuberaria guttata.</i> <i>Hélianthèmum guttatum, pinus</i></p>	<p>Afrique du Nord : Algerie, Maroc, Tunisie, Libye. Dans les forêts de pins et de cèdres en Espagne. Amérique du Nord, Asie.</p>

<i>Terfazia longii</i> (Gilkey)	Couleur jaune marron, lisse formée par des larges hyphes et d'un gros pseudoparnchyme.	Couleur blanche.	Globuleux parfois allongé. Dimension : 60 à 80 μm	Alvéolée, épineuse : le nombre d'épies parfois supérieure à 15 dans la même circonférence Dimension : 20 à 24 μm	Hélianthème	Nouveau Mexique
<i>Terfazia terfezioides</i> <i>T.mattirolomyces</i> (Fischer) Trappe	Couleur marron divisée par des veines pseudo parenchymateuses délimitant des modules fertiles.	Couleur marron divisée par des veines pseudo parenchymateuses délimitant des modules fertiles.	Forme ovoïde avec une longueur 3fois plus grande que la largeur.	Arrondie de manière irrégulière globuleuse, hyaline vire au jaune pâle avec des épines aux angles des mailles.	Hélianthème	Nord de l'Italie

Trappe J.M., 1979-The order, familial and genera of hypogeous Ascomycète (Truffes and their relatives) .Mycotaxon N° 9, PP 297-340.

Annexe 03 : Données climatiques des stations d'étude

Site	Année	T moy (°c)	T max (°c)	T min (°c)	Précipitations annuelle (mm)	Cumul des précipitations des mois : Oct. Nov. Déc. de l'année précédente	Cumul des précipitations des mois : Jan. Fév. Mars. de l'année en question)	Indice de Martone
Noumrate	2007	22.50	28.60	16.40	51.05	19.31	4.57	1.57
Noumrate	2008	22.50	28.30	16.50	115.07	7.87	8.64	3.54
Noumrate	2009	22.40	28.30	16.40	130.06	78.74	73.41	4.01
Noumrate	2010	23.30	29.30	17.10	42.41	0.00	8.38	1.27
Noumrate	2011	22.20	28.00	16.40	153.94	9.14	61.22	4.78
Noumrate	2012	22.68	28.62	16.56	39.89	49.28	17.54	1.22
Zelafana–Guerrara	2009	22.40	28.30	16.40	130.06	78.74	73.41	4.01
Zelafana–Zuerrara	2012	22.68	28.62	16.56	39.89	49.28	17.54	1.22
Hassi El Fehal	2007	2.80	30.80	13.90	0.25	8.13	0.00	0.02
Hassi El Fehal	2008	22.90	30.20	14.60	43.94	0.00	4.57	1.34
Hassi El Fehal	2009	22.70	30.30	14.30	73.93	35.31	73.62	2.26
El Golea	2009	22.70	30.30	14.30	73.93	35.31	73.62	2.26
El Golea	2010	23.90	31.60	15.50	2.55	0.00	1.20	0.08
El Golea	2012	22.80	29.90	15.00	50.29	0.51	78.40	1.53
OuedM'ya	2007	23.70	30.80	16.40	12.94	6.52	0.00	0.38
OuedM'ya	2009	23.60	30.80	16.00	123.44	27.44	103.11	3.67
Oued N'ssa	2009	23.60	30.80	16.00	123.44	27.44	103.11	3.67
Oued Righ	2009	22.20	28.90	15.40	157.99	18.04	115.32	4.91

Sabl	Moyenne	Ecart-type	Ecart interquartile	Coefficient de variation	Coefficient de dissymétrie	Coefficient d'aplatissement	0%	25%	50%	75%	100%	n
T_arenaria	83.66	5.40	6.98	0.065	-0.564	2.512	67.5	81.37	82.28	88.348	93.9	24
T_claveryi	87.39	4.56	8.88	0.052	-0.301	-1.629	81	82.075	89.28	90.955	94.1	16
T_nivea	85.05	4.98	9.23	0.059	0.631	-1.360	80	81.035	82.64	90.268	94.2	38
Limon	Moyenne	Ecart-type	Ecart interquartile	Coefficient de variation	Coefficient de dissymétrie	Coefficient d'aplatissement	0%	25%	50%	75%	100%	n
T_arenaria	14.44	5.44	7.41	0.377	0.561	2.243	4.45	9.935	15.47	17.34	30.5	24
T_claveryi	10.94	4.94	8.43	0.452	0.481	-1.348	3.93	7.17	8.595	15.595	18.8	16
T_nivea	12.98	5.00	9.30	0.385	-0.572	-1.343	3.54	7.85	15.15	17.145	18.6	38
CE	Moyenne	Ecart-type	Ecart interquartile	Coefficient de variation	Coefficient de dissymétrie	Coefficient d'aplatissement	0%	25%	50%	75%	100%	n
T_arenaria	0.75	0.10	0.17	0.132	0.121	-0.714	0.57	0.675	0.773	0.84	0.97	24
T_claveryi	0.72	0.07	0.08	0.100	0.678	0.880	0.61	0.6875	0.71	0.7635	0.89	16
T_nivea	0.72	0.08	0.13	0.115	0.201	-0.781	0.55	0.6625	0.7	0.789	0.86	38
pH	Moyenne	Ecart-type	Ecart interquartile	Coefficient de variation	Coefficient de dissymétrie	Coefficient d'aplatissement	0%	25%	50%	75%	100%	n
T_arenaria	7.88	0.21	0.19	0.027	-1.375	2.457	7.23	7.8025	7.94	7.99	8.15	24
T_claveryi	7.85	0.23	0.21	0.030	-1.192	2.334	7.24	7.795	7.86	8.0025	8.21	16
T_nivea	7.87	0.23	0.18	0.029	-2.104	5.761	7.02	7.81	7.9	7.99	8.18	38
Mo..	Moyenne	Ecart-type	Ecart interquartile	Coefficient de variation	Coefficient de dissymétrie	Coefficient d'aplatissement	0%	25%	50%	75%	100%	n
T_arenaria	0.89	0.11	0.11	0.122	0.491	0.139	0.68	0.84	0.86	0.945	1.12	24
T_claveryi	0.85	0.12	0.10	0.142	-0.312	2.212	0.55	0.7975	0.84	0.895	1.07	16
T_nivea	0.85	0.07	0.08	0.087	-0.020	-0.342	0.71	0.815	0.85	0.8975	1.01	38
CaT..	Moyenne	Ecart-type	Ecart interquartile	Coefficient de variation	Coefficient de dissymétrie	Coefficient d'aplatissement	0%	25%	50%	75%	100%	n
T_arenaria	9.98	1.40	1.25	0.140	1.177	0.787	7.99	9.045	9.595	10.29	13.2	24

SO4.2	Moyenne	Ecart-type	Ecart interquartile	Coefficient de variation	Coefficient de dissymétrie	Coefficient d'aplatissement	0%	25%	50%	75%	100%	n
T_arenaria	0.41	0.06	0.06	0.156	-0.903	2.782	0.22	0.3838	0.41	0.4425	0.54	24
T_claveryi	0.42	0.06	0.07	0.143	-0.518	0.558	0.28	0.3875	0.42	0.4558	0.51	16
T_nivea	0.42	0.05	0.04	0.111	-1.870	8.765	0.22	0.3925	0.419	0.43	0.5	38

[EJFA Home](#)[About the Journal](#)[EJFA's History](#)[Log In](#)

Thursday Mar 06 Log In Register Text size + x -

[CFA Home](#)[Guide to Authors](#)[What's New](#)[Register](#)Search All [UAEU Home](#)[Editorial Board](#)[Journal Policies](#)[Submit Online](#)[Contact Us](#)

College of Food and Agriculture

جامعة الإمارات العربية المتحدة
United Arab Emirates University
UserUsername Password Remember me[Home > Indexing](#)**Indexing**
EMIRATES JOURNAL OF FOOD AND AGRICULTURE
 [Formerly known as EMIRATES JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES]
JOURNAL RANKINGS**Ranked in SCIMago : H Index: 3****SJR (SCImago Journal Rankings) : 0.153 [2012]****SNIP (Source Normalized Impact per Paper) : 0.220 [2012]****Index Copernicus / IC Value : 5.78 [2011]****National Academy of Sciences / NAAS Rating : 4.6 out of 6 [2012]****Google Scholar Metrics : h5-index: 7, h5-median: 10****ABSTRACTED / INDEXED / LISTED**

- ABI/INFORM Complete
- ABI/INFORM Trade & Industry
- Academic Index
- Academic Keys
- Academic Search Complete
- Academic Research Library
- Academic Resources
- AFFRIT-ALIS
- AgBiotech News and Information
- AgBiotechNet
- AGORA
- AGRICOLA
- Agricultural Econ. Database
- Agriquest
- AGRIS/ CARIS (FAO)
- Agroforestry Abstracts
- Animal Breeding Abstracts
- Animal Science Database
- Animal Production Database
- ASCI Database
- Arab Repository
- BASE
- Biblioteca
- Biocontrol News & Information
- Biofuels Abstracts
- Biological Sciences Database
- Birmingham Public library
- Botanical Pesticides
- CAB Abstracts
- CAB Full Text Repository
- CAB Direct
- CardCat
- Career and Technical Education
- Catalyst
- Crop Physiology Abstracts
- Crop Science Database
- CrossRef
- CrossCheck
- Dairy Science Abstracts
- DOAJ
- EBSCO Publishing
- EBSCOhost
- E-Journal Consortium
- Environmental Impact
- Environmental Science Database
- Env. Sci. Poll. Manage Database
- EVISA
- Field Crop Abstracts
- Forest Products Abstracts
- Forest Science Database
- Forestry Abstracts
- FSTA (IFIS Publishing)
- Gale | Cengage Learning
- Genamics Journal Seek
- GeonD
- GFMER
- Global Health
- Global Issues
- GOAP-UNESCO
- Google Scholar
- Grasslands and Forage Abstracts
- Hinari (WHO)
- HKULib
- Horticultural Science Abstracts
- Horticultural Science Database
- Mathewson-IGT K Cent.
- MeLCat
- Melvyl
- MU Libraries
- NAAS
- NAL
- NewJour, USA
- Nutr. Abst. A: Human & Exp.
- Nutr. Abst. B: Livestock Feeding
- Nutr. Food Sci. Database
- OAJSE
- OhioLINK
- OJS Database
- Open J-Gate
- OpenPub
- ORBi Database
- Ornamental Horticulture
- PASTIC
- Peter Scott's Library
- Pig News and Information
- PLEIADI
- Plant Breeding Abstracts
- Plant Genetic Resources Abst.
- Plant Gen. Breeding Database
- Plant Growth Regu. Abst.
- Plant Protection Database
- Postharvest News & Information
- Potato Abstracts
- Poultry Abstracts
- Prof. ABI/INFORM Compl.
- Professional ProQuest Central
- ProQuest Agriculture Journals
- ProQuest Central
- ProQuest Engineering Journals
- ProQuest Nat. Science Journals
- ProQuest SciTech Journals
- ProQuest Technology Journals
- PRORCH
- RefSeek
- ResearchBib
- Research Library
- Review of Agric. Entomology
- Review of Arom. Med. Plants
- Review of Med. & Vet.
- Entomology
- Review of Plant Pathology
- RICeST
- Rice Abstracts
- RoMEO
- Rural Development Abstracts
- Scirus
- SCIMago
- SCOPLUS
- Seed Abstracts
- SJSU
- SOCOLAR, China
- Soils and Fertilizers Abstracts
- Soybean Abstracts
- SU-Landesbibliothek Saar.
- Summon
- TIBORDER
- The British Library
- The Open Access Digital Lib.
- Soil Science Database
- TROVE

Online ISSN: 2079-0538**Print ISSN: 2079-052X****e-Preview Issues****Current Issue****Past Issues****Special Issues****Supplementary Issues****Flipping Book****Editorial Board****Editorial Advisor**
Prof. Ghaleb Ali Alhadrami
 Dean, College of Food and Agriculture
 United Arab Emirates University, UAE
[See the full Editorial Board](#)**Information**

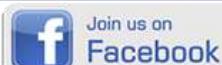
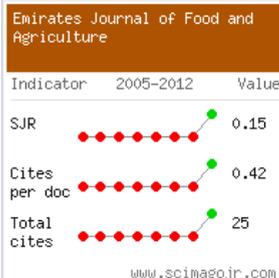
- For Readers
- For Authors
- For Librarians

