

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE de TLEMCEM
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de biologie



MEMOIRE Présenté par

Mlle. **KHEBICHAT** Nihad

Mlle. **DALI YUCEF** Imen

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER en génétique

Thème

Caractérisation morphométrique de la bourse a pasteur (*Capsella bursa-pastoris*) au niveau de la wilaya de Tlemcen et analyse bioinformatique des gènes IND de *Capsella rubella*

Devant le jury composé de :

Président	Triqui Chahinez	MAA	Université	De Tlemcen
Encadreur	Bouri Amina	MCA	Université	De Tlemcen
Examineur	Sidhoum Mohammed	MCB	Université	De Sidi Bel Abbes

Année universitaire 2021/2022

الملخص

كيس الراعي هي نبتة ذات قيمة غذائية عالية معروف منذ العصور القديمة بتأثيرها المستقيم وعدة تأثيرات علاجية. في هذا العمل تم إجراء دراستين، الأولى هي توصيف مورفولوجي على مستوى 11 منطقة في تلمسان مع 107 عينة لـ 17 علامة مورفولوجية. تم استخدام البيانات إحصائياً. أظهرت لنا نتائج الاختبارات أن هذا النوع يمثل تبايناً جينياً كبيراً وأنه بالنسبة لبعض السمات ربما يكون لديه عدد معين من الانزعاج المشترك الذي يدرك تطورها. الدراسة الثانية هي تحليل معلوماتي حيوي لعامل النسخ الجيني غير المرئي المسؤول عن تكوين شكل قلب الفاكهة في جنس كيس الراعي، تظهر نتائج التحليل أن البنية الجينية لأفراد عائلة عامل النسخ الجيني غير المرئي بسيطة نسبياً ونسبة الجينات التي لا تحتوي على الإنترونات منخفضة جداً أيضاً.

الكلمات المفتاحية: الفاكهة، الجزائر، عامل النسخ الجيني غير المرئي، المعلوماتية الحيوية، القياس المورفومتري، كيس الراعي

Résumé

Capsella bursa pastoris est une plante à haute valeur nutritive qui est connue depuis l'antiquité pour son effet homéostatique et ces nombreux effets thérapeutiques. Dans ce travail on a procédé à deux études, la première est une caractérisation morphologique au niveau de 11 régions de Tlemcen à raison de 107 échantillons pour 17 marqueur morphologique. Les données ont été exploitées statistiquement. Les résultats des tests nous ont prouvé que cette espèce présente une grande variabilité génétique et que pour certains caractères ont probablement un certain nombre de gènes en commun qui réalisent leur évolution. La deuxième étude est une analyse bioinformatique du gène IND responsable de la formation de la forme de cœur des fruits chez le genre *Capsella*, les résultats de l'analyse démontrent que la structure génétique des membres de la famille du gène IND est relativement simple et la proportion de gènes sans introns est également très faible.

Mots clés :

Bio-informatique, Morphométries, *Capsella bursa-pastoris*, *Capsella rubella*, IND, Fruit

Abstract

Capsella bursa pastoris is a plant with high nutritional value which has been known since antiquity for its homeostatic effect and its numerous therapeutic effects. In this work we carried out two studies, the first is a morphological characterization at the level of 11 regions of Tlemcen at the rate of 107 samples for 17 morphological markers. The data was analyzed statistically. The results of the tests have shown us that this species presents a great genetic variability and that for certain characters probably have a certain number of genes in common which carry out their evolution. The second study is a bioinformatic analysis of the IND gene responsible for the formation of the heart shape of fruits in the genus *Capsella*, the results of the analysis demonstrate that the genetic structure of the members of the IND gene family is relatively simple and the proportion of genes without introns is also very low.

Key words :

Bioinformatics, Morphometrics, *Capsella bursa-pastoris*, *Capsella rubella*, IND, Fruit

REMERCIEMENT

- ♥ A ALLAH le tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la volonté et l'audace d'avoir dépassé tout difficultés
- ♥ A nos parents pour tout ce qu'ils nous ont appris, donnés et inculqués et pour leur soutien durant tous nos études, sans eux ce travail n'aurait pu être réalisé.
- ♥ A notre enseignant et responsable de formation Monsieur Gaouar.SBS, qui nous a toujours soutenu tout au long des années d'études universitaires ; on le remercie profondément pour sa grande disponibilité, pour son aide et sa patience ainsi que ces précieux conseils pleins de motivation et de volonté.
- ♥ A notre encadrant Madame BOURI.A, à qui tout au long de ce travail a pris le temps de nous guider et conseillé efficacement et d'avoir mis à notre disposition les outils intellectuels et logistiques nécessaires pour achever cette thèse.
- ♥ Aux membres du jury pour nous avoir fait honneurs d'accepter d'évaluer ce travail.
- ♥ Aux restes des membres de nos familles et amis et à tous ceux qui ont contribué à notre parcours universitaire pour leur aide morale et physique de loin ou de près, on vous remercie pour avoir partagé ce petit chemin avec nous.

Dédicace

Je dédie ce travail

A la merveilleuse femme qui m'a mis au monde **Fatiha Rezzoug**, il n'y a pas de mots pour exprimer ma gratitude pour elle, son soutien, sa générosité et son encouragement et j'en passe.

A mon bras droit, mon père **Mohammed Amine**, un monsieur avec un grand A, à qui je lui exprime mes sincère remerciement

A mon fiançais **Ismail Medjdoub** qui a toujours cru en moi et m'accorde son encouragement

A mes sœurs **Manel** et **Djazilat** pour leurs soutiens

KHEBICHAT NIHAD



Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail a ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect, pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordé : mon cher père **Adnane**

A la femme, qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non âmes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère **Aouicha Benhabib**

A ma chère sœur **Salima Nihel** et mon frère **Zakaria** ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotions lors de la réalisation de ce travail, ils m'ont chaleureusement supporté, encourager et soutenir tout au long de mon parcours, qui n'ont pas cessée de me conseiller. Que dieu les protèges et leurs offre la chance et le bonheur

A mon adorable petite sœur **Asmaa** qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille

A tous les membres de ma famille qui ont été toujours là pour moi

IMEN DALI YUCEF

المخلص

Abstract

Résumé

Remerciements

Dédicaces

Sommaire 1

Liste des tableaux.....	4
Liste des figures.....	5
Liste des abréviations.....	7
INTRODUCTION.....	9
Introduction.....	10
APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE.....	11
I. Généralité sur <i>Capsella bursa pastoris</i>	12
I.1. Position systématique.....	12
I.2. Dénominations de <i>Capsella bursa-pastoris</i>	13
I.3. Origine et distribution géographique	13
II. Importance et compositions.....	14
II.1. Les valeurs nutritionnelles de <i>C. bursa-pastoris</i>	14
II.2. Importance en l'huile volatile.....	14
II.3. Composition phytochimique	14
II.4. Importance thérapeutique.....	15
III. Production et culture.....	15
IV. Caractéristiques botaniques.....	16
IV.1. Caractères morphologiques.....	16
IV.1.1. Le système racinaire.....	16
IV.1.2. Les feuilles.....	17
IV.1.3. Les fleurs.....	17
IV.1.4. Les fruits.....	18
IV.1.5. Les graines	19
IV.1.6. La tige.....	20
IV.2. Caractères physiologique.....	20
IV.2.1. Embryogenèse.....	20
IV.2.2. Germination.....	22
V. Génétique de l'espèce.....	22
V.1. Génome mitochondriale.....	22
V.2. Caryotypes des géotypes de <i>C. bursa-pastoris</i>	23
V.3. Gène responsable a la forme du cœur des fruits chez le genre <i>Capsella</i>	24
VI. Ecologie.....	25
VI.1. Conditions climatiques et édaphiques.....	25
VI.1.1. Exigences climatiques.....	25
VI.1.2. Substrat.....	26
VI.2. Altitude.....	26
VII. Usage.....	26
VII.1. Usage médicinale.....	26
VII.1.1. Utilisation interne.....	26
VII.1.2. Utilisation externe.....	26
VII.2. Usage alimentaire.....	27
VIII. Toxicité	27
PARTIE EXPERIMENTALE.....	28
I. Présentation des zones d'études.....	29
I.1. Contexte géographique, géologique et topographique.....	30
I.1.1. Présentation de la commune d'Ain Fezza.....	30

I.1.2.	Présentation de la région d'El ourit.....	31
I.1.3.	Présentation de la commune de Sebdou.....	31
I.1.4.	Présentation de la région de Yebdar	32
I.1.5.	Présentation de la station centre de Tlemcen	32
I.1.6.	Présentation de la commune de Chetouane	33
I.1.7.	Présentation de la commune d'Ouled Mimoun	33
I.1.8.	Présentation de la commune de Sabra	34
I.1.9.	Présentation de la commune de Beni mester	35
I.1.10.	Présentation de la commune de Mansourah	35
I.1.11.	Présentation de la commune de Ghazaouet	36
I.2.	Contextes climatiques et bioclimatiques.....	37
I.2.1.	Températures et précipitation.....	37
I.2.1.1.	Températures et précipitation de Ain fezza	37
I.2.1.2.	Températures et précipitation de El ourit	37
I.2.1.3.	Températures et précipitation de Sebdou	37
I.2.1.4.	Températures et précipitation de Yebdar	37
I.2.1.5.	Températures et précipitation de Tlemcen	38
I.2.1.6.	Températures et précipitation de Ouled mimoun	38
I.2.1.7.	Températures et précipitation de Beni mester	38
I.2.1.8.	Températures et précipitation de Sabra	38
I.2.1.9.	Températures et précipitation de Chetouane	38
I.2.1.10.	Températures et précipitation de Mansourah	38
I.2.1.11.	Températures et précipitation de Ghazaouet	39
II.	Objectif des études	39
II.1.	Morphométrie	39
II.2.	Génomique	40
III.	Matériels et méthodes	40
III.1.	Morphométrie	40
III.1.1.	Station d'études.....	40
III.1.2.	Critère du choix	41
III.1.3.	Programme des Sorties	41
III.1.4.	Échantillonnages et mesures morphométriques	41
III.1.4.1.	Paramètres quantitatifs	42
III.1.4.1.1.	Mesure de la hauteur de la plante (HP)	42
III.1.4.1.2.	Mesure de la longueur et de la largeur des feuilles basales et collines /plante..42 (LLB, LLC, SWB, SWC)	
III.1.4.1.3.	Mesure du poids sec/plante	43
III.1.4.1.4.	Mesure de longueur et largeur de fruits.....	43
III.1.4.1.6.	Mesure de la surface spécifique de feuilles basales et caulines (SLAB,SLAC).44	
III.1.4.1.7.	Mesure de nombre de fruit de chaque plante (NF) à l'œil nu.....	44
III.1.4.1.8.	Mesure de nombre de fleur de chaque plante (NI) à l'œil nu.....	44
III.1.4.2.	Paramètre qualitatif	45
III.1.4.2.1.	La couleur des fleurs	45
III.1.5.	Analyses statistiques	45
III.2.	Génomique	45
III.2.1.	Acquisition d'informations de base sur la famille de gènes IND de <i>Capsella</i>	45
III.2.2.	Emplacement chromosomique du gène IND de <i>Capsella rubella</i>	46
III.2.3.	Analyse phylogénétique et analyses des domaines fonctionnel.....	46
RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....		47
I.	Résultats et interprétations morphométrique	48
I.1.	Analyse descriptive.....	48
I.2.	Variation des individus	49
I.3.	Variation des variables selon la région.....	52
I.4.	Indice de Shannon pour les traits quantitatifs	54

