

# Effect of temperature and light on the germination of fennel: *Foeniculum vulgare* Mill

## Effet de la température et de la lumière sur la germination des graines de fenouil *Foeniculum vulgare* Mill

Marwa khammassi<sup>1</sup>, Awatef Slama<sup>1</sup>, Ismail Amri<sup>2\*</sup>, Bassem Jammoussi<sup>3</sup>, Abdelhamid Khaldi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Management and Valorization of Forest Resources. National Institute of Researches on Rural Engineering, Water and Forests, BP.10 Ariana 2080, Tunisia

<sup>2</sup>Laboratory of Nuclear biotechnology, National Center for Nuclear Sciences and Technologies, BP 72, 2020 Sidi Thabet, Ariana, Tunisia

<sup>3</sup>Department of Environmental Sciences, Faculty of Meteorology, Environment Arid Land Agriculture, King Abdulaziz University, Jeddah 21589, Saudi Arabia

\*Corresponding author: amri\_amri@live.fr

**Abstract** - The Apiaceae family is one of the largest flowering plant families and includes thousands of species used for food, aromatic and medicinal purposes. The cultivation of certain species such as *Foeniculum vulgare* was limited to archaic and family agriculture given the limited knowledge of germination techniques. Our study aims to study the effect of temperature and light on the germination of fennel seeds from sixteen Tunisian populations. The results showed that the germination of the species *Foeniculum vulgare* depends on temperature and light. Optimal germination was recorded at 20°C in the dark for all provenances with germination capacities varying from 20.33 (from Beny ayech) to 90.8% (from Oued Zarga). The Beny Ayech provenance was the exception in terms of its thermal optimum of germination revealed at 25°C. The light led to a decrease in germination rates and even an inhibition of germination for certain populations compared to the results recorded in the dark.

**Key words:** *Foeniculum vulgare*, germination, seeds, variability, light, temperature.

**Résumé** - La famille des Apiacées est l'une des plus importantes familles de plante à fleurs et comprend des milliers d'espèces utilisées à des fins alimentaires, aromatiques et médicinales. La culture de certaines espèces comme *Foeniculum vulgare* était limitée à une agriculture archaïque et familiale étant donnée les connaissances réduites des techniques germinatives. Notre étude a pour objectif d'étudier l'effet de la température et de la lumière sur la germination des graines de fenouil de seize provenances tunisiennes. Les résultats ont montré que la germination de l'espèce *Foeniculum vulgare* dépend de température et de la lumière. La germination optimale a été enregistrée à 20°C à l'obscurité pour toutes les provenances avec des capacités germinatives variant de 20,33 (provenance de Beny ayech) à 90,8% (provenance d'Oued Zarga). La provenance Beny Ayech a fait l'exception quant à son optimum thermique de germination révélé à 25°C. La lumière a entraîné une diminution des taux de germination et même un arrêt de la germination pour certaine population comparée aux résultats enregistrés à l'obscurité.

**Mots clés:** *Foeniculum vulgare*, germination, graines, variabilité, température, lumière.

### Introduction

La germination est une phase physiologique qui correspond à la transition entre la phase de vie latente de la graine sèche et la phase de développement de la plantule. Le processus de germination commence par l'étape cruciale d'absorption de l'eau par la graine, se termine par l'allongement de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les structures qui entourent l'embryon (Bewley, 1997). Le pouvoir germinatif est régulé par la maturité de la graine, la présence de tous les organes sains. En effet, la graine germe aussi en fonction de sa taille, de ses réserves et de son génome (Henry, 1951). Plusieurs facteurs influencent la germination, notamment l'eau, l'oxygène, la température et la lumière. La température optimale varie d'une espèce à l'autre selon le milieu auquel elle est adaptée (Wang et al. 2004). La lumière agit différemment sur les espèces. Elle inhibe la germination des espèces photosensibles négatives alors

qu'elle stimule les espèces photosensibles positives. La lumière est perçue par la graine au niveau des photochromes qui sont impliqués dans la modulation des hormones endogènes (Seo et al, 2009).