Categories[About the Journal](#)[Current Issue](#)[Past Issues](#)[What's New](#)[Contact Us](#)[Journal Statistics](#)[Advanced Search](#)**Journal Content****Browse**

- By Issue
- By Author
- By Title

Indexing

- SCOPUS
- EBSCO Publishing, USA
- AGRIS/CARIS (FAO)
- PROQUEST, UK
- CAB Abstracts (CABI Publishing)

[See the full Indexing](#)**Journal Ranking****ICV - 7.61/2012**
NAAS - 4.6/6/2012**Google Scholar Metrics**[See the Ranking Details](#)Join us on
Facebook

- 66. Index Copernicus
- 67. Index Veterinarius
- 68. infoSAT
- 69. InfoTrac-Academic OneFile
- 70. InfoTrac - Agriculture Collection
- 71. InfoTrac Custom
- 72. Invasive Species Compendium
- 73. Irrigation and Drainage Abst.
- 74. ISC Master Journals List
- 75. ISEEK
- 76. I-Share
- 77. IUCat
- 78. J-Gate
- 79. Journal Finder
- 80. Journals for Free
- 81. JournalTOCs
- 82. Koha Journal Finder
- 83. LISGateway
- 84. LivRe!
- 85. Lupton Library
- 86. Maize Abstracts
- 152. trueserials.com
- 153. UlrichsWeb
- 154. Veterinary Bulletin
- 155. VetMed Resource
- 156. Wageningen URLC
- 157. Weed Abstracts
- 158. Wheat Barley Triticale Abst.
- 159. World Ag. Econ. R. Sc. Abst.
- 160. WorldCat
- 161. Zeitschriftendatenbank
- 162. ZDB
- 163. Zurich Open Repository
- 164. OneSearch

Emirates Journal of Food and Agriculture (EJFA)



PLANT SCIENCE

Desert truffles of the North Algerian Sahara: Diversity and bioecology

Lyès Bradai^{1,2*}, Samia Bissati² and Haroun Chenchoumi³

¹Department of Biology, Faculty of Nature and Life Sciences and Sciences of Earth and Universe, University Kasdi Merbah Ouargla, 30000 Ouargla, Algeria

²Laboratoire Bio-ressources Sahariennes : Préservation et Valorisation, Faculty of Nature and Life Sciences and Sciences of Earth and Universe, University Kasdi Merbah Ouargla, 30000 Ouargla, Algeria

³Department of Natural and Life Sciences, Faculty of Exact Sciences and Natural and Life Sciences, University of Tebessa, 12002 Tebessa, Algeria

Abstract

This study reports on the bio-ecology of desert truffles collected from the Northern Algerian Sahara. It aims focused on (i) the identification of desert truffle species with a morphometric characterization, (ii) the determination of their geographical distribution, and (iii) the description of the edaphic, climatic and geomorphological characteristics of their natural habitat. The harvest of 78 truffle fruiting bodies from seven different locations resulted in the identification of three species of the family Pezizaceae: *Terfezia arenaria* (Moris) Trappe, *Terfezia clavaryi* Chatin and *Tirmania nivea* (Desf.) Trappe. These hypogeous ascomycetes live in mycorrhizal association with *Helianthemum lippii* (Cistaceae). Desert truffles grow in heterogeneous soils of sandy texture, moderately calcareous ($10.19 \pm 1.37\%$), slightly alkaline (7.87 ± 0.22), with low organic matter ($0.86 \pm 0.1\%$) and slight phosphorus contents. The development of desert truffles is closely linked with high rainfall occurring during fall and/or winter. The truffles colonize desert depressions "Dayas" and beds of Wadis, since these geomorphological zones accumulate rainwater, which promotes the growth of both truffles and its host-plant.

Key words: Algerian Sahara, Biodiversity, Bioecology, Desert truffles, Mycorrhizae, Terfeziaceae

Introduction

Desert truffles are hypogeous ascomycetes in Mediterranean countries consisting of genera such as *Terfezia*, *Delastria*, *Mattiolomyces*, *Picoa*, and *Tirmania* (Trappe, 1979; Kovács and Trappe, 2014). From their name, desert truffles include species typically distributed in regions with arid and semi-arid climates (Honrubia et al., 1992). These truffle species have developed adaptations to exploit various types of soil of various characteristics, particularly in association with plant species of the family Cistaceae, mainly the genus *Helianthemum* (Malençon, 1973; Alsheikh and Trappe, 1983; Chevalier et al., 1984; Alsheikh, 1985; Kagan-Zur et al., 1994, 1999; Khabar et al., 2001; Slama et al., 2006; Kovács et al., 2007).

Besides their wide distribution, the order Pezizales predominates in arid and semi-arid regions of the Mediterranean basin and adjacent areas, including North Africa (Malençon, 1973; Trappe, 1979; Khabar et al., 2001; Slama et al., 2006), the Middle East (Al-Ruqaie, 2002; Mandeel and Al-Laith, 2007), Southern Europe (Janex-Favre et al., 1988; Honrubia et al., 1992; Ławrynowicz et al., 1997; Moreno et al., 2002) and also the Kalahari Desert (Díez et al., 2002; Mandeel and Al-Laith, 2007; Trappe et al., 2008a, 2014b). In the Mediterranean regions, *Terfezia* and *Tirmania* spp. form mycorrhizal associations mainly on roots of various species of the genus *Helianthemum* Miller (Dexheimer et al., 1985; Fortas and Chevalier, 1992; Gücin and Dülger, 1997). Other genera of desert truffles occur in Africa, Australia and North America (Kovács and Trappe, 2014).

In Algeria, research on desert truffles is sparse, especially in the Sahara desert. Although existing reports described a few species of the genera *Terfezia* and *Tirmania*, they performed mycorrhization tests on desert truffles with other plants in addition to *Helianthemum* spp. All documented studies mainly focus either on the steppe regions (Bessah, 1999), or approached the

Received 12 June 2013; Revised 17 August 2013; Accepted 10 September 2013; Published Online 15 October 2013

*Corresponding Author

Lyès Bradai
Department of Biology, Faculty of Nature and Life Sciences and Sciences of Earth and Universe, University Kasdi Merbah Ouargla, 30000 Ouargla, Algeria

Email: bradai_l@yahoo.fr

Occidental Sahara of Algeria (Fortas, 1990; Tadj, 1996). Therefore the importance and benefits of these symbiotic fungi remain unknown in the Sahara Desert, which represents the most hostile ecoregion worldwide. Furthermore, the current study focuses on identification and morphological characterization of edible species of desert truffles found in Northern Algerian Sahara in relation with their distributional habitats. This pioneer study aims to provide information about species bio-ecology including the geographical distribution, habitat description, species occurrence frequency, main edaphic and climatic factors controlling their distribution and occurrence.

Materials and Methods

Study area

The study area is located in province “Wilaya” of Ghardaia and Ouargla in the Northern Sahara (Algeria), covering an area of 200,000 km², between 28°40'N to 33°40'N and 02°00'E to

08°00'E (Figure 1). The study was conducted during January to March of 2006 to 2012.

The climate is typically hot-arid. Average temperatures are high, with absolute maxima in July–August exceeding 50 °C, and minima in January ranging from 2 to 9 °C (Le Houerou, 1990). Soil surface temperature may exceed 70 °C; however, the temperature rapidly decreases with depth. Because of low cloudiness, the sunlight in the Sahara Desert is relatively strong and has a drying effect by raising the temperature (Ozenda, 2004). Practically, precipitation always occurs as rain characterized by its slight importance; torrential rains are rare. Rains are related to Sudano-Saharan and Saharan meteorological disturbances (Dubief, 1963). Such insufficient Saharan rains are associated with a significant irregularity of rainfall patterns and a considerable interannual variability, which induce more or less lengthy severe droughts (Ozenda, 2004).

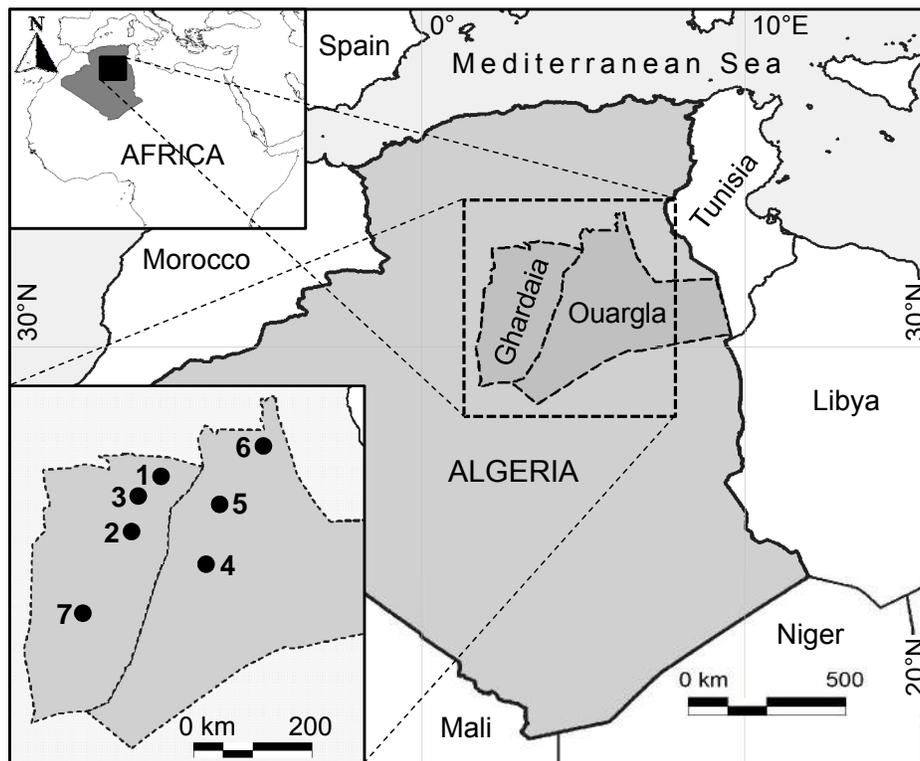


Figure 1. Location of the surveyed area in Northern Algerian Sahara. The study area includes Ghardaia and Ouargla spotted inside the dashed square. Solid dots (●) represent location of the seven sampling sites: 1: Guerrara, 2: Hassi El Fehal, 3: Noumrate, 4: Oued M’ya, 5: Oued N’ssa, 6: Stah El Merdfa, 7: Golea.

Choice of sampling sites

Seven sampling sites were chosen inside the study area for the collection and harvest of desert truffles. Site selection was based on the guidance of local inhabitants and nomads of the Sahara Desert. Seekers of desert truffles, "Truffle hunters" were also consulted. The selected sites were known to be usual producing areas of desert truffles.

Within each sampling site, a station of one hectare area (100 × 100 m) was delineated. The choice of all stations was based on the use of a purposeful sampling by choosing stations which looked particularly homogeneous and representative (Gounot, 1969).

In the vicinity of host plants in the genus *Helianthemum* (Alsheikh, 1985), the desert truffles were detected *in situ* by observing cracks and swellings in soil surfaces caused by emergence of the ascocarps (Figure 2).

Morphological study of Truffles

By use of a stereo zoom binocular microscope, morphology of macroscopic characters, in particular the shape and colour, was described for each part of the truffle, namely the ascocarp, the peridium and the gleba. To identify and characterize the species harvested, fresh samples were cut with a sharp blade, placed in 5% KOH, and stained with Melzer's reagent. Various characteristics such as ascospore shape, number per ascus, colour and orientation were observed under an optical microscope (magnification ×100)

connected to a computer for species recognition. The dimensions of the asci and ascospores were measured using the Bio microscopic software "Motic Image Plus 2.0". Truffle species were identified by available keys such as Trappe (1979) and Ferdman et al. (2005).

Soil sampling and analysis

At each truffle harvest point, a soil sample was collected at a depth of about 10–25 cm. Soil samples were dried in open air in the laboratory at ± 25°C, sieved through a 2 mm sieve and analysed to determine the physicochemical characteristics by standard methods (Baize, 2000).