II.	Résultats et interprétations génomique	55
II.1.	Informations de base du gène IND de <i>Capsella</i>	55
II.2	Localisation chromosomique.....	57
II.3.	Construction de l'arbre évolutif et analyse des motifs du facteur de transcription IND	58
II.3.1.	L'arbre phylogénétique des gène IND de <i>Capsella</i> et d' <i>Arabidopsis</i>	58
II.3.2.	L'arbre phylogénétique des gènes IND de <i>Capsella</i>	60
II.4.	Analyse des motifs des protéine IND chez <i>Capsella</i>	61
II.5.	Analyse de l'alignement multiples de IND chez <i>Capsella</i>	62
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....		65
REFERENCES.....		67

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification de l'espèce <i>Capsella bursa-pastoris</i>	12
Tableau 2 : Situation géographique des stations d'études.....	30
Tableau 3 : Les étages bioclimatiques des stations d'études.....	41
Tableau 4 : Paramètres quantitatifs et qualitatifs étudiés.....	42
Tableau 5 : Analyse descriptive des mensurations <i>Capsella Bursa Pastoris</i> étudiée.....	48
Tableau 6 : Valeurs propres	49
Tableau 7 : Classification des plantes <i>Capsella Bursa Pastoris</i> par ACP.....	51
Tableau 8 : Variation des variables selon la région.....	53
Tableau 9 : Indice de diversité de Shannon pour l'échantillon étudié.....	54
Tableau 10 : Les informations de base sur la famille de gènes IND dans <i>Capsella</i>	55
Tableau 11 : Carte thermique représentatif de la prédiction de la localisation subcellulaire des protéines CarubHLH-IND par Wolf PSORT.....	57

Liste des figures :

Figure 1 : La bourse a pasteur avec toute une ligne de tures	12
Figure2 : Aire de répartition mondiale de <i>C. bursa pastoris</i> (des années 1800 à 2022).....	13
Figure 3 : <i>Capsella bursa-pastoris</i>	16
Figure 4 : Diversité morphologique au sein des feuilles basales égyptiennes de <i>Capsella</i>	17
Figure 5 : Diversité morphologique au sein des feuilles caulinaire égyptiens de <i>Capsella</i>	17
Figure 6 : Architectures florales chez <i>Capsella bursa-pastoris</i>	18
Figure 7 : Exemples de variation des gousses.....	19
Figure 8 : Fruit et graine du taxons étudiés, <i>Capsella bursa-pastoris</i>	19
Figure 9 : stade globulaire 1 jusqu'à au stade intermédiaire entre I I I et V.....	21
Figure10 : Stade 3 de la formation du cœur jusqu'au stade 6 "bâton de marche"	21
Figure11 : Stade 5 de formation de "torpille" jusqu'à la formation d'embryon adulte 8.....	22
Figure 12 : Carte du mitogénome de <i>C. bursa-pastoris</i>	23
Figure 13 : Caryotypes des génotypes de <i>C. bursa-pastoris</i>	24
Figure 14 : : Effet de CrIND la forme du fruit <i>Capsella</i>	24
Figure 15 : L'expansion du domaine d'expression de l'IND entraîne la croissance apicale des fruits en forme de cœur de <i>Capsella</i> _.....	25
Figure16 : Situation géographique des stations d'études.....	29
Figure17 : Site d'échantillonnage dans la station d'Ain fezza.....	30
Figure18 : Site d'échantillonnage dans la station El Ourit.....	31
Figure19 : Site d'échantillonnage dans la station de Sebdou.....	31
Figure20 : Site d'échantillonnage de la station de Yebdar.....	32
Figure21 : Site d'échantillonnage de la station de Tlemcen.....	33
Figure22 : Site d'échantillonnage dans la station de Chetouane.....	33
Figure23 : Site d'échantillonnage de la commune d'Ouled mimoun.....	34
Figure24 : Site d'échantillonnage de la station de Sabra.....	35
Figure25 : Site d'échantillonnage de la station de Beni mester.....	35
Figure26 : Site d'échantillonnage de la station de Mansourah.....	36
Figure27 : Site d'échantillonnage dans la station de Ghazaouet.	36
Figure 28 : Mesure de la hauteur de la plante.....	42
Figure 29 : Mesure de la longueur de la feuille avec Image j.....	43
Figure 30 : Mesure de la largeur de la feuille avec Image j.....	43
Figure 31 : Séchage des échantillons dans des enveloppes.....	43
Figure 32 : Pesage de la plante grâce à une balance analytique.....	43
Figure 33 : Mesure de la longueur du fruit avec Image j.....	44

Figure 34 : Mesure de la largeur de du fruit avec Image j.....	44
Figure 35 : Les feuilles caulines.....	44
Figure 36 : Les feuilles basales.....	44
Figure 37 : Les fleurs de <i>Capsella bursa-pastoris</i>	45
Figure 38 : Présentation des mensurations corporelles par ACP chez <i>Capsella bursa-pastoris</i>	50
Figure 39 : Arbre hiérarchique utilisant la distance moyenne (entre classe) chez <i>Capsella Bursa-Pastoris</i>	50
Figure 40 : Présentation des caractères de <i>Capsella Bursa Pastoris</i> par ACP.....	51
Figure 41 : La structure des gènes de la famille IND	56
Figure 42 : Carte chromosomique, localisation de IND dans les chromosomes.....	58
Figure 43 : Arbre phylogénétique des protéines IND de <i>Capsella Rubella</i> et d' <i>Arabidopsis</i> , <i>Capsella Rubella</i> , <i>Thlaspi arvense</i>	60
Figure 44 : Arbre phylogénétiques des gènes IND de <i>Capsella</i> ,	61
Figure 45 : Représentation schématique des motifs conservés dans les protéines IND de <i>Capsella</i>	62
Figure 46 : Diagramme de comparaison multi-séquences des protéines IND dans <i>Capsella</i>	63

Liste des abréviations

ACP : analyse en composant principale

ANAT : agence nationale de l'aménagement du territoire

CAH : classification ascendante hiérarchique

Chlo : chloroplaste

CL : longueur de fruit

CW : largeur de fruit

Cysk : cytosquelette

Cyto : cytosol

DLW : poids sec

Extra : extracellulaire

GBIF : Système mondial d'informations sur la biodiversité

Golg : appareil de golgi

H' : indice de Shannon

HP : la hauteur de la plante

IC : couleur d'inflorescence

IND : indéhiscent

L : Lobé

LAB : surface de feuilles basales

LAC : surface de feuilles collines

LLB : longueur de feuilles basales

LLC : longueur de feuilles collines

LNB : nombre de feuilles basales

LNC : nombre de feuilles collines

LS : Lobé-Simple

NF : nombre de fruits

NI : nombre de fleurs

Nucl : noyau

PDAU : plan directeur d'aménagement urbain

Pero : peroxyosome

Plas : membrane plasmique

Plas : plasma membrane

S : Simple

SLAB : surface spécifique de feuilles basales

SLAC : surface spécifique de feuilles collines

SWB : largeur de feuilles basales

SWC : largeur de feuilles collines

UPOV : union pour la protection des obtentions végétales

Introduction

Introduction

Les plantes alimentaires sauvages sont une source importante de nutrition humaine depuis l'Antiquité, et elles reviennent particulièrement lorsque la nourriture conventionnelle n'est pas disponible en raison de situations d'urgence, telles que des catastrophes naturelles et des conflits (Sulaiman et al., 2022). Cependant, l'utilisation des plantes sauvages comme source de principes actifs et de substances naturelles de haute qualité a perduré au cours des siècles principalement grâce à la transmission orale des connaissances. Ainsi, tant la connaissance de la biodiversité végétale d'un territoire que la connaissance des usages médicinaux de ces plantes sauvages par les populations locales revêtent une importance fondamentale pour le développement de ces espèces (Tuttolomondo et al., 2014). Une façon efficace de garder les connaissances et les plantes qui leur sont associées est d'intégrer la médecine traditionnelle dans le système de santé moderne en utilisant l'ethnobotanique et l'ethnopharmacologie (Boudjelal et al., 2013).