Le fenouil, *Foeniculum vulgare* Mill. appartenant à la famille des Apiacées est une plante vivace, annuelle ou bisannuelle pouvant atteindre 2 m de hauteur. Cette espèce comprend deux sous-espèces : ssp. *piperitum* et ssp. *vulgare* (Badoc et Lamarti, 1997 ; Khammassi et al, 2018). La subsp. *vulgare* regroupe des plantes spontanées assez variables, notamment sur le plan chimique et des plantes améliorées pour la production alimentaire, aromatique ou ornementale. Cette sous espèce comprend trois variétés : var. *vulgare*, var. *dulce* et var. *azoricum*. (Badoc et Lamarti, 1997 ; Reduron, 2007). Les tiges de *Foeniculum vulgare* sont cylindriques, robustes et pleines d'une moelle abondante et rameuse. Les feuilles inférieures sont alternes et pétiolées à la base et les feuilles supérieures sont sessiles, découpées en lanières filiformes et très allongées (Pottier-Alapetite, 1979 ; Filliat, 2012 ; Ticli, 1999). L'inflorescence est formée d'ombelles composées pouvant atteindre 20 cm de diamètre, regroupant 4 à 25 rayons (Reduron, 2007 ; Filliat, 2012). Le fruit est un diakène formé de 2 méricarpes, de couleur brun verdâtre, glabre, d'une longueur variable de 4 à 10 mm, de forme cylindrique fuselé et à côtes saillantes (Coste et al, 1998). Le fenouil est connu par son usage culinaire. Les feuilles, les tiges et les bulbes de cette plante sont comestibles et sont utilisés pour la préparation des plats traditionnels et des salades (D'Antuono et al, 2017). Les graines de saveur très aromatique sont utilisées comme épices en cuisine. Elles sont également utilisées pour assaisonner le pain, la viande, les poissons et les fromages. Le fenouil est également connu par son usage en médecine traditionnelle. Les recherches scientifiques ne font que confirmer ses utilisations traditionnelles et montrer ses propriétés pharmacologiques fondées sur la richesse de cette espèce en métabolites secondaires notamment les huiles essentielles et les composés phénoliques (Bruneton, 1993). La mise en culture d'une espèce spontanée s'accompagne généralement d'un processus de domestication. Le résultat recherché par cette domestication est l'obtention de plantes adaptées à des conditions de cultures contrôlées et qui possèdent des caractéristiques désirées par les producteurs et les consommateurs. Dans le cas de plantes aromatiques et médicinales comme *F. vulgare*, la sélection de graines pour des vertus agronomiques se base sur certaines caractéristiques tels que la production massique, le nombre d'organes valorisables (feuilles, graines,), ou la composition chimique notamment le rendement et la concentration en molécules actives. La culture de fenouil en Tunisie par les agriculteurs repose sur l'utilisation de leurs propres graines conservées d'une année à l'autre. Dans le but de la conservation et de la domestication de l'espèce, l'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de la température et la lumière sur la germination des graines de fenouil pour sélectionner parmi les 16 provenances spontanées les graines présentant les meilleurs taux de germination.

## Matériel et méthodes

### 1. Matériel végétal

Des graines matures de *Foeniculum vulgare* ont été collectées au mois de décembre 2014 à partir de seize populations spontanées en Tunisie. La collecte des graines a été réalisée en choisissant de chaque site, quinze individus de l'espèce espacés d'au moins 10 m.

La localisation géographique des populations est rapportée dans le tableau 1. La température moyenne annuelle et la précipitation annuelle ont été déterminées en utilisant les données de la station météorologique la plus proche.

L'espèce a été identifiée par Mr Abdelhamid KHALDI, Professeur à l'Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts (INRGREF), et un voucher spécimen a été déposé dans l'herbier du Laboratoire de Gestion et de Valorisation des Ressources Forestières (INRGREF).

### 2. Test de viabilité au tétrazolium

Le taux de viabilité des graines de *Foeniculum vulgare* a été déterminé par le test au tétrazolium (Suszka et al, 1994 ; Copeland et McDonald, 1995).

200 graines matures et saines de chaque provenance ont été utilisées pour le test de viabilité. Les graines ont été trempées dans l'eau pendant 18 heures. Elles ont été ensuite coupées d'une manière longitudinale à l'aide d'un scalpel puis immergées pendant 20h à 30°C à l'obscurité dans une solution de chlorure de 2,3,5-triphényltétrazolium 1% préparée dans un tampon phosphate (pH 6,5-7,5). L'observation de la coloration a été évaluée à l'aide d'une

Le taux de viabilité (% de graines viables) est calculé par le rapport du nombre de graines viables sur le nombre total des graines (référence)

$$\text{Taux de viabilité} = (\text{nombre de graines viables} / \text{nombre total des graines}) \times 100$$

### 3. Essai de germination

#### 3.1. Pré-traitement des graines

Les graines matures de *F. vulgare* collectées de 16 provenances ont été désinfectées par traitement avec une solution d'hypochlorite de sodium à 15 % pendant 20 min puis rincées avec de l'eau distillée stérile (10 lavages) et enfin séchées sur du papier filtre stérile.