The analysed soil parameters were particle size, determined by the international method "Robison's pipette"; electrical conductivity "EC" was measured with a conductivity-meter at 25°C on a soil:water ratio of 1:5, then the concentration of salts "salinity" was calculated by this formula: soil salinity in mg/L = 640 × EC in dS/m (Baize, 2000); pH was determined with a pH-meter with glass electrode on a soil:water ratio equal to 1:5; total CaCO₃ was measured by Bernard calcimeter; organic matter was identified by Anne's method (AFNOR, 1996); HCO₃³⁻ was determined by titration with H₂SO₄ and SO₄²⁻ by the gravimetric method after precipitation as barium chloride (AFNOR, 1996); phosphorus, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ and K⁺ were determined by an atomic absorption spectrophotometer on a soil:water extract ratio of 1:5 (Baize, 2000).

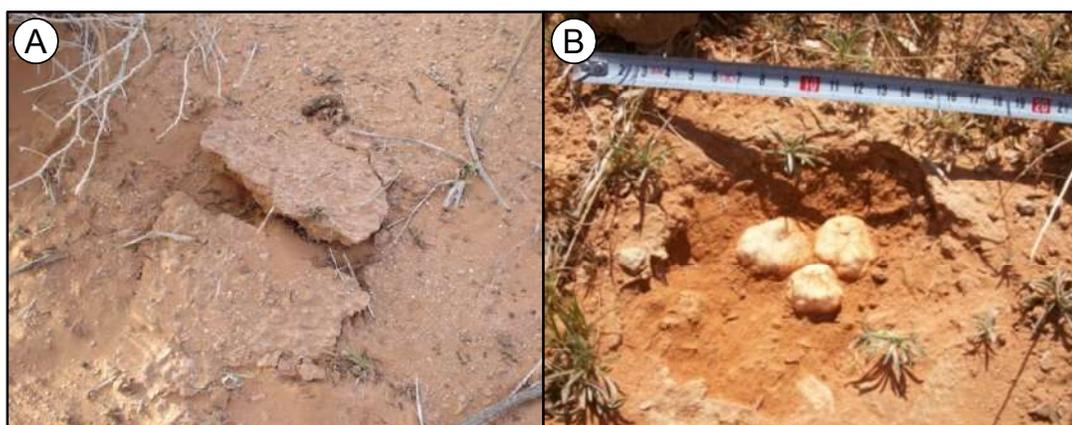


Figure 2. General view of the collection points of desert truffles (A: Swelling of the ground caused by Truffle, B: View of *Tirmania nivea* growing deep in the earth and the surrounding vegetation, including young seedlings of *Helianthemum lippii*).

Statistical analysis

A Pearson's Chi-square test (χ^2) was performed to test the null hypothesis that no association exists between the occurrence of desert truffle species and the study sites.

Means and standard deviations of soil factors were given for each site. After assessing the normal distribution and homogeneity of data by the Shapiro-Wilk normality test, all soil parameters were tested for significant differences between sampled sites using One-Way ANOVA followed by Tukey's post hoc test when the test is positive. R-commander {Rcmdr} was used as a statistical package for computations (Fox, 2005).

Results and Discussions

Identification and distribution of truffle species

Following the sampling of seven sites at the Northern Algerian Sahara during the period 2006 to 2012, a total of 78 fresh fruiting bodies of truffles were collected. The harvested desert truffles belonged to *Terfezia* or *Tirmania* (Pezizaceae) and three species: *Terfezia arenaria*, locally called in Arabic "Terfesse Lahmar", *Terfezia claveryi*, known vernacularly as "Terfesse Lakhal" and *Tirmania nivea*, commonly called "Terfesse Labyadh".

The most abundant species over all sampled sites was *Tirmania nivea* with a mean relative abundance of $70 \pm 10.1\%$, followed by *Terfezia arenaria* whose occurrence ranged from 19 to 37% (mean = $22.9 \pm 8.1\%$). *Terfezia claveryi* occurred r between 0 and 17% with an average of $9.9 \pm 5\%$ (Figure 3). According to Pearson's Chi-square test, no significant relationship was found between number of harvested fruiting bodies of each truffle species and the sampled sites ($\chi^2 = 11.01$, $df = 12$, $P = 0.528$).

Desert truffles are limited to semi-arid and arid areas, especially in countries of the Mediterranean basin, including Southern Europe as Portugal, Spain, France, Italy, Hungary and Turkey (Janex-Favre et al., 1988; Honrubia et al., 1992; Moreno et al., 2002), and North Africa, extending from Morocco to Egypt (Malençon, 1973; Bokhary, 1987; Khabar et al., 2001), and the Middle East (Alsheikh and Trappe, 1983; Alsheikh, 1985; Mandeel and Al-Laith, 2007). Some species of desert truffles also occur in Botswana, Namibia, and South Africa (Marasas and Trappe, 1973; Trappe et al., 2008a, 2014a), Australia (Trappe et al., 2008b, 2010, Claridge et al., 2014), and Mexico and the USA of North America (Moreno et al. 2012, Trappe et al. 2014b).

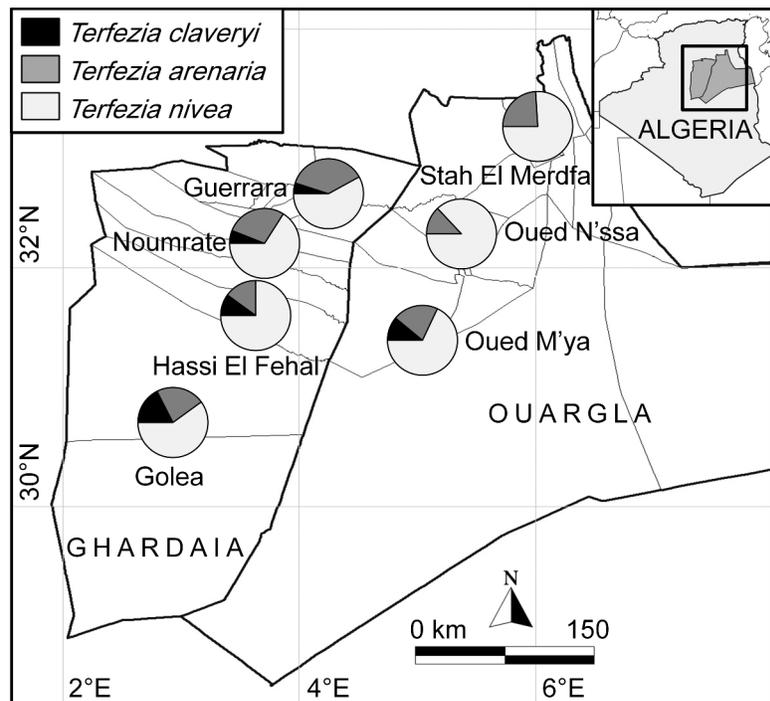


Figure 3. Distribution and density of desert truffles in the Northern Algerian Sahara. (Charts represent occurrence frequencies of the surveyed truffle species within each site).

Morphometric description of surveyed truffles

The macroscopic and microscopic characters and anatomy of the fruiting body for the identified truffle species are detailed in Figure 4.

• ***Terfezia arenaria*** — **Ascocarps:** subglobose to tuberiform, 7 – 12 cm in diameter, with peduncle at the base. The colour ranges from dark-brown to brown (Figure 4A). **Peridium:** brownish, 0.75 – 2 mm thick with a smooth, often cracked surface (Figure 4B). **Gleba:** fleshy, mottled reddish to pinkish, with visible sterile veins irregularly delineating the fertile areas. **Asci:** subglobose, sometimes ovoid, randomly arranged in fungal tissues, 62–71 × 73–83 μm in diameter. At maturity it contains six ascospores. **Ascospores:** yellowish, thin-walled hyaline, freely placed inside asci, with spherical shape and size ranging from 21–25 × 22–23 μm (Figure 4C).

• ***Terfezia claveryi*** — **Ascocarps:** measuring 5–8 cm in diameter, sub-globose sometimes pyriform, gibbous sterile surface, pale-brown to

brown, tinted blackish-brown at maturity (Figure 4D). **Peridium:** orange-brown coloured, 0.8–1.2 mm thick (Figure 4E). **Gleba:** fleshy, compact, first yellowish then reddish at maturity, divided by pale veins. **Asci:** globose, 73–93 × 62–74 μm, contain eight spores. **Ascospores:** yellowish, arranged randomly in hyphae tissue at maturity, globose, 17 – 22 μm broad (Figure 4F).

• ***Tirmania nivea*** — **Ascocarps:** often subglobose or lobed pyriform, short and smooth pedicel, can reach 4–8 cm in diameter, whitish cream-coloured to white (Figure 4G). **Peridium:** 1.5–2 mm thick, yellowish milky white (Figure 4H). **Gleba:** fleshy white, solid, slightly marbled with some veins of 1.8–4.9 mm wide. **Asci:** ellipsoid to obovoid, 56–73 × 38–47 μm, amyloid, most with eight hyaline spores with short pedicel. **Ascospores:** bluish, thin-walled, freely arranged within the asci, ellipsoid, 15–18 × 11–13.5 μm (Figure 4I).

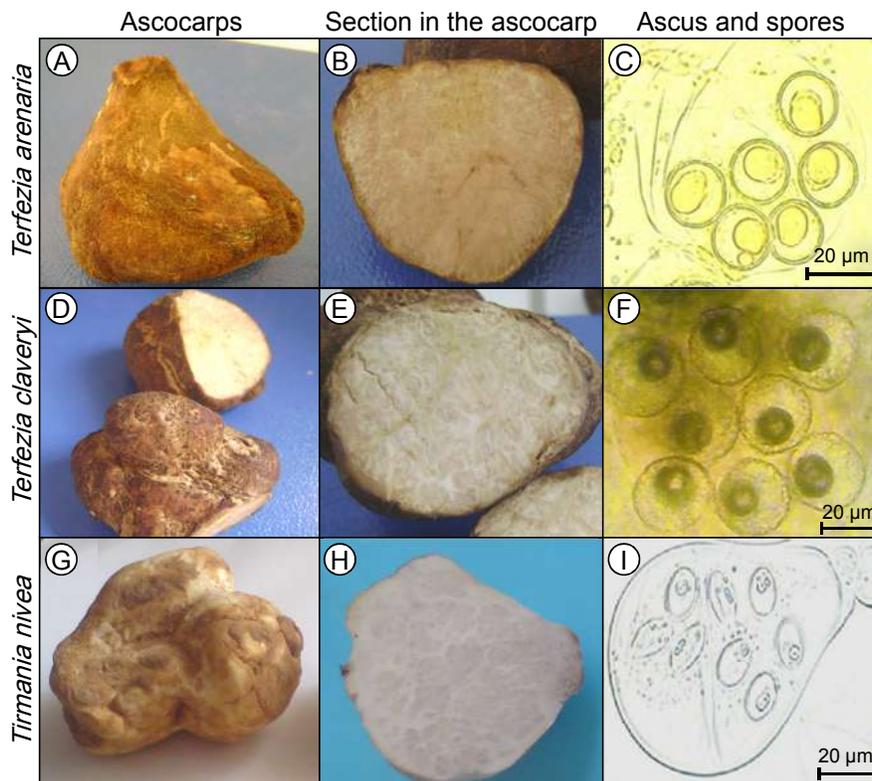


Figure 4. An overview of some morphometric and anatomical characteristics of fruiting bodies of *Terfezia arenaria* (A: Ascocarp, B: section of ascocarp, and C: ascus with and six ascospores), *Terfezia claveryi* (D: Ascocarp, E: ascocarp section, and F: ascospores) and *Tirmania nivea* (G: Ascocarp, H: cross section of ascocarp, and I: ascus with and eight ascospores) collected from the Northern Algerian Sahara Desert.

The morphological and anatomical characteristics of *Terfezia arenaria*, *Terfezia clavaryi*, and *Tirmania nivea* found in the study area are in ideal agreement with descriptions of the same truffle species of Africa (Malençon, 1973; Khabar et al., 2001; Slama et al., 2006), those of Kuwait (Alsheikh and Trappe, 1983), Saudi Arabia (Bokhary, 1987), Iraq (Abd-Allah et al., 1989), Egypt (El-Kholy, 1989), Mediterranean Basin (Morte et al., 2009), and at world scale (Trappe, 1979).

Bioecology of desert truffles Edaphic parameters

Results of the physicochemical analyses applied for soil samples extracted from different parts of the North Algerian Sahara are shown in Table 1.

Soil analyses of sites producing desert truffles showed wide heterogeneous pedological characteristics between the sites. Indeed, ANOVA tests showed a significant variation ($P < 0.001$) in values of most edaphic factors (except K^+ and SO_4^{2-}) between the sampled sites. Tukey's post hoc showed that these sites belong to different classes (2–7 groups, following soil factors) which support the finding on heterogeneous pattern of desert truffles distribution over the Northern Algerian Sahara, where truffles recorded different occurrence frequencies within each site.