De ce fait, *C. bursa-pastoris* est une herbe sauvage à haute valeur nutritive qui peut être consommée crue ou cuite et elle présente également d'importantes propriétés biologiques (Grosso et al., 2011). C'est une espèce tétraploïde, auto-compatible, à prédominance autofécondée avec des fleurs relativement petites mais une capacité de colonisation exceptionnelle (Hintz et al., 2006) elle fait partie des cinq plantes à fleurs les plus répandues sur notre planète (Hurka et al., 2003). La bourse à pasteur est un proche parent de la plante modèle génétique *Arabidopsis thaliana* (Koch et Kiefer, 2005) et en raison de sa biologie intéressante et du nombre croissant d'outils moléculaires disponibles, elle entamera une seconde carrière en tant que système modèle satellite d'*Arabidopsis* (Acarkan et al., 2000) et elle est déjà considérée comme plante modèle pour servir dans des études comparatives visant à comprendre l'évolution parallèle et convergente des caractéristiques florales.

Malgré son importance thérapeutique, alimentaire et cosmétique et écologique elle reste une espèce négligée, sous-utilisée et peu étudiée en Algérie et ces raisons ont permis de susciter l'intérêt de notre travail qui se porte sur l'étude de la caractérisation de *Capsella bursa-pastoris* principalement axées sur les caractéristiques morphologiques et génomiques.

Dans la première partie de cette présentation, nous aborderons un petit aperçu bibliographique et dans une deuxième partie, nous présenterons une caractérisation morphométrique de *Capsella bursa-pastoris* dans la région nord de Tlemcen basée sur des mesures morphométriques et des marqueurs morphologiques de nature qualitative et quantitative. En fin la troisième partie traitera une analyse bio-informatique du gène IND responsable de la forme du cœur du genre *Capsella*.

Aperçue bibliographique

I. Généralité sur *Capsella bursa-pastoris*

I.1. Position systématique

Capsella bursa-pastoris (figure 1) fait partie de la famille des Brassicacées et est communément appelé Bourse de berger. *Capsella* est l'un des 338 genres qui représentent collectivement les 3 710 espèces de la famille des Brassicacée (Stevens et Carson, 2001). *Capsella bursa-pastoris* s'appelle en latin *Pastoris surfa* ou *Perapastoris*, en haut néerlandais, *Hacheltin* bas-néerlandais, *Boztekenstrupt* et en français, *Bourse de pasteur* ou *Curé* (Gérard J, 1636), reconnue par *Capsella petit-cas*, diminutif de *capsa* (la forme du fruit de la bourse de berger) (Gledhill D, 1985).

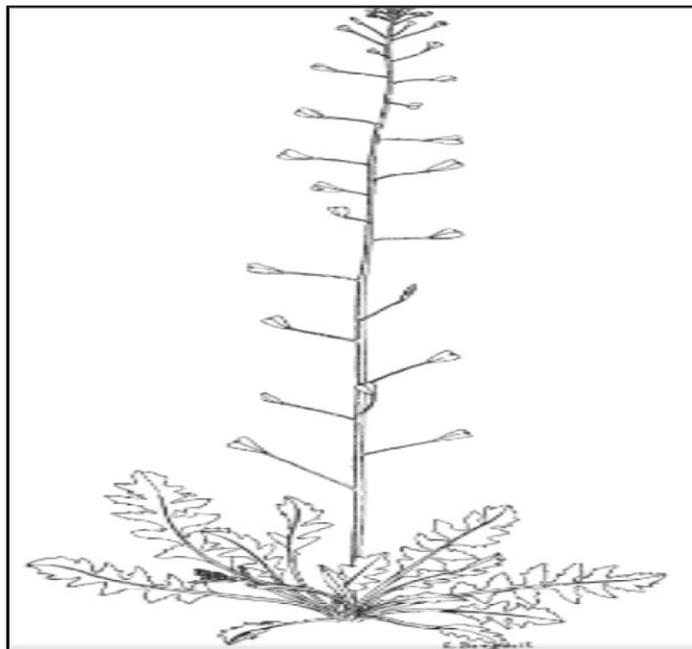


Figure 1 : La bourse a pasteur avec toute une ligne de tures (Michael S. Defelice, 2005)

Du point de vue taxonomique (tableau 1), cette espèce fait partie :

Tableau 1 : classification de l'espèce *Capsella bursa-pastoris*

Embranchement	<i>Spermatophytes</i>
Sous embranchement	<i>Polymorphisme</i>
Classe	<i>Magnoliophyta</i>
Sous-classe	<i>Dilleniidae</i>
Ordre	<i>Capparales</i>
Famille	<i>Brassicaceae</i>
Genre	<i>Capsella</i>
Espèce	<i>Capsella bursa-pastoris</i>

NB : Classification de Cronquist (1981).

I.2. Dénominations de *Capsella bursa-pastoris*

Nom botanique principal de l'UPOV : *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.

Noms communs anglais : Shepherd's-purse.

Noms communs français : Bourse à pasteur ; Bourse a berger.

Noms communs allemands : Hirtentäschel.

Noms communs espagnols : Zurrón de pastor.

Noms communs arabe : Keissat er raai.

Noms communs Algérien : Chenaf, Lessan el kheil, Kerkas.

I.3. Origine et distribution géographique

La bourse à pasteur (*Capsella bursa-pastoris*) est une plante qui remonte depuis l'antiquité probablement 5850-5600 avant JC d'après la découverte des graines fossiles de cette plante (Ceplitis et al., 2005). Elle a été récemment déterminée qu'elle s'agissait d'un allotétraploïde ($2n = 4x = 32$) à la suite d'un événement d'hybridation entre *C. grandiflora* et *C. orientalis* au cours de la dernière 100 000 à 300 000 ans (Douglas et al., 2015).

Elle a une distribution cosmopolite, c'est la deuxième plante à fleurs la plus fréquente dans le monde (Zhou et al., 2001). Elle apparaît dans presque chaque pelouse et jardin, dans chaque pré et pâturage, dans chaque parcelle de camion et champ cultivé, non pas comme une mauvaise herbe mais comme une sorte de visiteur (Spencer ER, 1957).

Elle est d'origine d'Eurasie et du nord africains, mais est également distribué en Amérique du nord et Amérique du sud et en Australie (figure 2) sauf les basses terres tropicales (Holm et al., 1979). Elle s'est propagée avec la diffusion de l'agriculture suite à la dernière glaciation en Eurasie (Ceplitis et al., 2005), et sa large aire de répartition géographique est probablement due à sa plasticité phénotypique due au changement climatique mondial qui entrainer des températures de plus en plus inconstantes dans certaines régions (Byungwook et al., 2018).

Malgré son omniprésence et l'extension de son distribution géographique, il y a peu d'informations sur l'introduction de *C. bursa-pastoris* en Algérie ainsi que sur le processus qui les ont déterminés.

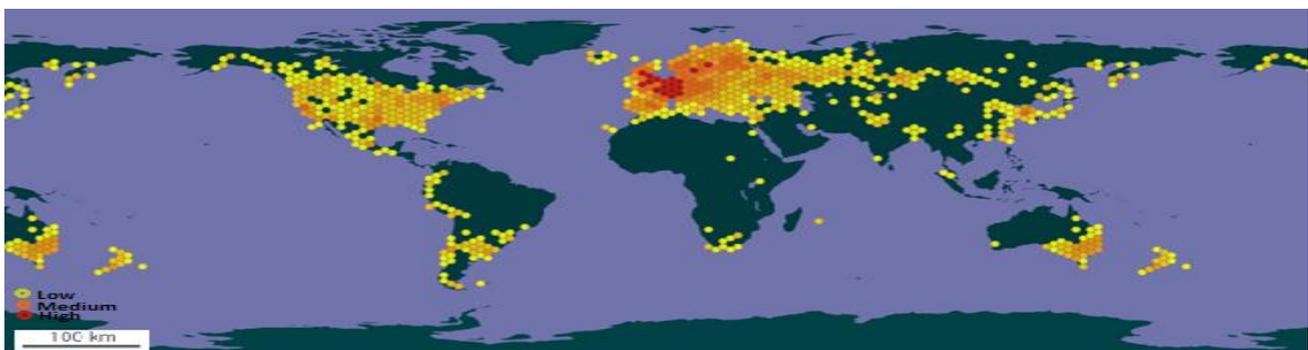


Figure 2 : Aire de répartition mondiale de *C. bursa pastoris* grâce aux observations humaines (des années 1800 à 2022) d'après le réseau fédérateur (GBIF, 2022).

II. Importance et compositions

La bourse à pasteur peut être trouvée comme espèce proéminente dans les documents de la littérature ethnobotanique (Zhou, 1998). Dans les sociétés occidentalisées d'aujourd'hui, le thé *Capsella* peut être couramment trouvé sur les marchés européens ou généralement vendu sous forme de tiges fleuries hachées (sans graines), présenté sous une forme séchée pour être préparé sous forme de teinture (Vickery, 1995). En Chine par exemple la bourse à pasteur devient un bon projet pour les agriculteurs de s'enrichir dans certain village car la plantation de bourses à pasteur nécessite moins d'investissement, aucun risque et une technologie simple. Haut rendement et haute efficacité, adapté à la double culture dans les terres agricoles (Wu Qingrong, 2007), car en tant que légume sauvage riche en vitamines C, B et carotène, la bourse à pasteur n'est pas seulement de texture délicieuse, a un parfum spécial, mais a également à plusieurs fonctions tel que l'évacuation de la chaleur et de détoxification, anti-inflammatoire et hémostatique (Zhang Lin, 2001). Elle peut être utilisée pour la farce, le sauté, la soupe et pour d'autres plats (Zhu Naizhou, 1999).

II.1. Les valeurs nutritionnelles de *C. bursa-pastoris*

En Chine la bourse à pasteur est un légume consommé régulièrement et considérée comme un produit de santé d'où il joue divers rôles dans les soins de santé, la prévention et traitement des maladies. (Xuemei et al., 2005) et est un légume sauvage important digne de développement et d'utilisation.

La bourse à pasteur est riche en divers nutriments. La teneur en protéines de la bourse à pasteur est supérieure à celle des légumes ordinaires, la composition en acides aminés est relativement équilibrée, et l'espèce est riche en vitamines telles que le carotène, la riboflavine, l'acide ascorbique et l'acide folique. La bourse à pasteur est également riche en calcium, en phosphore et en fer, ce qui suggère qu'il s'agit d'un aliment nutritif qui vaut la peine d'être consommé quotidiennement (Liang et al., 1994).