**Tableau 1** : Conditions pédoclimatiques des seize provenances des grains de *Foeniculum vulgare* Mill. Collectés de la Tunisie.

| Code samples | Populations | Conditions climatiques      | Moyenne annuelle de pluviométrie (mm) | Moyenne annuelle de température (°C) | Origines     |               |               |
|--------------|-------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------|---------------|---------------|
|              |             |                             |                                       |                                      | Latitude (N) | Longitude (E) | Altitude (mm) |
| 1            | Aousja      | Sub-humide                  | 409                                   | 19                                   | 37°07.898'   | 010°04.985'   | 4             |
| 2            | Beni Ayech  | Semi-aride moyen            | 374                                   | 21                                   | 36°34.505'   | 10°49.361'    | 26            |
| 3            | Cebelt      | Ben<br>Semi-aride supérieur | 324                                   | 20.5                                 | 36°55.252'   | 10°06.180'    | 56            |
| 4            | Dahmani     |                             | Semi-aride supérieur                  | 493.2                                | 18.9         | 35°54.302'    | 8°47.217'     |
| 5            | El Alia     | Sub-humid                   | 409                                   | 19                                   | 37°09.673'   | 10°02.494'    | 73            |
| 6            | Chnenfa     | Semi-aride moyen            | 310                                   | 19                                   | 36°19.270'   | 9°57.192'     | 212           |
| 7            | Takelssa    | Sub-humide                  | 374                                   | 21                                   | 36°49.149'   | 10°40.082'    | 124           |
| 8            | Hleyssia    | Sub-humide                  | 485                                   | 20.13                                | 36°54.093'   | 9°09.853'     | 139           |
| 9            | Klibia      | Sub-humide                  | 374                                   | 21                                   | 36°49.956'   | 11°03.659'    | 11            |
| 10           | Mjaless     | humide                      | 485                                   | 20.13                                | 36°47.691'   | 9°01.530'     | 473           |
| 11           | Oued Bzigh  | Semi-aride moyen            | 374                                   | 21                                   | 36°43.460'   | 10°36.218'    | 52            |
| 12           | Oued Zarga  | Sub-humide                  | 485                                   | 20.13                                | 36°41.169'   | 9°24.903'     | 136           |
| 13           | Teborsok    | Semi-aride supérieur        | 485                                   | 20.13                                | 36°28.083'   | 9°17.076'     | 263           |
| 14           | Thibar      | Sub-humid                   | 485                                   | 20.13                                | 36°32.111'   | 9°05.876'     | 321           |
| 15           | Utique      | Semi-aride supérieur        | 409                                   | 19                                   | 35°05.190'   | 10°00.690'    | 28            |
| 16           | Zouarine    | Semi-aride supérieur        | 493.2                                 | 18.9                                 | 36°01.550'   | 8°55.220'     | 599           |

#### 3.2. Germination des graines sur milieu agar 1%

Les graines désinfectées de chaque provenance ont été disposées dans des boîtes de Pétri (de l'ordre de 25 graines/boîte) contenant de l'agar 1%. La mise en germination des graines est réalisée sous hotte à flux laminaire afin de s'assurer des conditions aseptiques et d'éviter toute contamination. Les boîtes ont été ensuite incubées à différentes températures : 15, 20, 25 et 30°C, à l'obscurité et à la lumière. Quatre répétitions pour chaque essai ont été réalisées.

La germination a été suivie régulièrement et a été considérée comme accomplie lorsque la radicule est apparue au travers des téguments. Le nombre de graines germées est relevé toutes les 24h pendant 15 jours. Les graines germées ont été comptées, écartées puis déplacées dans des plaques alvéolées. L'essai prend fin lorsqu'après des comptages successifs aucune germination n'est enregistrée.

Le taux de germination s'exprime par le rapport entre le nombre de graines germées et le nombre total des graines (Côme, 1970).

$$\text{TG (\%)} = (\text{Nombre de graines germées} / \text{Nombre total des graines}) \times 100$$

Lorsque la radicule a atteint une longueur de 1 cm, les plantules ont été placées dans des plaques alvéolées contenant de la tourbe inerte à 0.5 cm de profondeur. Les cultures ont été maintenues sous serre. Une irrigation régulière des plantules a été effectuée avec de l'eau.

#### 4. Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée moyennant le logiciel SPSS, version 11.5. Les résultats de test de viabilité des graines des différentes populations et les pourcentages de germination ont fait l'objet d'une analyse de la variance. La comparaison des moyennes a été effectuée par le test de Student-Newman-Keuls (SNK). La différence est significative pour une valeur de  $p < 0,05$ .