Despite this inter-site differences, the grain size analysis, based on the American classification of soil textures (Eswaran et al., 2010), showed that all habitats of truffles in the Northern Sahara have soils of sandy texture and single grained structure, where sand grains have high rates of 80.6–91.7%.

Chemically, the habitats of desert truffles were characterized by soils having slightly alkaline pH (Baize, 2000) whose values varied slightly between 7.60 and 8.05. According to the classification scale of salinity of the 1:5 aqueous extract (Aubert, 1978), the sampled soils possess salinity degrees less than 100 mg/L because electrical conductivity values were slight and varied between 0.65 and 0.79 dS/m, which indicates non-saline soils. The content of organic matter ranged from 0.78 to 0.98%. These values reveal a high deficient in soil organic matter according to the scale of organic matter defined by Morond (2001). In addition, the contents of $CaCO_3$ varied from 9.09 to 12.01%, revealing that the sampled soils were moderately calcareous following the scale of total $CaCO_3$. The phosphorus content ranged between 23.42 and 25.54 ppm, indicating soils are poor in phosphorus (Baize, 2000).

Table 1. Means (\pm standard deviation) of physico-chemical soil analyses carried out at sites of harvesting desert truffles in the Northern Sahara of Algeria. Outcomes of One-way ANOVA test are given as F (df between groups, df within groups) and P -value. Letters show significant differences between sites according to Tukey's post hoc test (95% family-wise confidence level); Tukey (HSD) critical value = 3.027. (EC: electrical conductivity, n: number of soil samples analysed in each site).

Soil parameter	Sampled sites (n = 78)							ANOVA	
	Guerrara (n = 10)	Hassi El Fehal (n = 7)	Noumrata (n = 15)	Oued M'ya (n = 17)	Oued N'ssa (n = 11)	Stah El Merdifa (n = 10)	Golea (n = 8)	F (6, 71)	P
Clay (%)	2.38±0.18 ^a	2.07±0.19 ^b	0.18±0.04 ^c	1.64 ± 0.29 ^d	2.69 ± 0.25 ^e	3.19±0.12 ^f	2.05±0.08 ^b	316.57	<0.001
Silt (%)	13.9±2.18 ^a	6.2±1.38 ^b	18.03±0.49 ^c	9.66±6.52 ^b	16.72±0.7 ^{ac}	15.29±0.89 ^{ac}	6.98±0.61 ^b	20.84	<0.001
Sand (%)	83.72±2.25 ^a	91.73±1.24 ^b	81.79±0.51 ^a	88.67±6.53 ^b	80.6±0.78 ^a	81.53±0.94 ^a	90.97±0.62 ^b	19.74	<0.001
EC (dS/m)	0.66±0.04 ^a	0.66±0.06 ^a	0.79±0.07 ^a	0.78±0.07 ^a	0.67±0.03 ^a	0.78±0.08 ^b	0.65±0.07 ^a	11.63	<0.001
pH	7.88±0.12 ^{ab}	7.78±0.39 ^{ac}	7.96±0.07 ^b	8.05±0.11 ^b	7.60±0.21 ^c	7.90±0.07 ^{ab}	7.84±0.1 ^{bc}	10.62	<0.001
Total $CaCO_3$ (%)	10.21±0.76 ^{ab}	11.28±1.26 ^{ac}	11.66±1.13 ^c	9.09±0.54 ^d	9.19±0.32 ^{bd}	9.09±0.77 ^d	12.01±0.11 ^c	27.09	<0.001
Organic matter (%)	0.83±0.11 ^{ab}	0.83±0.05 ^{bc}	0.85±0.04 ^{ab}	0.84±0.08 ^{ab}	0.78±0.07 ^b	0.97±0.09 ^c	0.98±0.1 ^{ac}	6.42	<0.001
Phosphorus (ppm)	22.09±1.32 ^a	23.42±1.38 ^{ab}	21.95±1.09 ^a	24.22±1.05 ^b	21.83±1.50 ^a	22.28±0.94 ^a	25.54±0.50 ^c	14.83	<0.001
Ca ⁺⁺ (cmol ⁺ /kg)	6.26±0.17 ^a	5.19±0.49 ^b	6.26±0.17 ^a	4.62±0.7 ^c	5.31±0.08 ^b	4±0.46 ^d	5.02±0.12 ^{bc}	42.70	<0.001
Mg ⁺⁺ (cmol ⁺ /kg)	1.44±0.19 ^{ab}	1.13±0.13 ^c	1.28±0.2 ^{ac}	1.46±0.1 ^b	1.36±0.06 ^{ab}	1.3±0.1 ^{bc}	1.4±0.12 ^{ab}	7.47	<0.001
K ⁺ (cmol ⁺ /kg)	0.14±0.02 ^a	0.18±0.03 ^a	0.14±0.02 ^a	0.18±0.02 ^a	0.19±0.03 ^a	0.2±0.02 ^a	0.19±0.02 ^a	1.04	0.405
HCO ₃ ⁻ (cmol ⁺ /kg)	0.21±0.02 ^{ab}	0.21±0.03 ^b	0.22±0.01 ^{ab}	0.26±0.08 ^{ac}	0.29±0.01 ^c	0.28±0.04 ^c	0.23±0.02 ^{bc}	7.45	<0.001
SO ₄ ⁼ (cmol ⁺ /kg)	0.44±0.02 ^a	0.4±0.02 ^a	0.42±0.04 ^a	0.4±0.09 ^a	0.44±0.04 ^a	0.41±0.02 ^a	0.4±0.03 ^a	1.56	0.171

Due to physicochemical properties of soils in the Algerian hyper arid lands, such as the lack of cohesion between soil particles, low values of the organic matter, salinization..., ecosystems of this region are classified as degraded habitats (Halitim, 1998). Moreover, truffles were reported occurring in semiarid and arid areas of Algeria on calcareous soils that have sandy texture and very slight organic matter values (Fortas, 1990). Besides, it has been reported that *T. claveryi* and *T. nivea* occur in deserts of salty and/or gypseous soils (Singer, 1961; Halwagy and Halwagy, 1974; Alsheikh and Trappe, 1983; Bradai et al., 2013).

In general, soil properties of truffles biota in Northern Algerian Sahara are very similar to those reported in some truffle autoecological studies, whether in North Africa (Fortas, 1990; Khabar et al., 2001; Slama et al., 2006) or in the Middle East (Abd-Allah et al., 1989; Hashem and Al-Obaid, 1996; Al-Ruqaie, 2002; Mandeel and Al-Laith, 2007). However, our results are different from those observed in the Kalahari Desert, where the soil of truffle habitats had a low pH values ranging from 5.5 to 6.5; as well low total CaCO₃ content (0.3 and 3.1%) (Taylor et al., 1995). This difference is probably due to multiple dissimilarities of regional landscape-type (geomorphology, hydrology and the type of habitat); climate patterns (temperature, precipitation and seasonality); soil traits (soil type and evolution); and the type of host plants (Díez et al., 2002).

Geomorphological parameters

In the Algerian Sahara, the producing areas of desert truffles occur especially in depressions (Daya) and beds of temporal Wadis. The trend towards these geomorphological zones is not random, it follows that these formations are characterized by their ability to accumulate rainwater, which promotes the development of truffles as well as its host plant species. Ozenda (2004) argues that the Wadis and Dayas (depressions) are among the most favourable biotopes for the installation of vegetation in the Saharan regions. In addition, Chehma et al. (2005) also demonstrated that the beds of Wadis are the richest and most diverse in species and plant families in the Northern Sahara habitats. Moreover, this area is well known for its richness of medicinal plants (Hadjaidji-Benseghier and Derridj, 2013).

Climatic parameters

According to our findings, the development and distribution of desert truffles in the Northern Algerian Sahara are mostly related to the existence

of favourable habitats in relation to climate. Indeed, truffle development is closely related to climatic conditions, particularly rainfall, which mainly occurs during the fall and winter seasons (Figure 5). In fact, truffles thrive in warm climates provided in autumn and/or winter given quantities of rains fall then periods of drought follow. These rains, even of low-quantity, play important roles in the establishment of truffles including the transport and dispersion of fungal spores, spore germination and also the germination and development of host plant (*Helianthemum* spp.).

However, the production of truffles can be disrupted by excessive rainfall or rains poorly distributed during the year or even by prolonged periods of extreme heat or cold or even more prolonged periods of drought (Chafi, 2004). Indeed, we find that annual rainfall well distributed between October to March often give good results for harvesting desert truffles in Algeria, which takes place between January–February in the Saharan regions (arid climate) and from March to April in steppe regions, areas with semi-arid climate.

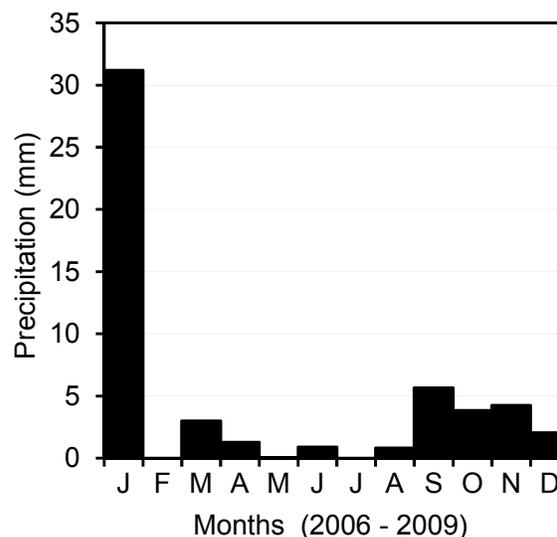


Figure 5. Variation in average monthly precipitation of Northern Sahara, Algeria during the period 2006–2009.

Based on our monitoring of desert truffles in the sites sampled throughout 2009 and for rainfall of 130.06 mm (NOM, 2010), truffle productivity was about 4.3 kg per hectare, knowing that for the same sites and during the year 2007, no production has been achieved since the rainfall did not exceed 51.05mm (NOM, 2008). The growth of fruiting bodies of truffles depends on several factors such as the periodicity of the rainy season including rainfall

amount, types and characteristics of soil, water availability and climatic conditions (Bokhary and Parvez, 1988).

Generally, areas where desert truffles grow have an annual rainfall ranging from 50 to 380 mm. During the season of harvest, production yield of truffles is greater if the rainfall varies from 70 to 120 mm in the countries of North Africa and if it fluctuates between 100 to 350 mm in South European countries. The seasonal distribution of rainfall is as important as its quantity, i.e. the rain is required, for both fungi and host-plant growth, no later than early December in North Africa and the Middle East; and at least in early October in southern Europe (Morte et al., 2009).

Symbiotic host plant

Desert truffles surveyed in the Northern Sahara of Algeria establish symbioses with plant roots of the family Cistaceae, especially with *Helianthemum lippii*. The genus *Helianthemum* is well known in literature for the establishment of associations with truffles in several regions in the world (Dexheimer et al., 1985; Fortas and Chevalier, 1992; Díez et al., 2002; Mandeel and Al-Laith, 2007).

The species *Helianthemum lippii* is a small plant, very branched, of stiff stems and partially lignified, that measures up to 30 cm of height in good rainfall conditions. The leaves are opposite, oblong, covered with very short hair, which gives them a whitish green colour. Tiny yellow flowers of five petals, sessile as leaves, are visible in clusters (Ozenda, 2004).

Within the sampled sites, desert truffles are harvested in habitats characterized by a high density of the host plant. In addition to the syncing of truffle development with fall-winter rainfalls, there is a significant synchronization in the growth of the two symbionts, where the maturity of the desert truffles, assessed by the formation of asci, usually and timely corresponds to the flowering stage of the host plant.

Conclusion

The present taxonomic and bioecological study of desert truffles, conducted for the first time in Northern Algerian Sahara, has identified three species *T. arenaria*, *T. claveryi* and *T. nivea*. These species, living in association with *H. lippii* (Cistaceae), are few in number but have remarkable adaptations to the environment that is characterized by a severe aridity and rudimentary soil traits. Indeed, from an ecopedological point of view, the harvested truffles grow in moderately calcareous sandy soils, slightly alkaline and poor in organic and mineral matter. In terms of climate, these fungi

grow in a hot arid climate, as long occasional rains occur in autumn-winter, then periods of drought follow. Future work is necessary to investigate truffles of the Algerian Sahara through studies at molecular scale (DNA sequencing, phylogeny, eco-physiology, and therapeutic and biotechnological benefits).