II.2. Importance en l'huile volatile :

La bourse à pasteur représentant 17 % de l'huile volatile totale. 95,02 %. L'huile volatile contient une variété d'ingrédients actifs tels que l'alcool de feuille (43,12 %), l'acétate d'alcool de feuille (14,36 %), le trisulfure de diméthyle (9,77 %), l'acétate d'isopropyle (7,08 %), le 1-hexanol (2,57 %), pentadécane (2,37%), isopropanol (2,21%), acétate de 3-méthylheptyle (1,98%), diméthylsulfone (1,85%), 4,4-diméthylhexanal (1,48%), BHT (1,42%), etc (Guo Hua et al., 2008).

II.3. Composition phytochimique

La bourse à pasteur est riche en neuf types d'éléments métalliques, dont le calcium, le magnésium, le zinc et le fer, et la teneur en β -carotène était de 1850 $\mu\text{g}/100$ g. (Xiaoyuan et al., 1993). Il contient des composés phénoliques et son matériel végétal est riche en kaempférol-3-O-rutinoside (valeur moyenne 2247,09 mg/kg de plante sèche), acide quinique (95628,00 mg/kg de plante sèche), arginine (valeur moyenne de 1,18 mg/kg de plante sèche), acide palmitique (284,48 mg/kg) et β -sitostérol (28 %), (Grosso et al., 2011). Il contient une large gamme de produits chimiques, notamment des flavonoïdes, des polypeptides, de la choline, de l'acétylcholine, de l'histamine, de la tyramine, des acides gras, des stérols, des acides organiques, des acides aminés, du sulforaphane, de nombreux oligo-éléments, des vitamines et de nombreux autres composés (Al-Snafi, 2015).

II.4. Importance thérapeutique

Capsella bursa-pastoris a exercé des effets antimicrobiens, anti-inflammatoires, antioxydants, cardiovasculaires, reproductifs, anticancéreux, hépato-protecteurs, sédatifs et autres effets pharmacologiques. (Al-Snafi, 2015). Elle a plusieurs activités antiradicalaires, inhibitrices de l'acétylcholinestérase et (Grosso et al., 2011). Dans une présente étude de (Soleimanpour et al., 2013) ou l'activité antibactérienne de *Capsella bursa-pastoris* a été évalué seule et également associée à *Glycyrrhiza glabra* contre six pathogènes. L'extrait de *C. bursa-pastoris* a montré une bonne activité antibactérienne contre ces six bactéries. *C. bursa-pastoris* mixé avec *G. glabra* sont suggérés comme candidats appropriés pour contrôler les caries dentaires et les infections endodontiques.

III. Production et culture

Comme *A. thaliana*, *C. bursa-pastoris* est auto-compatible et facile à cultiver et à propager (Hurka et al., 1989). La bourse à pasteur a une forte adaptabilité, une simple imitation de la culture sauvage, elle présente les caractéristiques d'un rendement élevé, d'une excellente qualité, d'une bonne saveur et d'un bon bénéfice (Yang et al., 2017). Elle a un cycle de croissance court et des techniques de culture simples, elle peut être semée une fois et récoltée plusieurs fois, et la production annuelle par mu peut atteindre 1 000 kg (Yu Xianliang, 2012).

Les techniques de culture à haut rendement de la bourse à pasteur ont été résumées à partir des aspects de la sélection des variétés, de la saison de semis, de la préparation du sol, des semis, des méthodes de culture, de la gestion des champs, de la lutte antiparasitaire et de la conservation des semences (Yujing et al., 2018). Pour sa culture elle a besoin d'un climat frais et humide. La température optimale pour la germination des graines est de 20-25°C, et la température optimale pour la croissance est de 12-20°C. Les plantes poussent rapidement à des températures autour de 15°C, et la récolte peut commencer 30 jours après le semis. Lorsque la température est inférieure à

10°C et supérieure à 22°C, la croissance est lente, la température est élevée et la qualité est médiocre. La bourse à pasteur a une forte résistance au froid et les plantes ne sont pas endommagées à -5 °C (Wang Yongxian, 2012).

IV. Caractéristiques botaniques

IV.1. Caractères morphologiques

La bourse à pasteur est une plante herbacée annuelle ou vivace de la famille des crucifères. Cette espèce est variable par la taille, la forme des fruits et des feuilles (Vandebroek, 2006). Elle mesure de 20-70 cm de haut, avec de nombreuses racines fibreuses, blanches. Tiges dressées, à pubescence blanche. Les feuilles sont pennées et les deux lobes sont irrégulièrement dentés. Racème, 4 pétales, blanc. Silique, plate, triangulaire inversée ou en forme de cœur inversé (figure 3). La floraison se fait de mai à juin, fructifiant de juin à juillet (Cuilan et al., 1996). L'espèce s'autopollinise principalement et est un semoir prolifique, avec des rapports de 11 000 à 400 000 graines produites par mètre carré (Hill, Renner et Sprague, 2014).

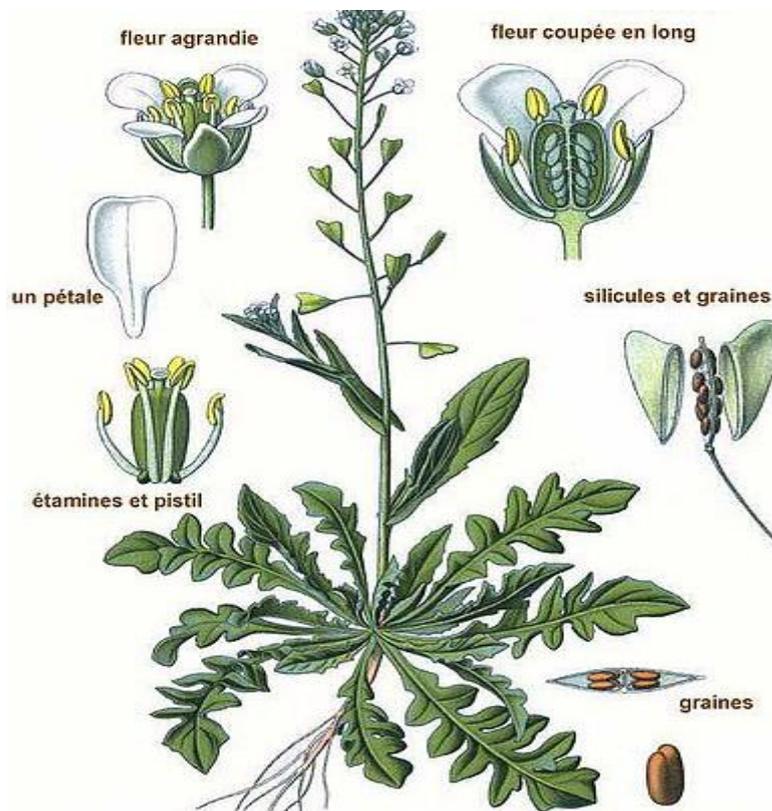


Figure 3 : *Capsella bursa-pastoris* (Amédée Masclef, 1858)

IV.1.1. Le système racinaire

Le système racinaire consiste en une seule racine pivotante blanche, mais souvent celle-ci se ramifie après environ 10 cm pour produire une racine secondaire plus fine. Le diamètre de la partie

proximale de la racine non ramifiée chez les plantes bien développées est d'environ 5 mm dans un sol profond et non compacté, la profondeur d'enracinement est d'environ 33 cm, mais dans un sol compacté et piétiné, les racines pivotantes deviennent tordues et plus courtes. Un réseau de racines fibreuses, avec des latérales de troisième ordre, naît des racines pivotantes, qui se ramifient parfois à nouveau vers la région distale. Le réseau de racines latérales est plus dense dans la région proximale que distale des racines pivotantes (Aksoy *et al.*, 1998).

IV.1.2. Les feuilles

Les deux à quatre premières feuilles sont opposées, rondes à ovales, sans dents ou légèrement dentées, et densément poilues (figure 4). (Charles L *et al.*, 2021). Les feuilles basilaires groupées, jusqu'à 10 cm de long, pennées, lobes terminaux plus grands, lobes latéraux plus petits, étroits et longs, apex acuminé, lobé ou irrégulièrement grossièrement dentelé, avec de longs pétioles, tiges et feuilles étroitement drapées En forme d'aiguille (Xie Qi *et al.*, 1984). Les feuilles caulinaires également de forme très variable et lobées mais enserrant toujours la tige avec des oreillettes basales aiguës (figure 5) (Aksoy *et al.*, 1998). Ces feuilles peuvent être ovales, amplexicaules, à deux oreillettes obtuses ou aiguës, bord des feuilles entier ou denté, 2-5,5 cm X 0,4-1,5 cm, (Karaismailoglu, 2019).



Figure 4 : Diversité morphologique au sein de feuilles basilaires égyptiennes de *Capsella* (Wafaa *et al.*, 2019).

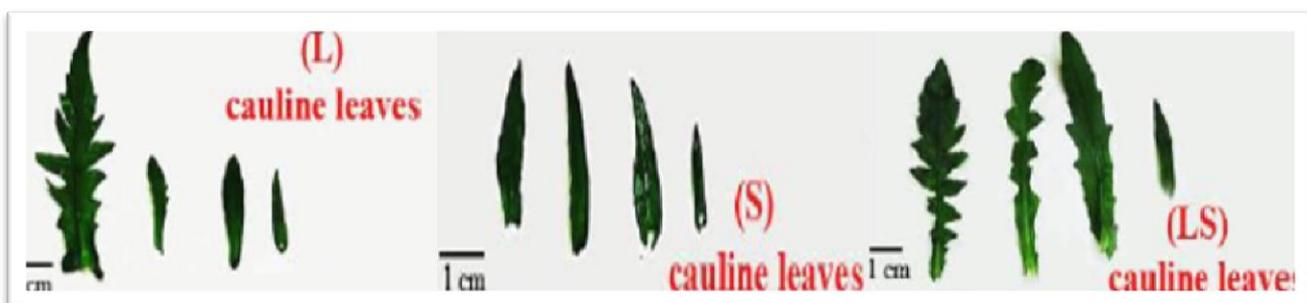


Figure 5 : Diversité morphologique au sein des feuilles caulinaire égyptiens de *Capsella* (Wafaa *et al.*, 2019).