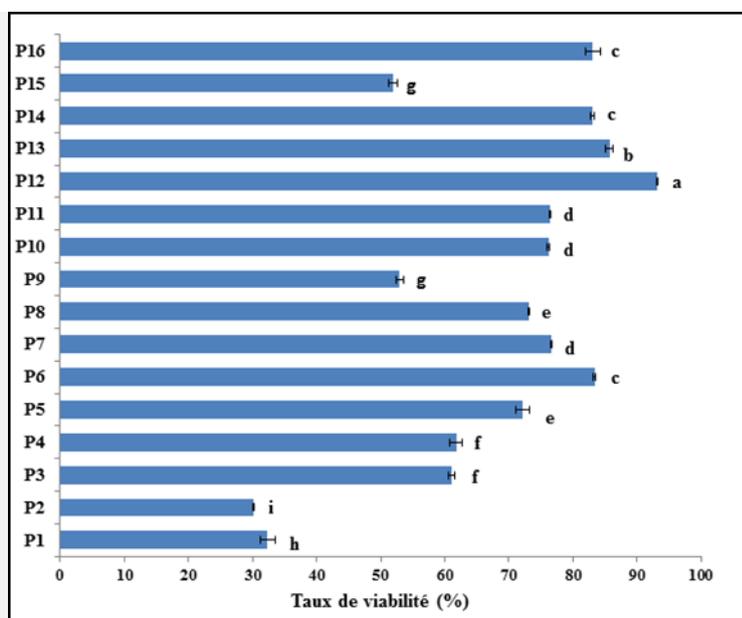
#### Resultats et discussion

La germination est un processus complexe où plusieurs paramètres entrent en jeu pour son accomplissement. Le principal facteur de l'accomplissement de ce phénomène est la viabilité des graines qui doit être préalablement vérifiée avant la mise en culture (Probert, 2000).

##### 1. Test de viabilité

La viabilité des graines, déterminée à l'aide du test rapide du tétrazolium (figure 1) révèle que le plus important taux de viabilité caractérise la population d'Oued Zarga, avec plus de 90 % de viabilité. Ce pourcentage diffère significativement des autres populations qui ont montré des pourcentages de viabilité allant de 30,2 à 85,66 %. Cependant, la population de Beni Ayech a présenté le plus faible taux de viabilité des graines (30,2 %) suivi par la population de Aousja avec un pourcentage de 32,33 %. L'analyse statistique des graines a montré que la viabilité des graines varie significativement en fonction de population.

Le test de viabilité au tétrazolium repose sur la coloration des graines viables en rouges tandis que les graines non colorées maintiennent leurs colorations naturelles indiquant la présence d'embryons non viables (figure 2). Le recours à ce test s'avère primordiale et pourrait être intégré à une échelle opérationnelle en matière de gestion et de conservation des semences ou de leur utilisation dans les programmes de conservation des ressources génétiques (Bonner, 1991).



**Figure 1 :** Taux de viabilité des graines des différentes populations de *Foeniculum vulgare*

P1 : Aousja ; P2 : Beny Ayech ; P3 : Cebelt Ben Ammar ; P4 : Dahmani ; P5 : El Alia ; P6 : Chnenefa ; P7 : Takelssa ; P8 : Hleyssia ; P9 : Klibia ; P10 : Mjaless ; P11 : Oued Bzigh ; P12 : Oued Zarga ; P13 : Teborsok ; P14 : Thibar ; P15 : Utique ; P16 : Zwerin



**Figure 2 :** Observation sous loupe binoculaire après coloration au 2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride des graines de *F. vulgare* viables et non viables

(a) Graine de *F. vulgare* non colorée ;(b) Graine de *F. vulgare* colorée au 2, 3,5-triphenyl tetrazolium chloride montrant la présence d'un embryon non viable ; (c) Graine de *F. vulgare* contenant un embryon viable après coloration au 2, 3,5-triphenyl tetrazolium chloride ; (d) embryon non coloré considéré comme non viable ; (e) embryon coloré en rouge considéré comme viable.

## 2. Effet de la température sur la capacité germinative des graines de fenouil

Les résultats de la germination des graines de fenouil de 16 provenances à différentes températures à l'obscurité et en présence de la lumière sont représentés dans le tableau 2. A l'obscurité, toutes les populations germent rapidement à 20°C avec des capacités germinatives variant de 20,33 à 90,8%. La baisse de température jusqu'à 15°C ainsi que son augmentation à 25 et 30 °C ont entraîné aussi bien un retard de germination qu'une diminution du pouvoir germinatif des graines. Ces résultats ont montré que l'optimum thermique pour la germination des graines de fenouil est situé à 20°C. Cette température s'avère favorable pour la germination des graines de toutes les populations étudiées à l'exception de Beny Ayech qui a présenté un optimum thermique de germination plus élevé de l'ordre de 25°C.