References

- Abd-Allah, S. K., A. H. Al-Iissa, J. O. Ewaz and S. M. Al-Bader. 1989. Taxonomy of Edible Hypogeous Ascomycotina of Iraq. *Int. J. Mycol. Lichenol.* 4:9-21.
- AFNOR. 1996. Qualité des sols. Recueil de normes françaises, AFNOR, Paris (France).
- Al-Ruqaie, I. M. 2002. Effect of different treatment processes and preservation methods on the quality of truffles: I. Conventional methods (drying/freezing). *Pak. J. Biol. Sci.* 5:1088-1093.
- Alsheikh, M. 1985. Mycorrhizae of annual *Helianthemum* species formed with desert truffles. In 6th North American Conference on Mycorrhizae, Bend, Oregon (USA), 25-29 June 1984. Oregon State University. Forest Research Laboratory.
- Alsheikh, M. and J. M. Trappe. 1983. Desert Truffles: The Genus *Tirmania*. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 81:83-90.
- Aubert, G. 1978. Méthodes d'analyse des sols. Ed. C.R.D.P, Marseille, p. 191.
- Baize, D. 2000. Guide des analyses en pédologie: choix, expression, présentation, interprétation. Ed. Quae, France.
- Bessah, G. 1999. Contribution à l'étude de la symbiose mycorrhizienne entre deux espèces de Terfez : *Terfezia claveryi*, *Terfezia boudieri* avec le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans la région du Djelfa. Magister thesis, National Institute of Agronomy, El-Harrach, Algeria. p. 153.
- Bokhary, H. A. 1987. Desert truffles "Al-Kamah" of the Kingdom of Saudi Arabia. 1. Occurrence, identification and distribution. *Arab Gulf J. Sci. Res.* 5:245-255.
- Bokhary, M. A. and S. Parvez. 1988. Desert truffle "Al-Kamah" of Kingdom of Saudi Arabia. 2. Additional contribution. *Arab Gulf J. Sci. Res.* 6:103-112.
- Bradai, L., S. Bissati and H. Chenchouni. 2013.

- Etude mycologique et bio-écologique de la truffe blanche du désert (*Tirmania nivea* Desf. Trappe 1971) dans la région de Oued M'ya (Ouargla, Sahara algérien). *Revue des Bioressources* 3:6-14.
- Chafi, M. E. H., Z. Fortas and A. Bensoltane. 2004. Bioclimatic survey of the Terfez zones of the South West of Algeria and an essay of the inoculation of *Pinus halepensis* Mill. with *Tirmania pinoyi*. *Egypt. J. Appl. Sc.* 19:88-100.
- Chehma, A., M. R. Djebar, F. Hadjaiji and L. Rouabeh. 2005. Étude floristique spatio-temporelle des parcours sahariens du Sud-Est algérien. *Sécheresse* 16:275-285.
- Chevalier, G., C. Dupre, L. Rioussset and J. Dexhemier. 1984. Synthèse Mycorrhizienne entre *Terfezia leptoderma* Tul et Diverses Cistacées. *Agronomie* 4:210-211.
- Claridge, A. W., J. M. Trappe and D. J. Paull. 2014. Chapter 14. Ecology and distribution of desert truffles in the Australian Outback. In: V. Kagan-Zur, N. Roth-Bejerano, Y. Sitrit, and A. Morte (Eds). pp. 203-214. *Desert truffles—phylogeny, physiology, distribution and domestication*. Springer Berlin Heidelberg.
- Dexheimer, J., J. Gerard, J. P. Leduc and G. Chevalier. 1985. Comparative ultrastructural study of symbiotic mycorrhizal associations between *Helianthemum salicifolium*-*Terfezia claveryi* and *Helianthemum salicifolium*-*Terfezia leptoderma*. *Can. J. Bot.* 63:582-591.
- Díez, J., J. L. Manjón and F. Martín. 2002. Molecular phylogeny of the mycorrhizal desert truffles (*Terfezia* and *Tirmania*), host specificity and edaphic tolerance. *Mycologia* 94:247-259.
- Dubief, J. 1963. Le climat du Sahara. Fasci. 2. Dissertation of Institut de recherches sahariennes, Univ. Algiers.
- El-Kholy, H. 1989. Genetical and physiological studies on truffles. Ph.D. Thesis, Cairo University, Egypt.
- Eswaran, H., R. Ahrens, T. J. Rice and B. A. Stewart. (Eds.) 2010. *Soil classification: A global desk reference*. CRC Press. p. 280.
- Ferdman, Y., S. Aviram, N. Roth-Bejerano, J. M. Trappe and V. Kagan-Zur. 2005. Phylogenetic Studies of *Terfezia pfeilii* and *Choiromyces echinulatus* (*Pezizales*) Support New Genera for Southern African Truffles: *Kalaharituber* and *Eremiomyces*. *Mycol. Res.* 109:237-245.
- Fortas, Z. 1990. Etude de trois espèces de Terfez : Caractères cultureux et cytologie du mycélium isolé et associé à l'*Helianthemum guttatum*. Doctorate Thesis, Univ. Oran, Algeria. p. 166.
- Fortas, Z. and G. Chevalier. 1992. Effet des conditions de culture sur la mycorrhization de l'*Helianthemum guttatum* par trois espèces de Terfez des genres *Terfezia* et *Tirmania* d'Algérie. *Can. J. Bot.* 70:2453-2460.
- Fox, J. 2005. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. *J. Stat. Softw.* 14:1-42.
- Gounot, M. 1969. Méthode d'étude quantitative de la végétation. 7^{ème} édition. Ed. Masson, Paris, p. 314.
- Gücin, F. and B. Dülger. 1997. The researches on the Keme truffle *Terfezia boudieri* Chatin that is edible and showing antimicrobial activities. *Ekoloji* 23:27-33.
- Hadjaidji-Benseghier F. and A. Derridj. 2013. Relative importance of the exploitation of medicinal plants in traditional medicine in the Northeastern Sahara. *Emir. J. Food Agric.* 25:657-665.
- Halitim, A. 1998. *Sols des régions arides*. Ed. OPU, Algiers, Algeria.
- Halwagy, R. and M. Halwagy. 1974. Ecological studies on the desert of Kuwait. II. The vegetation. *J. Univ. Kuwait (Science)* 1:87-95.
- Hashem, A. R., and A. M. Al-Obaid. 1996. Mineral composition of soil and wild desert truffles in Saudi Arabia. *J. King Saud Univ. Sci.* 8:5-10.
- Honrubia, M., A. Cano and C. Molina-Niñirola. 1992. Hypogeous fungi from southern Spanish semi-arid lands. *Persoonia* 14:647-653.
- Janex-Favre, M. C., A. Parguey Le Duc and L. Rioussset. 1988. L'ascocarpe hypogé d'une Terfez française (*Terfezia leptoderma* Tul., Tubérales, Discomycètes). *Bull. Trim. Soc. Mycol. Fr.* 104:145-178.
- Kagan-Zur, V., E. Raveh, S. Lischinsky and N. Roth-Bejerano. 1994. *Helianthemum* - *Terfezia* association is enhanced by low iron in the growth medium. *New Phytol.* 127:567-570.
- Kagan-Zur, V., J. Kuang, S. Tabak, F. W. Taylor,

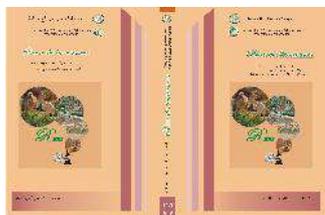
- N. Roth-Bejerano. 1999. Potential verification of a host plant for the desert truffle *Terfezia pfeilii* by molecular methods. *Mycol. Res.* 103:1270-1274.
- Khabar, L., L. Najim, M. Janex-Favre and A. Paraguey-Leduc. 2001. Contribution à l'étude de la Flore mycologique du Maroc : Les Truffes marocaines (Discomycètes). *Bull. Soc. Mycol. Fr.* 117:213-229.
- Kovács, G. and J. M. Trappe. 2014. Chapter 2. Nomenclatural history and genealogies of desert truffles. In: V. Kagan-Zur, N. Roth-Bejerano, Y. Sitrit, and A. Morte (Eds). pp. 21-37. Desert truffles—phylogeny, physiology, distribution and domestication. Springer Berlin Heidelberg.
- Kovács, G. M., E. Jakucs and I. Bagi. 2007. Identification of host plants and description of sclerotia of the truffle *Mattiolomyces terfezioides*. *Mycol. Prog.* 6:19-26.
- Ławrynowicz, M., M. Marković, M. Milenković and B. Ivančević. 1997. *Terfezia terfezioides* – a new hypogeous fungus for Balkan Peninsula. *Acta Mycol.* 32:233-238.
- Le Houerou, H. N. 1990. Définition et limites bioclimatiques du Sahara. *Sécheresse* 1:246-259.
- Malençon, G. 1973. Champignons hypogés du Nord de l'Afrique. I. Ascomycetes. *Persoonia* 7:261-288.
- Mandeel, Q. A. and Al-Laith A. A. A. 2007. Ethnomycological aspects of the desert truffle among native Bahraini and non-Bahraini peoples of the Kingdom of Bahrain. *J. Ethnopharmacol.* 110:118-129.
- Marasas, W. F. O. and J. M. Trappe. 1973. Notes on Southern African Tuberales. *Bothalia* 11:139-141.
- Moreno G., M. Lizárraga, M. Esqueda, R. Galán and P. Alvarado. 2012. New records of little-known species of *Carbomyces* (Carbomycetaceae, Ascomycota). *Mycotaxon* 120:89-98.
- Moreno, G., J. Díez and J. L. Manjón. 2002. *Phaeangium lefebvrei* and *Tirmania nivea*, Two Rare Hypogeous Fungi from Spain. *Mycol. Res.* 104:378-381.
- Morond, D. T. 2001. Soil landscape of the woodbrun 1:100,000 sheet. Department of land and water conservation, Sydney, pp. 271-276.
- Morte, A., M. Zamora, A. Gutiérrez and M. Honrubia. 2009. Desert truffle cultivation in semiarid Mediterranean areas, In: C. Azcón-Aguilar, J.M. Barea, S. Gianinazzi and V. Gianinazzi-Pearson (Eds). pp. 221-233. *Mycorrhizas - Functional Processes and Ecological Impact*. Springer Berlin Heidelberg.
- NOM. 2008. Rapport sur les données climatiques Ouargla - Ghardaïa. Report of the National Office of Meteorology, Ouargla, Algeria.
- NOM. 2010. Rapport sur les données climatiques Ouargla - Ghardaïa. Report of the National Office of Meteorology, Ouargla, Algeria.
- Ozenda, P. 2004. Flore et végétation du Sahara. 5th edition. C.N.R.S, p. 622.
- Singer, R. 1961. *Mushrooms and Truffles*. Leonard Hill Books, London, UK. p. 272.
- Slama, A., Z. Fortas, M. Neffati, L. Khabar and A. Boudabous. 2006. Etude taxinomique de quelques Ascomycota hypogées (Terfeziaceae) de la Tunisie méridionale. *Bull. Soc. Mycol. Fr.* 122:187-195.
- Tadja, A. 1996. Etude écologique de deux espèces de *Terfezia* du Sud-Ouest Algérien. Essai de leur mycorhization sur trois espèces céréalières. Magister thesis, National Institute of Agronomy, El-Harrach, Algeria. p. 57.
- Taylor, F. W., D. M. Thamage, N. Baker, N. Roth-Bejerano and V. Kagan-Zur. 1995. Notes on the Kalahari desert truffle, *Terfezia pfeilii*. *Mycol. Res.* 99:874-878.
- Trappe, J. M. 1979. The orders, families, and genera of hypogeous Ascomycotina (truffles and their relatives). *Mycotaxon* 9:297-340.
- Trappe, J. M., A. W. Claridge, D. Arora and W. A. Smit. 2008a. Desert truffles of the African Kalahari: Ecology, ethnomycology, and taxonomy. *Econ. Bot.* 62:521-529.
- Trappe J. M., A. W. Claridge, D. L. Claridge and L. Liddle. 2008b. Desert truffles of the Australian Outback: ecology, ethnomycology, and taxonomy. *Econ. Bot.* 62:497-506.
- Trappe, J. M., G. M. Kovács and A. W. Claridge. 2010. Comparative taxonomy of desert truffles of the Australian Outback and the African Kalahari. *Mycol. Prog.* 9:131-143.