IV.1.3. Les fleurs

Les fleurs de *C. bursa-pastoris* suivent l'architecture d'autres membres mieux connus de la famille des Brassicaceae, notamment *A. thaliana*. (Meyerowitz, 1991). La bourse a pasteur elle connue pour la présence de la variante homéotique « apétale » des pétales d'étamines (Spe) décrite depuis près de 200 ans (Nutt et al., 2006) comme la montre la (figure 6), l'architecture florale de *Capsella bursa pastoris*, (a) représente la fleur de *C. bursa-pastoris* de type sauvage, avec quatre sépales verts ressemblant à des feuilles dans le premier verticille le plus externe, quatre pétales blancs et voyants dans le deuxième verticille, six étamines dans le troisième verticille et deux carpelles fusionnés dans le quatrième, verticille la plus interne. (b) présente la fleur de la variété Spe, qui a la même structure que la fleur de type sauvage illustrée en (a), sauf que les pétales du deuxième verticille sont transformés en étamines. Les fleurs des plantes étaient caractérisées par 10 au lieu de six étamines (décandriques), indiquant que les pétales ne sont pas complètement perdus mais transformés en étamines supplémentaires (Opiz PM, 1821). Les inflorescences de *Capsella* sont racémeuses (forment des grappes) ou ébractées (manque de bractées); les sépales de fleurs sont dressés et les pétales sont généralement blancs (Fauche et Chamb, 2011), ces fleurs en longues grappes terminales, le rachis et le pédicelle s'allongeant à mesure que les graines mûrissent ; le calice rosâtre ou vert ; la corolle blanche ; les quatre pétales sont obovales, de 2 à 2,2 mm de long. Les pétales sont jusqu'à deux fois plus longs que les sépales poilus (Aksoy et al., 1998).

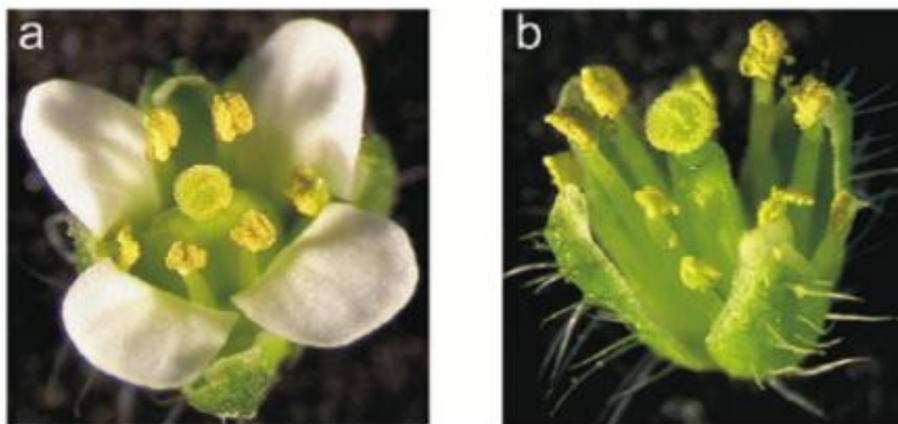


Figure 6 : Architectures florales chez *Capsella bursa-pastoris* (Hintz et al., 2006).

IV.1.4. Les fruits

Le fruit (figure 7) est une silicule à deux valves, séparée au centre par le replum. Les dimensions de la silicule varient entre 3,6 et 8,8 mm de largeur et 5,0-9,2 mm de longueur ; la silicule est triangulaire-obcordée, émarginée au-dessus, sur un pédoncule étalé de 5 à 20 mm de long. Il est entaillé au sommet des deux valves, qui tombent à maturité en laissant les petites graines attachées au septum mince, membraneux et elliptique (Aksoy et al., 1998). Bords du fruit droits ou légèrement convexes, aile absente, apex rond ou obtus, 4-10 mm X 2,5-8 mm, sinus apical large et

peu profond. Style ne dépassant pas le sinus ou de même longueur (**Karaismailoglu, 2019**). La composition globale des tissus des fruits est très préservée avec des valves renfermant les graines, un replum au centre du fruit et des marges de valve qui forment la frontière entre les valves et le replum (**Roeder et al., 2006**). Les fruits du genre *Capsella* développent des valves qui se prolongent à l'extrémité apicale, leur donnant un aspect en forme de cœur (**Eldridge et al., 2016**). Un exemple de variation des gousses est représenté sur la figure 7 montrant (A) silicule en développement avec des structures florales encore attachées à la base, (B) silicule mature, (C) silicule à 3 carpelles, (D) silicule à un carpelle.

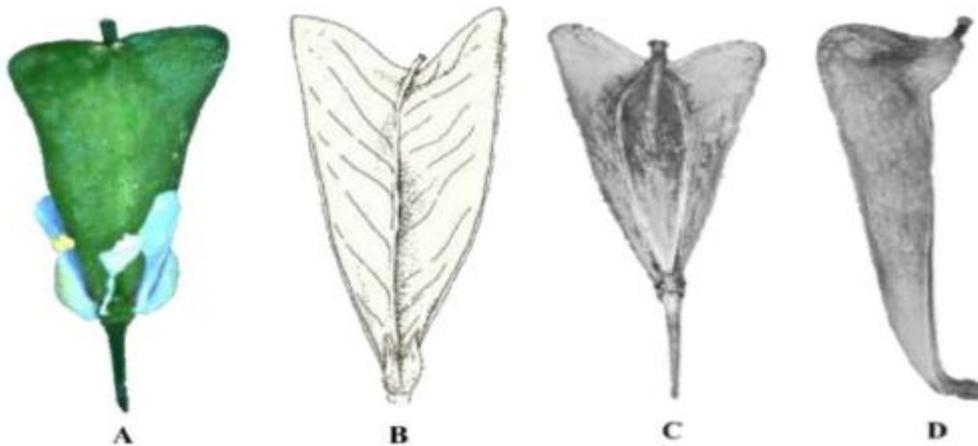


Figure 7 : Exemples de variation des gousses (**Levine, 1995**)

IV.1.5. Les graines

Les fruits de *Capsella* contiennent des graines elliptiques allongées (figure 8), dont il y a généralement 12 à 24 et parfois jusqu'à 40 dans les silicules angustiseptées, chaque graine ne pesant qu'environ 100 à 20 mg (**Pietro Iannetta, 2011**). Les graines oblongues et aplaties, rougeâtre foncé ou brun jaunâtre, avec deux rainures longitudinales séparant la face de la graine en trois parties presque égales, et minutieusement rugueuses, les graines mesurent 0,03 à 0,04 pouce de long sur 0,01 à 0,02 pouce de large (**Aksoy et al., 1998**). Les graines mouillées montrent que des cellules spécifiques à la surface des graines produisent du mucilage. Le mucilage des graines est à structure cellulosique et présente une forme hétérogène (**Karaismailoglu, 2019**).



ure 8 : Fruit et graine du taxon étudiés (**Karaismailoglu, 2019**)

IV.1.6. La tige

La tige est verte à violette, poilue vers la base et lisse à légèrement poilue sur le dessus, et elle n'a de feuilles que sur les parties inférieures, les tiges sont dressées et ramifiées (**Longjie et al., 2007**), ayant un diamètre de seulement 1mm. Il peut atteindre une longueur de 30 cm (**Henri Hus, 1914**).

IV.2. Caractères physiologique

Chez *C. bursa-pastoris*, c'est la période de floraison qui est un trait majeur qui contribue à la reproduction et à l'adaptation (**Roux et al., 2006**), car c'est le moment de la floraison qui est d'une grande importance pour la production de graines, et différentes stratégies de floraison peuvent avoir évolué en réponse aux conditions climatiques locales (**Engelmann et Purugganan, 2006**). Son cycle de reproduction rapide permet aux plantes de *C. bursa-pastoris* qui germent au début du printemps de produire jusqu'à trois générations de progénitures en une seule année (**Aksoy et al., 1998**). Elle s'adapte à différents environnements, en particulier aux basses températures, suggérant qu'elle possède une capacité de tolérance au froid relativement forte. La capacité de tolérance au froid est associée à l'accumulation de plusieurs transcrits induits par le froid. (**Ping et al., 2016**). Dans des expériences portant sur des changements de température, la réponse de germination à une température inférieures à environ 150 °C ont tendance à rompre la dormance (stratification) et les températures plus élevées, atteignant un optimum à environ 25-30C, ont tendance à accélérer la germination des graines non dormantes. (**Popay et al., 1970**). La signification que la durée du jour et les températures sont des signaux environnementaux clés qui affecte la différenciation de la période de floraison, c'est que les rythmes circadiens et les gènes de l'horloge circadienne jouent un rôle important dans l'évolution de la période de floraison. Et les plantes *C. bursa-pastoris* présentent des différences d'expression pour les gènes candidats susceptibles d'affecter la période de floraison dans le large éventail d'environnements auxquels elles sont confrontées (**Hui-Run Huang et al., 2012**).