Pour plusieurs espèces spontanées dont les semis s'établissent au printemps, les populations présentent des variations pouvant être corrélées aux conditions de l'habitat. Les populations provenant de sites à hiver rigoureux, où le risque majeur pour les semis est le gel, ont tendance à avoir de longs besoins de refroidissement ou à germer très lentement à basse température. Les populations provenant de sites plus chauds, où le risque majeur est la sécheresse, sont non dormantes et germent très rapidement dans ces mêmes

conditions. Les populations de graines provenant de sites intercalaires présentent une variation des niveaux de dormance intermédiaire, ce qui étale la germination sur une période de temps considérable. La perte de dormance pour une population de graines est associée à une baisse progressive du potentiel hydrique de base moyen, c'est-à-dire le potentiel hydrique en dessous duquel la moitié des graines ne germeront pas (Allen & Meyer, 1998).

Généralement, les graines restent dans un état de dormance induit par la dessiccation et l'action de l'hormone acide abscissique jusqu'à ce que les conditions de croissance deviennent favorables (Bareke, 2018). Par conséquent, il apparaît que les conditions de l'expérimentation y compris une température d'incubation de 20°C arrêtent cette dormance chez les graines de fenouil et induisent la germination.

L'analyse de la variance des pourcentages de germination des différentes populations testées en fonction de température ont montré une variation significative. Le taux de germination le plus élevé (90,8±%) a été enregistré au niveau des graines d'Oued Zarga après un temps d'incubation de 12 jours. Cette population a été caractérisée au 5<sup>ème</sup> jour d'incubation d'un taux de germination de 50 %.

Les capacités germinatives les plus faibles caractérisent les graines des populations de Beny Ayech et El Alia avec des pourcentages de 20,33 et 24,64 % respectivement après 7 jours d'incubation et un temps de latence de 2 jours. Les faibles taux de germination dans une espèce s'ils sont associés à une faible régénération peuvent, à moyen terme, devenir problématiques et compromettre la survie d'une population.

Nos résultats corroborent ceux obtenus par Ranzani et al (2016) qui ont rapporté que les graines de fenouil de Brésil avec le plus élevé pourcentage de germination ont été maintenues à 20°C. De plus, Hokmalipour (2015) a montré qu'une variation légère de la température de 19 à 21°C est accompagnée d'une diminution du pourcentage de germination de 52,8 à 51,61%, respectivement.

D'autres travaux ont également montré l'effet de la température sur la germination des graines de fenouil de plusieurs pays (Heidari et al, 2014 ; Alipoor et Mahmodi, 2015).

### 3. Effet de la lumière sur la capacité germinative des graines de fenouil

Les résultats de la germination des graines de fenouil des populations étudiées en présence de lumière et à différentes températures sont présentés dans le tableau 2

**Tableau 2:** Pourcentage de germination des graines des populations de fenouil à différentes températures, à l'obscurité et à la lumière