Trappe, J. M., A. W. Claridge and V. Kagan-Zur. 2014a. Chapter 13. Ecology and distribution of desert truffles in the Kalahari of southern Africa. In: V. Kagan-Zur, N. Roth-Bejerano, Y. Sitrit and A. Morte (Eds). pp. 193-202. Desert truffles—phylogeny, physiology, distribution and domestication. Springer Berlin Heidelberg.

Trappe, J. M., G. M. Kovács, N. S. Weber. 2014b. Chapter 8. Ecology and distribution of desert truffles in western North America. In: V. Kagan-Zur, N. Roth-Bejerano, Y. Sitrit and A. Morte (Eds). pp. 107-120. Desert truffles—phylogeny, physiology, distribution and domestication. Springer Berlin Heidelberg.



Revue.univ-ouargla.dz



Catégorie parente: Revue des bioressources

Catégorie : [volume3 numéro 1 Bioressources 2013](#)

ÉTUDE MYCOLOGIQUE ET BIO-ÉCOLOGIQUE DE LA TRUFFE BLANCHE DU DESERT (*Tirmania nivea* Desf. Trappe 1971) DANS LA REGION DE OUED M'YA (OUARGLA, SAHARA ALGERIEN)

BRADAI L.¹, BISSATI S.¹, CHENCHOUNI H.²

1. Université Kasdi Merbah Ouargla · Laboratoire des Bio-ressources Sahariennes : Préservation et Valorisation, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers, , Algérie.
2. Université de Tébessa, Département des Sciences de la Nature et de la Vie, Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie, , 12000 Tébessa, Algérie.

Résumé : Cette étude porte sur l'étude bio-écologique de *Tirmania nivea*, dans la région de Oued M'ya (Ouargla, Sahara septentrional algérien). La description mycologique de cette espèce a permis de déterminer que ce champignon hypogé est mycorhizien avec des plantes hélianthèmes (*Helianthemum lippii*) appartenant à la famille des Cistaceae. La truffe blanche du désert colonise des terrains sableux, à pH faiblement alcalin et peu fertiles car ils sont dépourvus de matière organique. La pluviométrie est le facteur climatique qui permet l'accomplissement du cycle de développement de ce champignon. Elle doit être bien répartie, particulièrement aux mois d'octobre-décembre et/ou de janvier.

Mots clés : Truffe blanche, *Tirmania nivea*, étude mycologique, Oued M'ya, pluviométrie.

MYCOLOGICAL AND ECOLOGICAL STUDY OF THE WHITE DESERT TRUFFLE (*Tirmania nivea*, DESF. TRAPPE 1971) IN OUED M'YA REGION (OUARGLA, ALGERIAN SAHARA)

Abstract: This study focuses on the bio-ecological study of *Tirmania nivea* in the region of Oued M'ya (Northern Sahara, Algeria). Mycological description of the species has determined that the hypogeous fungus lives in mycorrhizal with *Helianthemum* plants (*Helianthemum lippii*) belonging to the family Cistaceae. The white desert truffle colonizes sandy soils that have slightly alkaline pH and low fertility because of the slight values of mineral and organic matter. The rainfall, which controls the development cycle of the fungus, should be well distributed

ÉTUDE MYCOLOGIQUE ET BIO-ÉCOLOGIQUE DE LA TRUFFE BLANCHE DU DESERT (*Tirmania nivea* Desf. Trappe 1971) DANS LA REGION DE OUED M'YA (OUARGLA, SAHARA ALGERIEN)

Lyès BRADAI^{1*}, Samia BISSATI¹, Haroun CHENCHOUNI²

¹ Laboratoire Bio-ressources Sahariennes : Préservation et Valorisation, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Kasdi Merbah, 30000 Ouargla, Algérie.

² Département des Sciences de la Nature et de la Vie, Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Tébessa, 12000 Tébessa, Algérie.

* Auteur correspondant : BRADAI L., Tél. : +213 777 557 181, Email : bradai_l@yahoo.fr

Résumé : Cette étude porte sur l'étude bio-écologique de *Tirmania nivea*, dans la région de Oued M'ya (Sahara Septentrional, Algérie). La description mycologique de cette espèce a permis de déterminer que ce champignon hypogé est mycorrhizien avec des plantes hélianthèmes (*Helianthemum lippii*) appartenant à la famille des *Cistaceae*. La truffe blanche du désert colonise des terrains sableux à pH faiblement alcalin et peu fertiles car ils sont dépourvus de matière organique minérale. La pluviométrie est le facteur climatique qui permet le déroulement du cycle de développement de ce champignon. Elle doit être bien répartie, particulièrement aux mois d'octobre-décembre et/ou de janvier.

Mots clés : *Tirmania nivea*, étude mycologique, truffes désertiques, Oued M'ya, Algérie.

MYCOLOGICAL AND ECOLOGICAL STUDY OF THE WHITE DESERT TRUFFLE (*Tirmania nivea* DESF. TRAPPE 1971) IN OUED M'YA REGION (OUARGLA, ALGERIAN SAHARA)

Abstract: This study focuses on the bio-ecological study of *Tirmania nivea* in the region of Oued M'ya (Northern Sahara, Algeria). Mycological description of the species has determined that the hypogeous fungus lives in mycorrhizal with *Helianthemum* plants (*Helianthemum lippii*) belonging to the family *Cistaceae*. The white desert truffle colonizes sandy soils that have slightly alkaline pH and low fertility because of the slight values of mineral and organic matter. The rainfall, which controls the development cycle of the fungus, should be well distributed over time, especially during the months of October–December and/or January.

Keywords: *Tirmania nivea*, mycological study, desert truffles, Oued M'ya, Algeria.

Introduction

Les Terfez ou truffes du désert, sont des ascocarpes hypogés en forme de tubercule de certaines mycorhizes ascomycètes. Ils ont une distribution géographique spécifique qui se limite en particulier aux régions semi-arides et arides d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient ainsi qu'au Sud de l'Europe [1–5]. Ils vivent en association mycorrhizienne avec des plantes Hélianthèmes de la famille des *Cistaceae* [6].

Bien que le grand désert du Sahara soit connu pour son aridité hostile, il renferme des ressources biologiques impressionnantes

avec des formes d'adaptation extraordinaire. Dans ce vaste territoire se trouve le bassin d'Oued M'ya représenté par la région de Ouargla connue par sa situation géographique reliant le Nord et le Sud saharien. Située entre le Grand Erg Occidental et le Grand Erg Oriental, la zone d'Oued M'ya se caractérise par une biodiversité endémique et de larges parcours du dromadaire qui y vit en mode extensif. À ces particularités s'ajoute également une vocation truffière très célèbre qui se caractérise par une diversité abondante tant en espèces de truffes qu'en productivité.

6 Auteur correspondant : Liès BRADAI, Email : bradai_l@yahoo.fr

Dans cette région aride, les truffes du désert, communément appelées "Terfez" ou "Terfesse", sont très recherchées et appréciées par les populations locales. Parmi les espèces de Terfez souvent récoltées, la truffe blanche du sable (*Tirmania nivea*) qui est considérée comme la véritable « truffe du désert » et la plus appréciée dans les pays arabes pour ses diverses vertus et ses caractéristiques gastronomiques singulières. L'espèce est disponible sur les marchés locaux de janvier à avril. En effet, en cette période les truffes poussent naturellement dans les déserts d'Afrique du Nord après la chute des pluies annonçant la fin de l'hiver et le début de la saison chaude [7–9].

Toutefois, dans la région de Oued M'ya (Sahara Septentrional), l'espèce *Tirmania nivea* demeure une espèce mystérieuse. À cet effet, notre travail est consacré à la description des caractères mycologiques de *T. nivea*, en mettant en évidence également quelques paramètres bioécologiques relatifs à son développement dans cette région, notamment les facteurs édaphiques et climatiques. Par conséquent, une caractérisation pédologique à travers quelques paramètres physicochimiques du sol est jugée utile pour connaître les caractéristiques des sites où poussent ces champignons ascomycètes mycorhiziens.

1. Matériels et méthodes

1.1. Présentation de la région d'étude

Oued M'ya ou "Le fleuve aux cent affluents" est une rivière quaternaire, recouverte et cachée sous une épaisse couche sédimentaire. Sa vallée n'apparaît même plus, seuls se perçoivent une série de bassins fermés dont le chapelet n'a aucune liaison visible, avec ses 700 km de longueur, venait d'au-delà d'In Salah et coulait le long du plateau de Tademaït, au bas de Ohnet près de Djanet [10] (Fig. 1).

Le climat est aride chaud dont les températures moyennes annuelles sont élevées, avec des maxima absolus en juillet-août, pouvant dépasser 50 °C, et des minima en janvier variant de 2 à 9 °C [11]. La température du sol en surface peut dépasser 70 °C. À cause de la faible nébulosité de

l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui a un effet desséchant par élévation de la température [12]. Les précipitations sont caractérisées par leur faible importance où les pluies torrentielles sont très rares (Fig. 2). Elles sont liées aux perturbations météorologiques soudano-sahariennes ou sahariennes [13]. L'insuffisance de ces pluies est accompagnée d'une irrégularité interannuelle très marquée du régime pluviométrique qui est à l'origine de périodes de sécheresse plus ou moins longues [12].

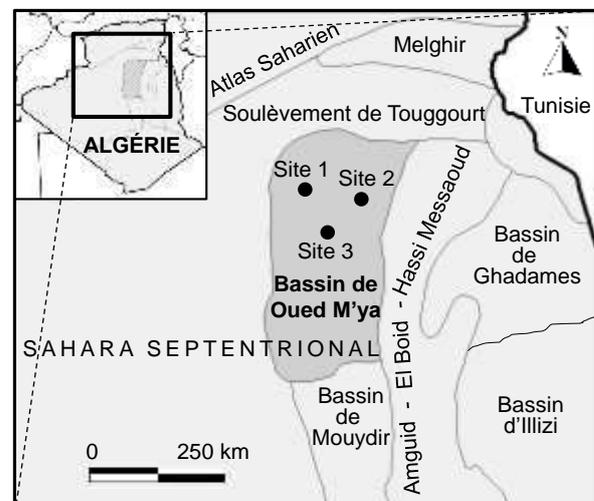


Figure 1 : Carte de localisation de la région de Oued M'ya (Sahara septentrional algérien).

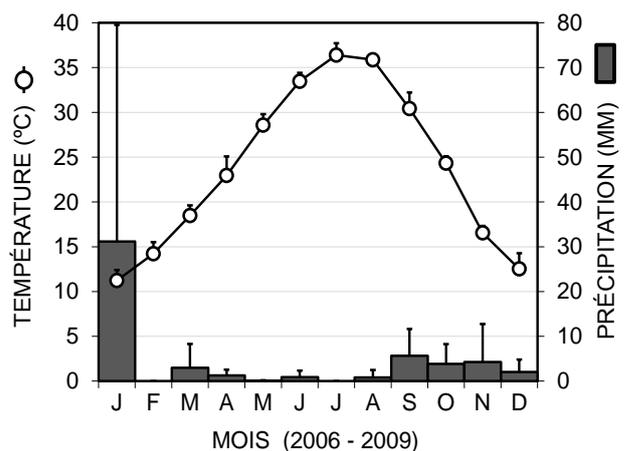


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Gausson et Bagnouls appliqué aux données météorologiques moyennes de la région d'Oued M'ya (Sahara Septentrional algérien) de la période 2006–2009. Les barres représentent l'écart type des données.

1.2. Choix des sites d'échantillonnage

Le choix des sites de collecte et de prélèvement des truffes est basé sur les orientations et les indications des autochtones du Sahara, les nomades et aussi les chercheurs de la truffe du désert. Ces stations sont connues comme étant des zones productrices habituelles de truffes.

Durant la période s'étendant entre 2006-2009 et au sein de chaque site d'échantillonnage, nous avons délimité une parcelle d'une superficie d'un hectare (100 m × 100 m). Les stations ont été choisies de façon à répondre aux critères d'échantillonnage raisonné comme l'homogénéité et la représentativité [14].