IV.2.1. Embryogenèse

L'embryon de *Capsella* est l'exemple classique de l'embryon dicotylédone dont le développement a souvent été décrit. (**Hintz et al., 2006**). Après la fécondation et la formation du zygote, la cellule diminue légèrement de volume. Le zygote augmente rapidement de taille à mesure que les petites vacuoles chalazales présentes avant la fécondation commencent à s'agrandir. Les dictyosomes deviennent actifs et une paroi continue se forme autour du zygote. L'agrégation des ribosomes

commence et de nombreux polysomes se forment. La première division du zygote est inégale en raison de sa polarité marquée. Une grande cellule basale et une petite cellule terminale sont produites. La cellule basale se divise ensuite pour donner naissance à un embryon linéaire à trois cellules composées de la cellule basale, de la cellule suspensive et de la cellule terminale. La cellule terminale se colore plus intensément pour les protéines et l'ARN en raison du nombre accru de ribosomes. (Schulz et al., 1968a). Les dépôts d'amidon et de lipides qui s'accumulent dans la cellule terminale disparaissent après sa première division. La taille des cellules et le nombre d'organites par cellule diminuent avec les divisions répétées par la formation de l'embryon globulaire. Il n'y a pas de différences ultra structurales et histochimiques apparentes dans les cellules du protoderme, du procambium et du méristème fondamental jusqu'à la formation de l'embryon en forme de cœur (Schulz et al., 1968b). Les figures suivantes 9, 10 et 11 représentent schématiquement les stades du développement globulaire jusqu'à la formation d'embryon adulte, le stade globulaire 1 jusqu'à le stade intermédiaire entre 3 et 5 est caractérisée par une croissance longitudinale des cotylédons et de l'hypocotyle dans une moindre mesure, du stade 3 de la formation du cœur jusqu'au stade 6 "bâton de marche" elle est causée par les cotylédons ayant retourné dans le haut de l'ovule et à partir du stade 5 de formation de "torpille" ; les cotylédons sont aplatis les uns contre les autres et prennent la moitié de la longueur de l'embryon jusqu'à la formation d'embryon adulte 8 (Rijven, 1952).

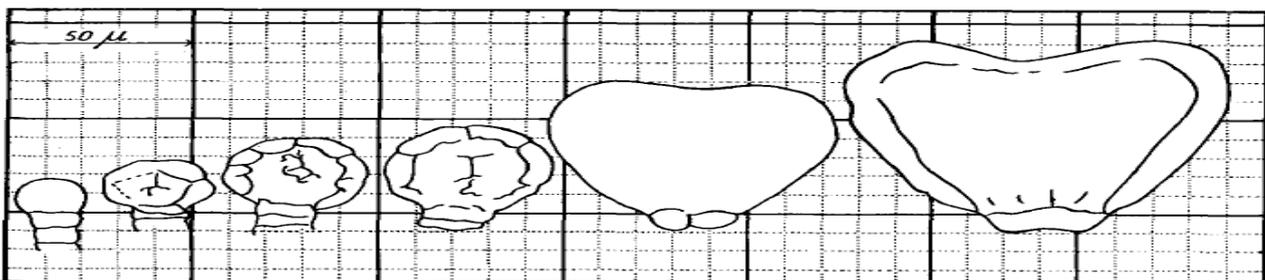


Figure 9 : du stade globulaire 1 jusqu'à le stade intermédiaire entre 3 et 5 (Rijven, 1952).

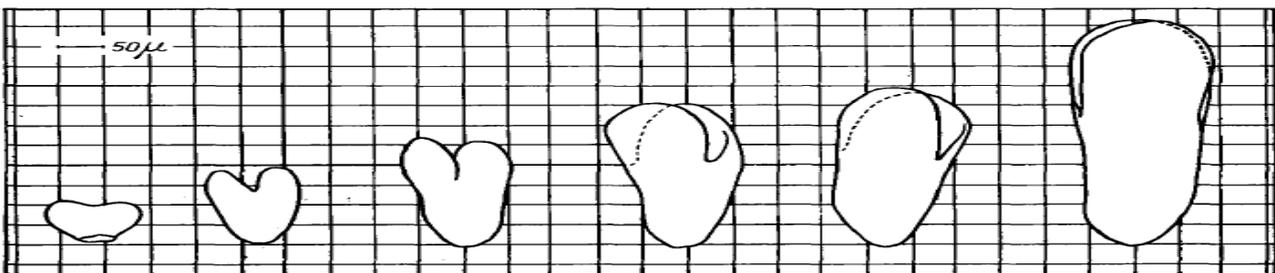


Figure 10 : stade 3 de la formation du cœur jusqu'au stade 6 "bâton de marche" (Rijven, 1952).

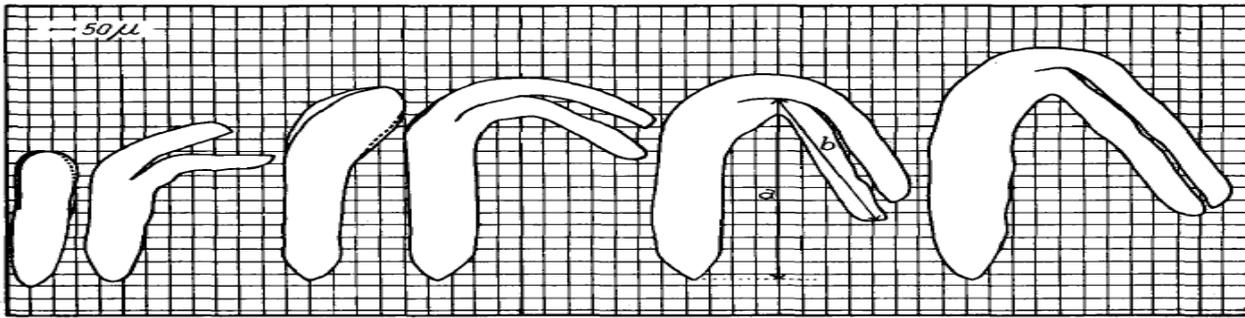


Figure 11 : stade 5 de formation de "torpille" jusqu'à la formation d'embryon adulte (Rijven, 1952).

IV.2.2. Germination

La bourse-à-pasteur a un forte capacité d'adaptation, un fort potentiel de croissance, une résistance aux températures relativement faibles (Xiangdong et al., 2005). Les graines enfouies de *Capsella bursa-pastoris* suivent un cycle annuel de dormance induite/non dormance. Les graines matures durant l'été demeurent non dormantes pendant l'automne et l'hiver. Les graines entrent en dormance induite au début du printemps, elles pourraient se comporter ainsi pendant la saison poussante dans des régions a air frais et humides (J. M Bask et al., 1988). La bourse à pasteur peut germer sous des conditions de pH4 et pH9, avec un potentiel hydrique dans la plage de 0 à -0,4 MPa, avec une concentration en sel, Pour la profondeur d'enfouissement, la profondeur de 5,0 cm, les graines de bourse à pasteur n'ont pas d'urgence (Juang et al., 2016). Il est suggéré que l'augmentation du dioxyde de carbone et la réduction des niveaux d'oxygène peuvent contribuer à l'inhibition des graines enfouies. Les nitrates et les nitrites, mais pas les ions ammonium, peuvent remplacer l'exigence de stratification dans certaines graines de *Capsella* (Popay et al., 1970). Pour la température de la germination des graines est de 20-25 °C, la croissance végétative nécessite une température de 12-20 °C et un court ensoleillement, et pousse bien dans des conditions de lumière suffisantes (Xiangdong et al., 2005).

V. Génétique de l'espèce

V.1. Génome mitochondriale

C. bursa-pastoris a une hérédité disomique, c'est est un allotétraploïde récent et constitue donc un organisme modèle idéal pour étudier les changements précoces après la polyploïdisation (Kasianov et al., 2017). L'assemblage et l'analyse du génome mitochondrial complet de *Capsella bursa-pastoris* ont permis de créer la carte du mitogénome de *C. bursa-pastoris* (figure 12), les blocs colorés sur l'axe circulaire désignent les gènes et les blocs blancs à l'intérieur sont des introns.

L'histogramme gris sur l'anneau intérieur montre la guanine-cytosine et les blocs blancs à l'intérieur sont des introns. L'histogramme gris sur l'anneau intérieur montre la composition en guanine cytosine (GC) avec la fine ligne gris foncé indiquant une teneur en GC de 50 %. Les arcs indiquent les répétitions associées aux variantes structurales : les suppressions sont rouges, les duplications sont jaunes, les inversions sont bleues et l'arc orange est une répétition, ce qui correspond à la fois à la suppression et à la duplication (Omelchenko et al., 2020). *C. bursa-pastoris* mesure un contig circulaire long de 287 799 pb avec un la teneur globale en GC de 44,74 % a été identifiée comme étant l'ADNmt. *C. bursa-pastoris* contient 32 gènes codant pour des protéines, 3 ARNr, 25 ARNt correspondant à 15 acides aminés et 8 cadres de lecture ouverts (ORF) soutenus par des données RNAseq. Au total, 377 sites d'édition d'ARN C à U ont été détectés. Tous les gènes sauf *cox1* et *atp8* contiennent des sites d'édition d'ARN, et la plupart d'entre eux conduisent à des modifications non synonymes d'acides aminés (Omelchenko et al., 2020).

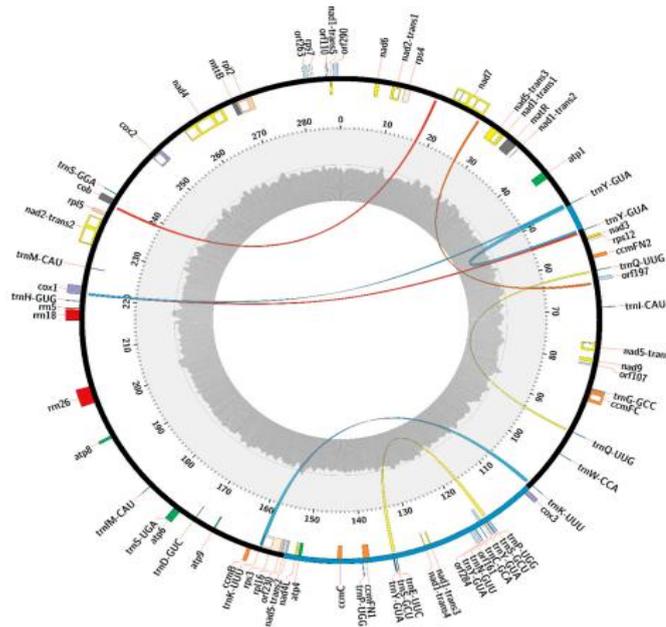


Figure 12 : Carte du mitogénome de *C. bursa-pastoris* (Omelchenko et al., 2020).