| Population localisation | T=15° C                  |                             | T=20° C                  |                          | T=25° C                   |                         | T=30° C                  |                         |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                         | Obscurité                | Lumière                     | Obscurité                | Lumière                  | Obscurité                 | Lumière                 | Obscurité                | Lumière                 |
| 1.Aousja                | 22,7 <sup>h</sup> ±1,3   | 1,49 <sup>def</sup> ±0,3    | 39,3 <sup>i</sup> ±2,4   | 3,8 <sup>ef</sup> ±0,4   | 30,66 <sup>k</sup> ±1,6   | 1,13 <sup>e</sup> ±0,6  | 24,87 <sup>g</sup> ±2,43 | -                       |
| 2.Beni Ayech            | 12,33 <sup>i</sup> ±4,23 | 1,66 <sup>edef</sup> ±0,2   | 20,33 <sup>k</sup> ±0,5  | 2,4 <sup>g</sup> ±0,2    | 24,3 <sup>l</sup> ±1,28   | -                       | 10,35 <sup>l</sup> ±1,17 | -                       |
| 3.Cebelt Ben A          | 26,1 <sup>g</sup> ±1,6   | 1,1 <sup>ef</sup> ±0,1      | 54,2 <sup>g</sup> ±3,54  | 6,5 <sup>d</sup> ±1,66   | 48,16 <sup>g</sup> ±1,58  | 3,03 <sup>h</sup> ±0,1  | 27,2 <sup>l</sup> ±1,14  | 1,3 <sup>h</sup> ±0,2   |
| 4.Dahmani               | 20,3 <sup>h</sup> ±2,42  | 0,7 <sup>f</sup> ± 0,4      | 53,5 <sup>g</sup> ±1,01  | 6 <sup>d</sup> ±0,82     | 53,23 <sup>ef</sup> ±2,76 | 2,1 <sup>d</sup> ±0,12  | 24 <sup>h</sup> ±2,28    | -                       |
| 5.El Alia               | 21 <sup>h</sup> ±6,6     | 2,77 <sup>abcde</sup> ±0,62 | 24,64 <sup>d</sup> ±6,9  | 3,1 <sup>g</sup> ±0,1    | 18,9 <sup>m</sup> ±0,87   | -                       | 9,23 <sup>m</sup> ±1,2   | -                       |
| 6.Chnenefa              | 21 <sup>h</sup> ±1,83    | 2±0,57 <sup>bcd</sup>       | 54,64 <sup>g</sup> ±2,03 | 5,2 <sup>d</sup> ±0,14   | 20,8 <sup>l</sup> ±1,76   | 2,5 <sup>c</sup> ±0,33  | 16,4 <sup>k</sup> ±1,92  | -                       |
| 7.Takelssa              | 34,3 <sup>e</sup> ± 5,2  | 2,5 <sup>abcde</sup> ±0,29  | 68,1 <sup>e</sup> ±2,54  | 5,6 <sup>d</sup> ±0,92   | 61,16 <sup>d</sup> ±3,01  | 3,1 <sup>b</sup> ±0,1   | 22,33 <sup>l</sup> ±3,25 | -                       |
| 8.Hleyssia              | 32,4 <sup>f</sup> ±3,22  | 2,66 <sup>abcde</sup> ±0,33 | 71,6 <sup>d</sup> ±4,2   | 7,7 <sup>c</sup> ±0,38   | 61 <sup>d</sup> ±2,51     | 3,2 <sup>b</sup> ±0,33  | 32,1 <sup>e</sup> ±1,4   | 1,33 <sup>g</sup> ±0,43 |
| 9.Klibia                | 41 <sup>d</sup> ±2,6     | 2,3 <sup>abcde</sup> ±0,33  | 54,06 <sup>g</sup> ±5,9  | 6,16 <sup>d</sup> ±1,16  | 36,5 <sup>i</sup> ±3,3    | 1,14 <sup>e</sup> ±0,11 | 32 <sup>e</sup> ±3,33    | 1,6 <sup>f</sup> ±0,73  |
| 10.Mjaless              | 22 <sup>h</sup> ±4,93    | 4 <sup>abc</sup> ±0,5       | 48,33 <sup>h</sup> ±3,92 | 4,66 <sup>de</sup> ±1,02 | 43 <sup>h</sup> ±2,82     | -                       | 24,4 <sup>g</sup> ±2,3   | -                       |
| 11.Oued Bzigh           | 32,33 <sup>f</sup> ±4,06 | 3 <sup>abcde</sup> ±1,7     | 65 <sup>f</sup> ±2,33    | 5,5 <sup>d</sup> ±1,08   | 57,33 <sup>e</sup> ±5,92  | 2,03 <sup>d</sup> ±0,19 | 32,66 <sup>e</sup> ±3,3  | 1,66 <sup>e</sup> ±0,33 |
| 12.Oued Zarga           | 56,3 <sup>b</sup> ±5,28  | 3,66 <sup>abcd</sup> ±0,3   | 90,8 <sup>a</sup> ±6,13  | 9,5 <sup>b</sup> ±1,3    | 77,16 <sup>a</sup> ±2,28  | 5,08 <sup>a</sup> ±1,02 | 47,7 <sup>a</sup> ±5,06  | 2,3 <sup>c</sup> ±0,73  |
| 13.Teborsok             | 53,44 <sup>c</sup> ±2,02 | 4,16 <sup>abc</sup> ±0,6    | 71,83 <sup>d</sup> ±3,75 | 5,5 <sup>d</sup> ±0,9    | 69,5 <sup>c</sup> ±5,25   | 3,06 <sup>b</sup> ±0,5  | 27,26 <sup>f</sup> ±4,38 | -                       |
| 14.Thibar               | 41,33 <sup>d</sup> ±3,5  | 4,43 <sup>ab</sup> ±0,56    | 75 <sup>c</sup> ±2,02    | 7,5 <sup>c</sup> ±1,66   | 70,33 <sup>c</sup> ±4,23  | 2,2 <sup>d</sup> ±0,24  | 37,56 <sup>d</sup> ±2,14 | 2,2 <sup>d</sup> ±0,42  |
| 15.Utique               | 42,6 <sup>d</sup> ±2,8   | 3,3 <sup>abcde</sup> ±0,6   | 63,2 <sup>f</sup> ±1,75  | 5,8 <sup>d</sup> ±1,06   | 51,06 <sup>f</sup> ±2,9   | 2,1 <sup>d</sup> ±0,33  | 40,46 <sup>c</sup> ±3,12 | 2,66 <sup>f</sup> ±0,33 |
| 16.Zwerine              | 61,2 <sup>a</sup> ±6,14  | 5 <sup>a</sup> ±0,6         | 81,06 <sup>b</sup> ±3,82 | 17,5 <sup>a</sup> ±0,66  | 73 <sup>b</sup> ±4,33     | 5,26 <sup>a</sup> ±0,86 | 46,66 <sup>b</sup> ±4,17 | 2,33 <sup>b</sup> ±0,12 |

En présence de la lumière, les graines ont montré des pourcentages de germination variables selon les populations. Ces pourcentages sont beaucoup plus faibles voir nuls pour certaines populations que ceux enregistrés à l'obscurité. La lumière inhibe d'une façon générale la germination des graines de l'espèce *F. vulgare*.