Les truffes ont été détectées *in situ* par la méthode dite à la marque, en observant auprès des plantes hôtes du genre *Helianthemum*, les fissures et les surfaces gonflées et fendillées du sol, provoquées par les ascocarpes des truffes (Fig. 3).



Figure 3 : Sol à texture sableuse gonflé et fendillé par une truffe bordurée par des pieds d'*Helianthemum* (les flèches représentent de jeunes plants de *Helianthemum lipii*).

1.3. Etude mycologique

A l'aide d'une loupe binoculaire, la description morphologique des caractères macroscopiques, notamment la forme et la couleur, a été effectuée pour chaque partie de la truffe *Tirmania nivea*, à savoir l'ascocarpe, le Péridium et la Glèba.

La caractérisation de *T. nivea* est basée sur les clés disponibles [15]. Des échantillons frais de *T. nivea* sont coupés à la main à l'aide d'une lame tranchante puis placés dans

une solution de KOH 5%, ensuite colorés avec le réactif de Melzer. Diverses caractéristiques telles que la forme, le nombre d'ascospores par asque, la couleur et l'orientation des ascospores ont été observées au grossissement ×1000 sous microscope optique connecté à un micro-ordinateur. Les dimensions des asques et des ascospores ont été mesurées à l'aide du logiciel Bio microscopique Motic Image plus 2.0 [15, 16].

1.4. Prélèvements et analyses du sol

Les échantillons du sol, sont effectués au même point où sont récoltés des ascocarpes de *Tirmania nivea*. Au total, 15 échantillons de sol sont prélevés à une profondeur d'environ 10 à 25 cm de la surface. Ils ont été séchés à l'air libre dans le laboratoire à 25 °C, tamisés dans un tamis de 2 mm puis analysés afin de déterminer certaines caractéristiques physico-chimiques du sol. Des méthodes standards d'analyses pédologiques ont été employées : la granulométrie a été déterminée par la méthode internationale (la pipette de Robinson); la conductivité électrique a été mesurée par un conductimètre à 25 °C avec un rapport terre/eau égale à 1/5 ; le pH à l'aide d'un pH-mètre à électrode en verre ; le calcaire total (CaCO₃) par le calcimètre de Bernard ; la matière organique par la méthode de Anne. Le dosage de HCO₃⁻ a été effectué par titrimétrie au H₂SO₄ et le dosage de SO₄⁻² par la méthode gravimétrique après précipitation sous forme de chlorure de baryum ainsi que le dosage du Phosphore, du Ca⁺⁺, du Mg⁺⁺ et du K⁺ [17].

2. Résultats et discussion

2.1. Caractérisation mycologique de *Tirmania nivea*

— Les **ascocarpes** de *Tirmania nivea* présentent souvent une forme subglobuleuse, ou piriforme, à pédicelle court de 4 à 12 cm de diamètre. Leur couleur est blanchâtre à crème, pouvant être lisse, ridée et craquelée (Fig. 4A).

— Le **péridium** constitue l'enveloppe externe, son épaisseur est de 0,5 à 2 mm, de couleur pâle blanc-jaunâtre à marron claire (Fig. 4B).

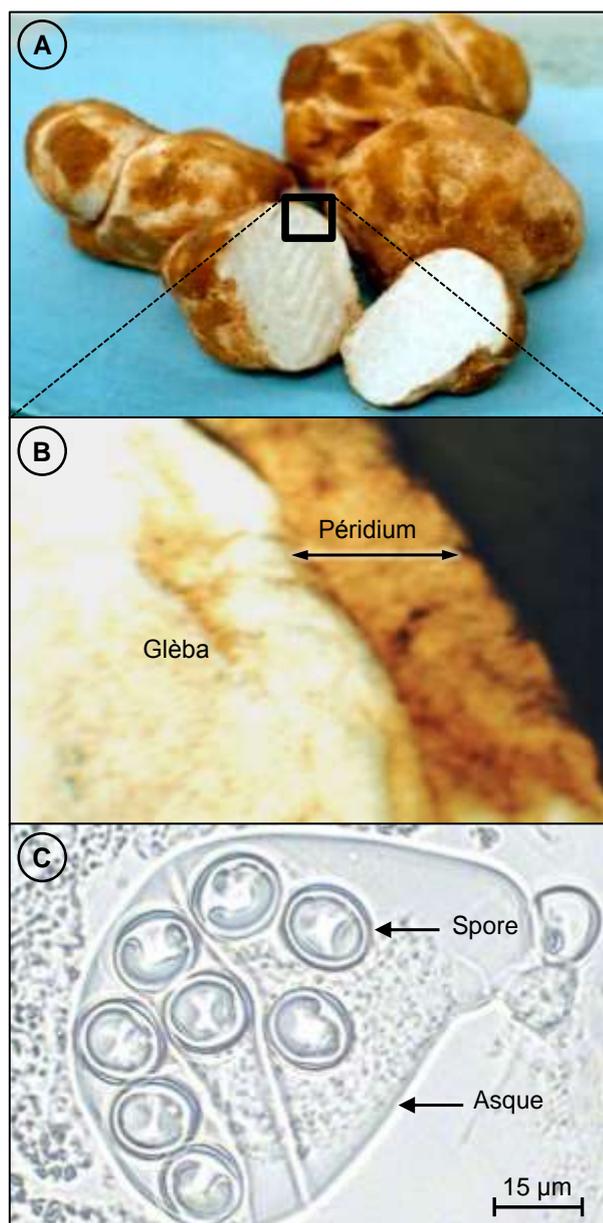


Figure 4 : Caractérisation morpho-anatomique de *Tirmania nivea* collectée au Sahara septentrional algérien montrant les ascocarpes (A), vue microscopique d'une coupe transversale dans l'ascocarpe au grossissement $\times 15$ (B), et aperçu d'un asque de *T. nivea* renfermant huit spores observé au microscope photonique au grossissement $\times 1000$ (C).

— La chair (**Glèba**) est de couleur blanche, charnue, parcourue de petites veines (sillons), de couleur pâle jaunâtre blanche, solide, légèrement marbrée de quelques veines de largeur 1,8 à 4,9 mm. L'examen microscopique de la Glèba de *Tirmania nivea* montre qu'elle est formée par un nombre

important de mycéliums contenant des ascospores (Fig. 4B).

— Les **asques** dont les dimensions varient entre de 56 à 73 μm de longueur et de 38 à 47 μm de largeur, ont une forme ellipsoïde à obovoïde et contiennent la plupart 8 spores. Leur paroi est mince et leur pédicelle est court (Fig. 4C).

— Les **spores** sont librement disposées à l'intérieur des asques, de forme ellipsoïdale avec un petit diamètre variant entre 11 à 13,5 μm et un grand diamètre compris entre 15 à 18 μm (Fig. 4C).

Les descripteurs morphologiques et anatomiques de *Tirmania nivea* récoltée au Sahara algérien sont en parfaite concordance avec celles documentées dans la littérature [1, 7, 15, 16, 18–20].

2.2. Plante symbiotique

Les Terfez sont des champignons ascomycètes vivant en association mycorhizienne avec certaines plantes de la famille des Cistacées et plus spécialement des Hélianthèmes du genre *Helianthemum*. L'espèce la plante symbiotique varie selon le secteur biogéographique ; au Moyen-Orient les truffes du désert sont souvent rencontrées associées avec les espèces *Helianthemum ledifolium* et *H. salicifolium* [28], alors elles sont rencontrées avec *Helianthemum lippii* (Fig. 5) en Afrique du Nord (Algérie et Maroc) [12, 28].

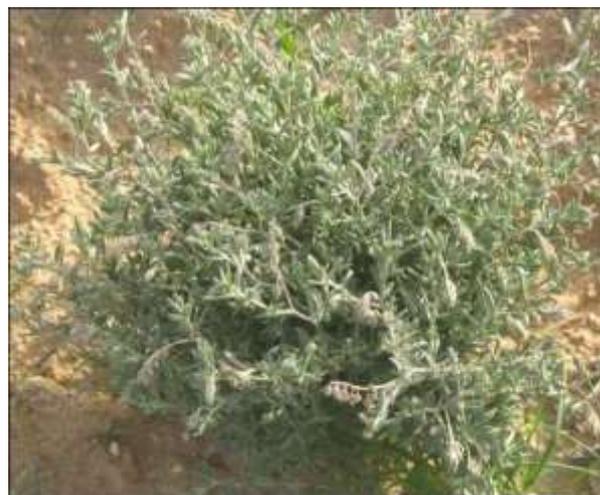


Figure 5 : Vue générale de la plante (*Helianthemum lippii*) symbiote de *Tirmania nivea* à Oued Mya (cliché : Bradai L., 2007).

2.3. Paramètres édaphiques des habitats des truffes

Les sols où se développent *Tirmania nivea* ont une texture typiquement sableuse avec une structure particulière très meuble. Ce qui offre un caractère poreux à ces sols et leur assurant un excellent drainage mais une faible rétention hydrique. Chimiquement, la comparaison des valeurs moyennes du pH avec l'échelle standard d'alcalinité d'un extrait aqueux de 1/5 [22], révèle que les sols où poussent les Terfez présentent un pH moyennement alcalin, variant entre 8,10 et 8,57. Quant à la matière organique qui varie entre 0,38 à 0,44%, les sols de trois sites prospectés sont pauvres en matière organique.

Sur le plan minéral, les éléments dosés (P, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ HCO₃⁻, SO₄⁻²) montrent que les sols des truffes de désert sont pauvres en minéraux [17].

Les valeurs des analyses physico-chimiques du sol représentant le biotope des Terfez sont reportées en moyenne dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Moyennes des paramètres physico-chimiques des sols prélevés au même point de récolte de la truffe blanche à Oued M'ya (Ouargla, Algérie).

Paramètres édaphiques	Sites échantillonnés		
	Site 1	Site 2	Site 3
pH	8,10	8,10	8,57
Type de texture	Sablonneuse		
Matière organique (%)	0,38	0,44	0,42
Calcaire total (%)	7,19	4,81	4,35
Phosphore total (%)	0,11	0,09	0,08
Ca ⁺⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,48	0,32	0,40
Mg ⁺⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,01	0,08	0,02
K ⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,084	0,092	0,097
HCO ₃ ⁻ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,25	0,23	0,28
SO ₄ ⁻² (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,37	0,49	0,36

Le développement et la croissance des truffes de désert exigent la présence de certaines conditions écologiques particulières. De point de vue édaphique, les truffes du genre *Terfezia* et *Tuber* nécessitent des sols bien structurés, aérés, permettant une bonne

circulation des éléments minéraux [12]. Les biotopes des Terfez en Algérie sont caractérisés par des sols calcaires, sablonneux et pauvres en matière organique [23].

Il est important de noter que dans la région d'Oued M'ya, les zones à vocation truffière sont surtout des dépressions et des lits d'oueds. Ces formations géomorphologiques se caractérisent par leur capacité d'accumuler les eaux de pluies, ce qui favorise le développement des Terfez ainsi que des Hélianthèmes. D'après [21], les truffes du désert préfèrent les terrains plats sablonneux ou les dépressions où s'accumulent les eaux de pluies. En effet, les lits d'oueds sont parmi les habitats les plus favorables à l'installation de la végétation dans les régions sahariennes [12].

2.3. Paramètres climatiques des biotopes de la truffe

Durant l'année 2009, la moyenne de la pluviométrie a été de 70,60 mm [24], et le rendement en truffes dans les stations étudiées a été estimé à 4,3 kg par hectare, sachant que durant l'année 2007, aucune production n'a été obtenue car la pluviométrie n'a pas dépassé 46,4 mm [25]. Toutefois, la production des truffes peut être perturbée par des précipitations excessives ou mal réparties ou par des périodes de froid prolongées ou de fortes chaleurs ou même par des périodes de sécheresse prolongée [26].

D'après nos constatations, le développement ainsi que la répartition des truffes du désert dans le Sahara Septentrional algérien, sont particulièrement liés à l'existence de biotopes favorables de point de vue climatique, particulièrement la pluviométrie automnale et hivernale. En effet, les Terfez se développent sous des climats chauds à condition qu'en automne et/ou en hiver des pluies tombent ensuite des périodes de sécheresse s'en suivent. Ces pluies, même de faible quantité, jouent plusieurs rôles, notamment dans le transport, la dispersion et la germination des spores des truffes, mais également la germination et la croissance des plantes symbiotes (hélianthèmes).