V.2. Caryotypes des génotypes de *C. bursa-pastoris*

Capsella bursa-pastoris est l'une des espèces tétraploïdes les plus prospères au monde, une étude en Egypte sur la cytogénétique de trois morphotypes (Lobed "L" ; Simple "S" et Lobed-Simple "LS") dépendant principalement de la structure des feuilles basilaires (figure 4) a révélé que les trois morphotypes identifiés sont trois génotypes distincts avec trois nombres chromosomiques différents (figure 13) ; $2n=3x=24$ (triploïde) ; $2n=2x=16$ (diploïde) pour « L » pour « S » ; $2n=4x=32$ (tétraploïde) pour "LS". Le caryotypage des trois génotypes a montré des différences significatives dans les longueurs relatives du génome et des chromosomes (Amer et al., 2020).

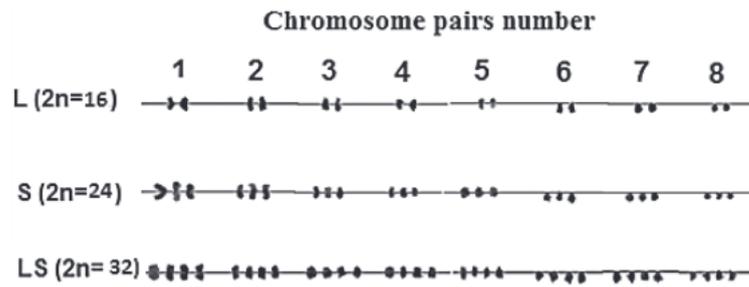


Figure 13 : Caryotypes des géotypes de *C. bursa-pastoris* (Amer et al., 2020).

V. 3. Gène responsable a la forme du cœur des fruits chez le genre *Capsella*

Les fruits présentent une vaste différence dans leur forme, on retrouve des cylindres des sphères et d'autres formes plus complexes. Chez la plante modèle d'*Arabidopsis thaliana* on retrouve une forme de fruit silique quasi-cylindrique, chez le genre *Capsella* le fruit développent des valves qui se prolongent à l'extrémité apicale, leur donnant cette aspect en forme de cœur. cette forme est une nouveauté morphologique qui a évolué après que *Capsella* et *Camelina* ont divergé d'*Arabidopsis* (figure 14) (Eldridge et al., 2016).

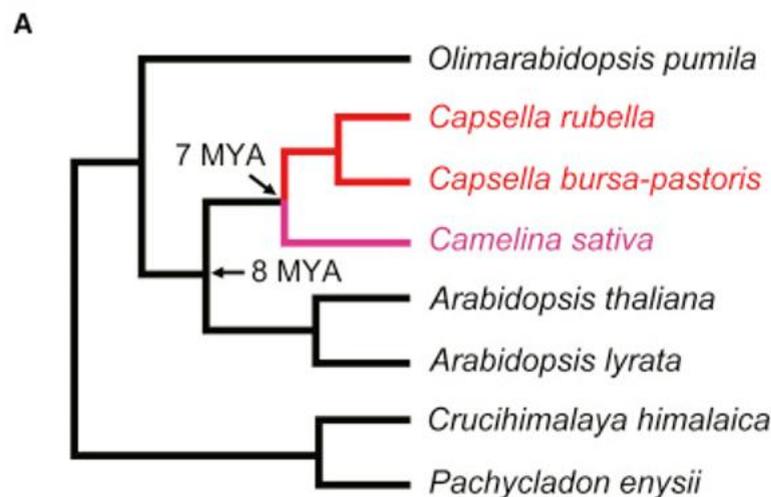


Figure 14 : Effet de *CrIND* et de la manipulation des niveaux d'auxine sur la forme du fruit *Capsella* (Eldridge et al., 2016).

Les fruits aident à protéger les graines en développement et facilitent la dispersion une fois qu'elles sont mures, une poignée de facteurs de transcription ALCATRAZ (ALC), SHATTERPROOF1, 2 (SHP1/2), et INDÉHISCENT (IND), sont connus pour diriger la différenciation correcte des tissus nécessaires à l'ouverture des fruits, le rôle de chacun des gènes sont fondamentalement conservés mais une récente étude a montré que lorsque l'IND est supprimé, les fruits ne s'ouvrent plus pour libérer les graines mais aussi le cœur perd l'expansion distale des valves latérales. Comme le montre la figure 15, une étude comparative entre l'expression du gène IND chez *Capsella rubella* et chez *Arabidopsis* a montré que chez *Arabidopsis*, l'expression du gène IND est limitée à la marge

de la valve, où elle dirige la formation de la zone de déhiscence qui permet l'ouverture du fruit à maturité. Chez *Capsella*, IND est exprimé non seulement dans la zone de déhiscence, mais également dans la partie distale de la valve, entraînant la synthèse locale d'auxine dans ce domaine pour favoriser la croissance apicale. Chez les mutants *Capsella* IND, la forme du cœur et les zones de déhiscence sont perdues (Ferrandiz C, 2019). Et puisque l'IND est liée à la signalisation de l'auxine d'autre étude ont montré qu'une modification post-traductionnelle initié par la protéase SUMO qui contrôle l'activité du régulateur du développement des fruits (IND). Cette modification post-traductionnelle offre une transduction qui assure une biosynthèse d'auxine localisée dans les valves de fruits pour finalement former le cœur chez *Capsella* (Dong et al., 2020).

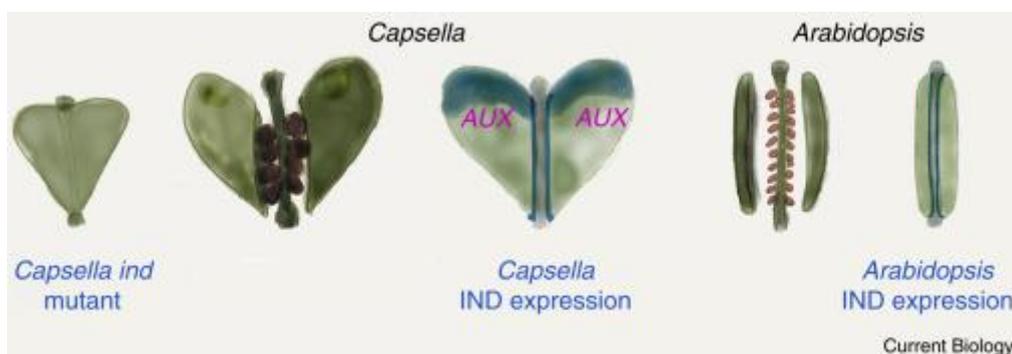


Figure 15 : L'expansion du domaine d'expression de l'IND entraîne la croissance apicale des fruits en forme de cœur de *Capsella* (Ferrandiz C, 2019).

VI. Ecologie :

La bourse-à-pasteur est une plante qu'on retrouve sur les terrains incultes, les jardins, les pelouses et en bordure des routes. En agriculture, elle est souvent présente dans les champs de céréales. Elle croît dans tous les types de sol et de climat, mais est intolérante aux inondations. C'est une plante qui a besoin de lumière pour germer et croître. (Bouchard et al., 1998).

VI.1. Conditions climatiques et édaphiques :

VI.1.1. Exigences climatiques

Capsella bursa-pastoris est adaptée à un large éventail de microclimats dans le monde, mais il est plus fréquent dans les régions tempérées fraîches et chaudes (subtropicales). Cependant, l'espèce est également bien adaptée aux conditions de sécheresse. *Capsella bursa-pastoris* est limité aux régions plates ou en pente douce, mais est plus courant sur les pentes exposées au sud (Hafsa T et al.,

2021). Il a un très faible potentiel de reproduction et de nutriments dans les sols inondés et ne peut pas survivre à des conditions d'humidité extrême (Julve.ph, 2021).

VI.1.2. Substrat

Capsella bursa-pastoris pousse dans divers types de sols (Hafsa T et al., 2021), elle est présente sur des sols allant de l'argile au loam sableux avec un pH de 5-8 (Julve.ph, 2021.) mais est absent des régions avec un pH du sol inférieur à 5 (Hafsa T et al., 2021).

Aksoy et al, 1998 ont dressé une liste des types de sols où *C. bursa-pastoris* a été signalé, notamment : les sols serpentins, loess, les sols limoneux sableux alcalins, sol limoneux sableux enrichi en carbonate de calcium, sol humide riche en humus en Corée, des sols contaminés par le cadmium. *Capsella* a un très faible potentiel de reproduction et de nutriments dans les sols inondés et ne peut pas survivre à des conditions d'humidité extrême (Julve.ph, 2021).

VI.2. Altitude

Capsella bursa-pastoris a été retrouvé en Afrique de l'Est dans les années 1932, dans un endroit à 2600 m d'altitude, elle est distribuée en Afrique à une altitude de 1600-2500 (-3000) mètres (Julve, 2021).

VII. Usage

VII.1. Usage médicinale

VII.1.1. Utilisation interne

Capsella bursa pastoris elle constitue plusieurs action thérapeutique, elle est hémostatique c'est-à-dire qu'elle agit sur les règles trop abondantes, notamment au moment de la puberté et de la période ménopausée, en cas d'hématurie (présence de sang dans les urines) et d'hémoptysie (présence de sang dans les voies respiratoires), elle est connue aussi pour son action circulatoire car elle soulage les personnes souffrant du syndrome des jambes lourdes, de varices ou d'hémorroïdes, et elle a une action astringente, elle aide à lutter contre les infections urinaires telles que la cystite et contre les diarrhées (PORTA, 2008).

VII.1.2. Utilisation externe

Comme utilisation externe on sait que la bourse-à-pasteur stoppe les saignements spontanés ou consécutifs à des blessures et favorise la cicatrisation des plaies (PORTA, 2008). Elle s'utilise comme un sirop ou une teinture et elle peut être cuisinée (Maria Terben, 1985).

VII.2. Usage alimentaire

Cette plante est riche en nutriment alimentaire, elle est cuisinée sous différentes recettes. Les racines sont consommées, mais devient vite fibreuses, les graines servent de condiment, mais leur récolte est fastidieuse, les feuilles de la rosette jeunes ont un goût salé un peu piquant, elles se consomment crues en salade ou cuites en soupe, la tige est plus fibreuse, elles ne sont mangées que cuites (soupe) ou utilisées en infusion et pour l'inflorescences elles servent qu'à décoré les salades ou se mangent tel quel (**François couplan, 2015**).