La population de Zwerine a montré le taux de germination le plus élevé (81,06%) à l'obscurité et à 20 °C. Ce taux ne dépasse pas 18% en présence de luminosité. Contrairement aux résultats obtenus à l'obscurité, la germination n'a débuté qu'après 7 jours d'incubation suite à l'application de lumière.

Thomas (2014) a également rapporté qu'à l'obscurité, les graines de trois variétés de fenouil présentent des pourcentages de germinations plus élevés qu'en présence de la lumière. Cependant, le céleri appartenant aussi à la famille des Apiacées germe mieux en présence de la lumière qu'à l'obscurité (Thomas, 1979).

Selon Kauth et al. (2008), la germination de la majorité des espèces terrestres dépend de l'obscurité alors que celle des espèces épiphytes nécessite la présence de la lumière, mais aussi de nombreuses exceptions existent (Arditti, 1967).

Les résultats trouvés confirment que l'optimum de germination des graines de fenouil est à une température de 20°C et sous obscurité sur le milieu agar 1% (figure 3A).



**Figure 3A:** test de germination des graines de fenouil sur milieu Agar 1% à 20°C et à l'obscurité;

Après germination, la plante embryonnaire commence à se développer, en utilisant les réserves stockées dans l'albumen. La radicule est la première partie de la plante à sortir du testa ramolli, suivie des cotylédons (figure 3B).



**Figure 3B :** graine de fenouil avant (a) et durant la germination (b : germination après 2 jours ; c : germination après 3 jours ; d : germination après 3 jours ; (d) germination après 5 jours ; e : germination après 10 jours d'incubation

Tant que les conditions environnementales sont adéquates, la plante poursuivra ensuite son développement et ses racines s'étendront et les cotylédons grandissent avec le temps (figure 4).



**Figure 4 :** Développement de plantule de *F. vulgare* : (a) après 15 jours de la date de germination; (b) après 21 jours de la date de germination

L'analyse statistique de nos résultats a montré la présence d'une corrélation positive entre le pourcentage de la viabilité et le taux de germination des graines dans les conditions optimales (20°C à l'obscurité) avec un coefficient de corrélation ( $r$ ) de 0,703.

Alouani et Bani-Aameur (2004) ont trouvé une corrélation positive entre le pourcentage de germination et la coloration totale ou partielle de la semence et de l'embryon d'arganier sans préciser les pourcentages de coloration. Pour d'autres espèces comme c'est le cas pour *Pinus wallichiana*, le pourcentage de viabilité est de 79,82% alors que le taux de germination est de 82,69%. Chez *Jatropha fragrans*, les taux de viabilité des graines et les taux de germination obtenus ne diffèrent pas significativement montrant ainsi l'efficacité du test au tétrazolium pour une évaluation rapide de la viabilité des semences chez cette espèce (Blambert, 2016 ; Aslam et al. 2010).

## Conclusion

Cette étude nous a permis de mettre en évidence l'effet de la lumière et de la température sur la germination des graines de fenouil. Une variation significative du pouvoir germinatif entre les populations a été décrite entre les populations. Ces résultats sont d'une grande utilité pour faire des prédictions au moment de la germination dans le champ. Toutefois, d'autres paramètres notamment l'humidité et la teneur en eau du substrat utilisé méritent d'être étudiés. Les modèles de simulation pour prédire la levée de dormance dans le champ seront davantage étudiés pour créer un modèle complet de culture par graine de l'espèce *Foeniculum vulgare*.

Les résultats représentés sont les moyennes de trois répétitions. Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de comparaison multiple de Newman-Keuls au seuil de 5%.