De façon générale, les régions où poussent les truffes du désert se caractérisent par une

pluviométrie annuelle comprise entre 50 et 380 mm. Par ailleurs, un bon rendement de truffes dans les pays d'Afrique du Nord est obtenu lorsque la pluviométrie annuelle varie de 70 à 120 mm, alors que dans les pays d'Europe du Sud les bonnes productions en truffes coïncident avec des pluviométries variant entre 100 à 350 mm. En outre, la périodicité de ces précipitations est aussi importante que leur quantité, c'est-à-dire la pluie est nécessaire au plus tard au début décembre en Afrique du Nord et du Moyen-Orient et au plus tard début octobre dans les pays du sud de l'Europe [27].

Conclusion

À l'instar de cette étude, nous pouvons conclure que *Tirmania nivea* se développe dans les horizons superficiels, de 3 et 6 cm de profondeur, des sols sableux caractérisé par un pH légèrement alcalin et pauvre en matière organique et minérale.

Sur le plan climatique, *T. nivea*, se développe sous un climat chaud, avec des automnes à pluies orageuses et hivers pluvieux.

L'ascocarpe de la truffe est hypogé, de forme lobée ayant un diamètre de 3 à 8 cm et présentant un pied à sa base. L'aspect général est globuleux avec une apparence turbinée, et une surface lisse et glabre.

Puisque l'espèce vit en mode symbiotique, la biologie et le développement de *Tirmania nivea* ne sont pas liés seulement à la nature du sol et du climat, mais dépendent également de la plante symbiotique *Helianthemum lippii*. Ce qui fait appel à des études complémentaires investiguant les relations biologiques entre les symbiotes en focalisant sur les conditions écologiques contrôlant la fitness de la plante symbiotique.

Les truffes du désert du Sahara Septentrional algérien sont très appréciées par les populations autochtones et constituent des revenus périodiques non négligeables aux ramasseurs saisonniers. Ainsi, les études pourraient permettre à l'avenir une tentative de création d'une trufficulture à condition de maîtriser le processus biologique de mycorrhisation.

Références

- [1] **Alsheikh M., Trappe J.M.** : Desert Truffles : The Genus *Tirmania*. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* ; 1983 ; (81) : 83-90.
- [2] **Abd-Allah S.K., Al-Iissa A.H., Ewaz J.O., Al-Bader S.M.** : Taxonomy of Edible Hypogeous Ascomycotina of Iraq. *Int. J. Mycol. Lichenol.* ; 1989 ; (4) : 9-21.
- [3] **Diez J., Manjon J.L., Martin F.** : Molecular phylogeny of the mycorrhizal desert truffles (*Terfezia* and *Tirmania*), host specificity and edaphic tolerance. *Mycologia* ; 2002 ; (94) : 247-259.
- [4] **Mandeeel Q.A., Al-Laith A.A.A.** : Ethnomycological aspects of the desert truffle among native Bahraini and non-Bahraini peoples of the Kingdom of Bahrain. *J. Ethnopharm.* ; 2007 ; (110) : 118-129.
- [5] **Jamali S., Banhashemi Z.** : Two New Species of Hypogeous Ascomycetes, *Tirmania nivea* and *Phaeangium lefebvrei* from Iran. *Proc.19th Iran. Plant Prot. Cong.* Tehran (Iran) 2010 ; 67.
- [6] **Fortas Z., Dib S.** : Essai de mycorrhization d'une espèce de Terfez d'Algérie avec le Pin d'Alep en conditions axéniques. Colloque Euro-Méditerranéen en biologie végétale et environnement. Université Badji Mokhtar – Annaba ; 2005. 31.
- [7] **Malençon G.** : Champignons Hypogés du Nord de l'Afrique. *Ascomycetes. Persoonia* ; 1973. (7) : 261-288.
- [8] **Khabar L.** : Contribution à l'étude de la flore mycologique du Maroc les truffes marocaines (discomycètes). *Bull. Soc. Mycol. Fr.* ; 2001, 117 (3) : 213-229.
- [9] **Benchellah A.C., Bouziane H., Maka M., Ouames C.** : *Fleurs du Sahara voyage : Ethnobotanique avec les Touaregs du Tassili*. Ibis presse Atlantica (France). 2000. 255 p.
- [10] **Entreprise Nationale de Géophysique, (ENaGeo)** : *Rapport sur les Provinces pétrolières en Algérie* (Algérie). 2005. 43p.
- [11] **Le Houerou H.N.** : Définition et limites bioclimatiques du Sahara. *Sécheresse* ; 1990 ; (1) : 246-259.
- [12] **Ozenda P.** : *Flore et végétation du Sahara*. 5^{ème} édition. Ed. C.N.R.S. (France). 2004. 622 p.

- [13] **Dubief J.** : *Le climat du Sahara*. Alger : Institut des Recherches Sahariennes, Université d'Alger (Algérie). 270p.
- [14] **Gounot M.** : *Méthode d'étude quantitative de la végétation*. 7^{ème} édition. Ed. Masson, 1969. Paris (France). 1969. 314 p.
- [15] **Trappe J.M.** : The orders, families, and genera of hypogeous Ascomycotina (truffles and their relatives). *Mycotaxon* ; 1979 ; (9) : 297-340.
- [16] **Ferdman Y., Aviram S., Roth-Bejerano N., Trappe J.M., Kagan-Zur V.** : Phylogenetic Studies of *Terfezia pfeilii* and *Choiromyces echinulatus* (Pezizales) Support New Genera for Southern African Truffles : *Kalaharituber* and *Eremiomyces*. *Mycol. Res.* ; 2005 ; (109) : 237-245.
- [17] **AFNOR** : *Qualité des sols. Recueil de normes françaises*, AFNOR, Paris (France). 1996. 533p.
- [18] **Bokhary H.A.** : Desert truffle Al-Kamah of the Kingdom of Saudi Arabia. I. Occurrence, Identification and Distribution. *Arab Gulf. J. Sc. Res.* ; 1987 ; (B5) : 245-255.
- [19] **El-Kholy H.** : *Genetical and Physiological Studies on Truffles*. PhD. Thesis, Fac. of Agric., Cairo University (Egypt). 1989. 46-82.
- [20] **Moreno G., Diez J., Manjon J.L.** : *Phaeangium lefebvrei* and *Tirmania nivea*, Two Rare Hypogeous Fungi from Spain. *Mycol. Res.* ; 2002 ; 104 (3) : 378-381.
- [21] **Awameh M.S., Alsheikh A.** : Laboratory and Field Study of Four Kinds of Truffle (Kamah), *Terfezia* and *Tirmania* Species, for Cultivation. *Mush. Sci.*, (1979) ; 10 : 507-517.
- [22] **Morand D.T.** : *Soil landscape of the Woodburn 1:100 000 Sheet Map and Report*. Department of land and water conservation, Sydney (Australia), 2001 ; 271-276.
- [23] **Fortas Z.** : *Etude de trois espèces de Terfez : Caractères culturels et cytologie du mycélium isolé et associé à l'*Helianthemum guttatum**. Thèse Doctorat d'Etat. Université d'Oran. (Algérie). 1990.166 p.
- [24] **Office National de la Météorologie.** : *Rapport sur les données climatiques de Ouargla* (Algérie). 2010. 4 p.
- [25] **Office National de la Météorologie.** : *Rapport sur les données climatiques de Ouargla* (Algérie). 2008. 3 p.
- [26] **Chafi M.E.H., Fortas Z., Bensoltane A.** : Bioclimatic survey of the Terfez zones of the South West of Algeria and an essay of the inoculation of *Pinus halepensis* Mill. with *Tirmania pinoyi*. *Egypt. J. Appl. Sc.* ; 2004 ; 19 (3) : 88-100.
- [27] **Morte A., Zamora M., Gutiérrez A., Honrubia M.** : Desert Truffle Cultivation in Semiarid Mediterranean Areas. Mycorrhizas - Functional Processes and Ecological Impact. Springer-Verlag Berlin Heidelberg ; 2009 ; (6) : 221-231.
- [29] **Fortas Z., Chevalier G.** : Effet de conditions de cultures sur la mycorrhization d'*Helianthemum guttatum* par trois espèces des genres *Terfezia* et *Tirmania* (Truffes du désert) d'Algérie. *Can. J. Bot.* ; 1990 ; (70) : 2453-2460.

Résumé

Inventaire et bioécologie des Terfez dans quelques regions du Sahara Septentrional (Oued M'ya, Oued Righ et Ghardaïa)

L'objectif de la présente étude est d'illustrer les différentes espèces de Terfez du Sahara septentrional algérien, et de mettre en évidence les données climatiques et édaphiques relatives à leur bio-écologie.

L'identification des espèces fongiques a montré que les Terfez récoltés sont répartis sur trois espèces, appartenant à deux genres différents : *Terfezia arenaria* (Moris) Trappe, *Terfezia claveryi* Chatin et *Tirmania nivea* (Desf) Trappe.

La truffe du désert est un champignon symbiote, hypogé et mycorhizien avec des plantes de la famille des *Cistacea* et plus particulièrement avec l'*Helianthemum lippii*.

Le développement des Terfez est fortement lié aux conditions climatiques et édaphiques particulières : des niveaux de précipitations favorables à l'automne, des sols sableux bien structurés, aérés permettant une meilleure circulation des éléments minéraux, et la présence des Hélianthèmes en forte densité.

La production moyenne enregistrée était de 785.43 ± 743.39 g/ha, étroitement liée à la précipitation cumulée de la saison automnale (Octobre-Décembre) de l'année précédente, qui représente la période pré-grossissement des truffes du désert ainsi les espèces de la plante hôte.

Mots clés: Ecologie ; truffes du désert; Distribution; Climat; Sols, Sahara, Algérie.

Summary

Inventory and bioecology of Terfez in some regions of the Northern Sahara (Oued M'ya, Oued Righ and Ghardaïa)

This study focuses on the bio-ecological study of desert truffles collected from the Northern Algerian Sahara. The identification of desert truffle species with a morphometric characterization show three species of family Terfeziaceae: *Terfezia arenaria* (Moris) Trappe, *Terfezia claveryi* Chatin and *Tirmania nivea* (Desf) Trappe. These hypogeous ascomycetes live in mycorrhizal association with *Helianthemum lippii* (*Cistaceae*). Desert truffles grow in heterogeneous soils of sandy texture, moderately calcareous, slightly alkaline, with low organic matter and slight phosphorus contents.

The truffles colonize desert depressions "Dayas" and beds of wadis, since these geomorphological units accumulate rainwater, which promotes the development of both truffles and host-plant.

Desert truffles are edible hypogeous fungi that are very well adapted to conditions of aridity. The average production was 785.43 ± 743.39 g / ha, closely related autumnal precipitations occurring during October–December, which is the critical pre-breeding period for both desert truffles and host-plant species.

Keywords: Ecology; Desert Truffles; Distribution; Climate; Soils; Sahara, Algeria.

المخلص

جرد والإيكولوجيا الأحيائية للكمأة في بعض المناطق الصحراء الشمالية (واد ميا، واد ريج و غرداية)

تركز هذه الدراسة على جرد امواع الكمأة الصحراوية و تحديد الإيكولوجية الحيوية الخاصة بها، تم جمع العينات من الصحراء الشمالية الجزائرية. حيث وجد ثلاثة أنواع الكمأة الصحراوية من عائلة *Terfeziaceae* تم احصاؤها : *Terfezia arenaria* (Moris) Trappe, *Terfezia claveryi* Chatin *Tirmania nivea* (Desf) Trappe من عائلة *Cistaceae* .

الكمأة الصحراوية ينمو في التربة الرملية ، الجيرية معتدلة ، قلبية قليلا، مع نسب ضعيفة من المادة العضوية و الفوسفور. الكمأ يفضل المنخفضات الصحراوية والأودية ، لأن هذه الوحدات الجيومورفولوجية تتراكم فيها مياه الأمطار ، وهو ما يعزز نمو كل من الكمأ و النبات المضيف.

ويرتبط الكمأ الصحراوي بشكل وثيق مع كمية الأمطار خلال موسم الخريف. وكان متوسط الإنتاج 785.43 ± 743.39 جم / هكتار ، ترتبط ارتباطا وثيقا لكمية الامطار اثناء الخريف (من أكتوبر إلى ديسمبر) ، وهو ما يساعد على نمو الكمأ الصحراوي و النبات المضيف.

الكلمات الدالة : الإيكولوجيا ؛ كمأ الصحراء؛ التوزيع؛ المناخ؛ التربة. الصحراء الجزائر