## References

- Probert, R.J. (2000).** The Role of Temperature in the Regulation of Seed Dormancy and Germination. In Fenner, M., Ed., *Seeds The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd Edition, CAB International, Wallingford, 261-292.
- Bonner, F.T. (1990).** Storage of seeds: potential and limitations for germplasm conservation. *Forest Ecology and Management*. 35: 35-43.
- Ranzani R.E., Luz P.B, Marostega T.N., Paiva Sobrinho S. (2016).** Effects of substrate and temperature on the germination of *Foeniculum vulgare* seeds. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s. vol.18 no.1
- Hokmalipour S (2015).** Effect of Salinity and Temperature on Seed Germination and Seed Vigor Index of Chicory (*chichoriumintynus* L.), Cumin (*Cuminum Cuminum* L.) and Fennel (*Foeniculum Vulgare*). *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 8(35),1-9.
- Heidari Zahra, Kamkar Behnam, Sinaki Jafar Masoud, (2014).** Influence of Temperature on Seed Germination Response of Fennel. *Advances in Plants & Agriculture Research*. 1(5): 00032.

- Alipoor Z, Mahmodi S. (2015)** Effect of Different Temperature on Germination Properties of Fennel (*Foeniculum vulgare*), Cannabis (*Cannabis sativa*) and Sesame (*Sesamus indicum*). Iranian Journal of Seed Research., 2(1): 37-52.
- Thomas T. H. (2014)**. Responses of florence fennel (*Foeniculum vulgare azoricum*) seeds to light, temperature and gibberellin A<sub>4/7</sub>. Plant Growth Regulation 14: 139-143.
- Thomas T.H, Biddington N.L. & O'Toole D.F. (1979)**. Relation-ship between the position on the parent plant and dormancy characteristics of seeds of three cultivars of celery. Plant Physiology 45: 492-496.
- Alouani M., Bani-Aameur F. (2004)** Argan (*Argania spinosa* (L.) Skeels) seed germination under nursery conditions: Effect of cold storage, gibberellic acid and mother-tree genotype. Annals of Forest Science, 61 (2), pp.191-194.
- Aslam, M., Reshi, Z.A., et Sid diqi, T.O. 2010**. Standardization of seed viability protocol for *Pinus wallichiana* A.B. Jackson in Kashmir, India. International Journal of Pharmaceutical Sciences. 17(4): 93-98.
- Bewley, J., (1997)**. Seed germination and dormancy. *Plant cell* 9, 1055-1066.
- Henry, P., 1951**. La germination des graines d'Elaeis. In: Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale. 31e année, bulletin n°349-350, 565-591.
- Wang, R., Bai, Y., Tanino, K. (2004)**. Effect of seed size and sub-zero imbibition temperature on the thermal time model of winterfat (*Eurotialanata* Pursh) Moq.). Environmental and Experimental Botany 51: 183-197.
- Seo, M., Nambara, E., Choi, G., Yamaguchi, S., 2009**. Interaction of light and hormone signals in germinating seeds. Plant Molecular Biology, 69 : 463-472.
- Badoc, A., Lamarti, A. (1997)**. Contribution à l'étude du genre *Foeniculum* Mill. Plantes aromatiques et médicinales et leurs huiles essentielles. Actes Editions, Rabat, 21-36
- Reduron, J.P. (2007)**. Ombellifères de France -Tome 3, Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest - Nouvelle Série - Numéro spécial, 28.
- Pottier., Alapetite, G., 1979**. Flore de la Tunisie ; Angiospermes – dicotylédones, Publications Scientifiques Tunisiennes, Imprimerie Officielle de la République Tunisienne, 673 pp.
- Filliat, P. (2012)**. Les plantes de la famille des Apiacées dans les troubles digestifs. Pharmaceutical sciences. 140pp.
- Ticli, B. (1999)**. Les herbes médicinales les plus puissantes et les plus efficaces, Milan, Editions De Vecchi S.A.
- Coste, H., Flahault, C.H. (1998)** Flore Description et illustrée de la France de la Corse et des contrées limitrophes. Tome II (Librairie scientifique et technique, Paris.
- D'Antuono, L. F., Ferioli, F., & Oliveri, S. (2017)**. Wild fennel (*Foeniculum vulgare* Mill., subsp. piperitum (Ucria) Cout.) culinary uses: An overview, preliminary on-field documentation and analytical perspectives. Acta Horticulturae, 1153, 21–28.
- Bruneton, J. (1993)**. Pharmacognosie et phytochimie, Plantes médicinales, Lavoisier, 409- 412.
- Suszka B. (1994)**. Graines des feuillus forestiers : de la récolte au semis. Claudine Muller, Marc. Copeland, L.O., et McDonald, M.B. 1995. Principles of seed science and technology. Third 379 édition. Chapman & Hall, New York, NY.
- Côme, D. 1970**. Les obstacles à la germination. Masson et Cie .162 pp.
- Bareke, T. J. A. P. A. R. (2018)**. Biology of seed development and germination physiology. Adv. Plants Agric. Res, 8(4), 336.
- Allen, P., & Meyer, S. (1998)**. Ecological aspects of seed dormancy loss. Seed Science Research, 8(2), 183-192. doi:10.1017/S0960258500004098.