VIII. Toxicité

Dans l'ensemble, la bourse à pasteur est considérée comme sûre avec peu d'effets secondaires. Certaines autorités sanitaires conseillent aux personnes ayant des antécédents de calculs rénaux d'être prudentes lorsqu'elles utilisent la bourse à pasteur, car elle contient de l'oxalate, un composé naturel qui peut se lier au calcium et favoriser la formation de tartre, aussi ces conseillé de ne pas être utilisée pendant la grossesse et lors de l'allaitement en raison d'un manque de recherche sur la sécurité car il n'existe aucune preuve publiée d'effets secondaires graves associés à l'utilisation de la bourse à pasteur (**Ferreira et al., 2017**).

Partie expérimentale

IV. Présentation des zones d'études

La zone étudiée Tlemcen (figure 16) est située dans la partie nord-ouest de l'Algérie, à environ 40 km de la mer Méditerranée. Elle est délimitée au nord par la mer méditerranéenne, au sud par la wilaya de Naâma, à l'est par la wilaya de Sidi Bel Abbès et la wilaya d'Oran et à l'ouest, elle est frontalière avec le Maroc. Elle a une altitude de 830 m, une longitude de 1,191 et une latitude de 34,561.

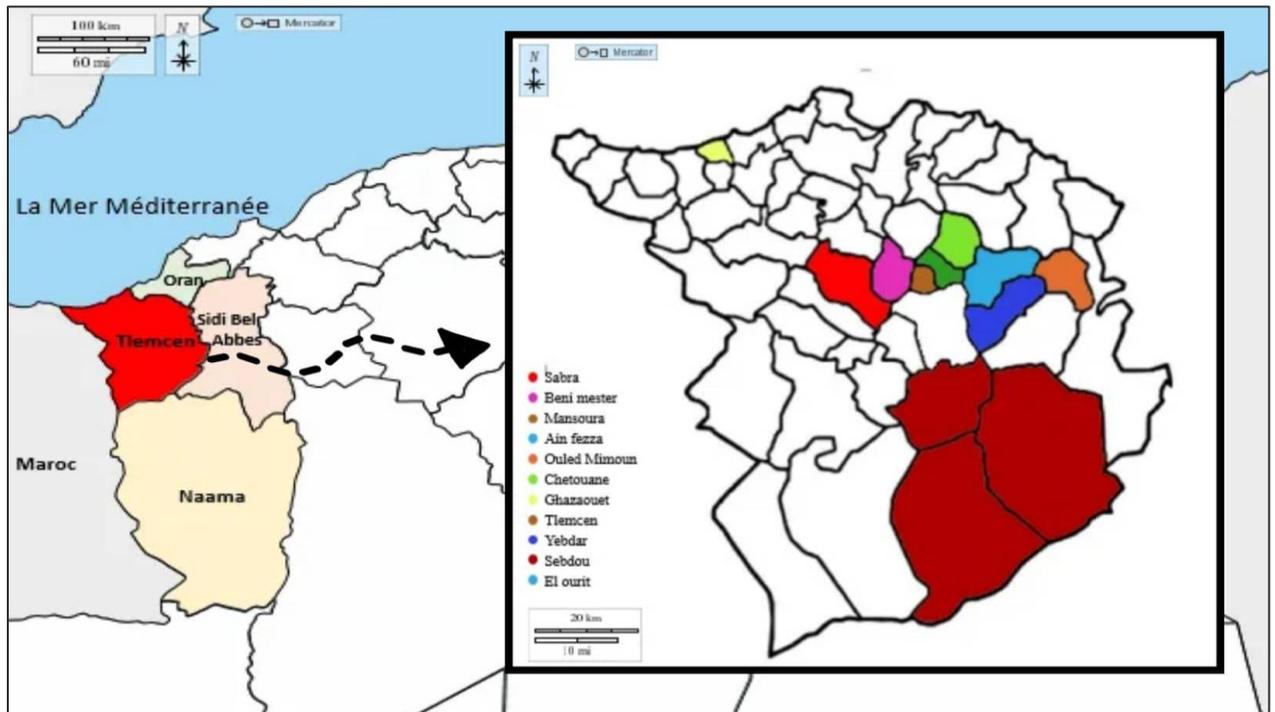


Figure 16 : Situation géographique des stations d'études.

Capsella bursa-pastoris on la trouve un peu partout dans la wilaya de Tlemcen. On a choisi 11 stations selon les différents niveaux d'altitudes tableau 2 :

Par l'ouest, Sabra qui est voisine de Tlemcen par une distance de 20 km, Beni mester par une distance de 9.2 km et Mansourah de 2.7 km.

Par l'est, Ouled Mimoun se trouve d'une distance de 21 km, Yebdar de 17 km, Ain fezza de 8 km et El ourit de 7 km du centre de Tlemcen.

Par le nord-est, Chetouane prend une distance de 4.4 km du centre de Tlemcen.

Par le nord-ouest, Ghazaouet est espacé de 72 km du centre de Tlemcen.

Par le sud, Sebdu est situé à 38 km du centre de Tlemcen.

Au centre de la wilaya de Tlemcen, le boulevard colonel Lotfi qui est dans le territoire de la commune de Tlemcen, situé au centre de sa wilaya.

Tableau 2 : Situation géographique des stations d'études.

Station	Altitude (m)	Latitude (n)	Longitude (w)
<u>Ain fezza</u>	1143	34.881979	-1.237177
<u>El ourit</u>	1139	34.8640355	-1.2665361
<u>Sebdou</u>	909	34.654425	-1.329401
<u>Yebdar</u>	881	34.8328809	-1.1759857
<u>Tlemcen</u>	815	34.8838952	-1.3132944
<u>Ouled mimoun</u>	700	34.8995837	-1.0272458
<u>Beni mester</u>	697	34.86174	-1 43839
<u>Sabra</u>	593	34.840357	-1.485997
<u>Chetouane</u>	574	34.8403570	-1.48599
<u>Mansoura</u>	428	34.6544249	-1.3294010
<u>Ghazaouet</u>	20	35.083339	-1.841319

I.1. Contexte géographique, géologique et topographique

I.1.1. Présentation de la commune d'Ain Fezza

La commune d'Ain Fezza (figure 17) tire son nom de la source locale appelée « Ain Sakhra ». Ce territoire est limité au Nord par Amieaur et Sidi Abdelli, à l'Est par la commune d'Ouled Mimoun, l'Ouest par les communes de Tlemcen et Chetouane et au Sud par la commune d'Oued Lakhdar.



Figure 17 : Site d'échantillonnage dans la station d'Ain fezza (Khebichat Nihad, 2022)

Sols, à Ain fezza selon (PDAU, 2010), le sol est formé de terrains d'âge secondaire, carbonatés, surtout jurassiques. Dans les sous bassins d'Ain Fezza les sols sont des formations essentiellement sédimentaires qui sont constituées par des roches carbonatées.

Hydrographique, La ville d'Ain Fezza est située au piémont du djebel Tichtiouine, Sidi Merzoug et djebel Beni Yagoub, Gadt Dissboukri où la majorité des affluents se déversent dans les cours d'eau appelés oued Darrouh et Oued Derdar (PDAU, 2010).

Relief, la commune Ain fezza est représentée par deux types de relief qui sont la zone montagneuse au Sud vers l'Est Ouest est lié au massif des monts de Tlemcen et la plaine., il y'a deux ensembles montagneux un au Nord du bassin versant de direction Nord Sud formé par (Djebel Rmailia, Djebel Baoumar, Djebel Ghar Boudjebar) et un au Sud du bassin versant d'orientation Est Ouest formé par Djebel Hanif, Djebel Dokara, Djebel Medrara (PDAU, 2010).

Source : selon (PDAU : plan directeur d'aménagement et d'urbanisme).

I.1.2. Présentation de la région d'El ourit

Sur le chemin des grottes, dans la commune de Ain Fezza, se situe une région saisie d'une cascade d'eau appelé El Ourit (figure 18).



Figure 18 : Site d'échantillonnage dans la station El Ourit (Khebichat Nihad, 2022)

I.1.3. Présentation de la commune de Sebdou

La commune de Sebdou (figure 19) est située dans les piémonts de la chaîne montagneuse de Tlemcen, elle est limitée au Nord par les communes Terni Beni Hediél et Oued Chouly, au sud par les communes d'El Aricha, El GOR et Sidi Djilali, à l'Est par la commune de Beni Smiel et par l'Ouest par les communes Ain Ghorab, Azaili.



Figure 19 : Site d'échantillonnage dans la station de Sebdou,
(Dali Youcef Imen, 2022)

Le relief de Sebdou se compose de deux ensembles, le bassin Sebdousien (900 à 950 mètres) relativement plane où les pentes ne dépassent pas 10 % et le cadre montagneux de l'Atlas tellien, aux sommets duquel l'altitude varie entre 1800 et 1000 m (Benyoub Mohamed, 2009).

L'hydrographie de la commune dispose des eaux souterraines telles que les sources Aïn Sidi Aissa, Aïn Berdil et Ain Sahraoui (Benyoub Mohamed, 2009). Et des eaux superficielles qui traversent les oueds de Kicole, guettar hassel, Tafna, oued Sebdou, Oued kadous et Oued Taoudlala (Bouchelkia Hamid, 2015). A part oued Tafna, le reste des oueds subissent des écoulements intermittents mais quelque fois violente, causant des inondations fréquentes.

I.1.4. Présentation de la région de Yebdar

La région de Yebdar (figure 20) fait partie de la commune d'Oued Lakhdar, elle est située dans l'Est de la wilaya de Tlemcen. Elle est limitée au Nord par la commune d'Ouled Mimoun, au sud par Terni Beni Behdel et Sebdou, à l'Est par la commune de Beni Smiel et à l'ouest par la commune d'Ain Fezza.



Figure 20 : site d'échantillonnage de la station de Yebdar
(Dali Youcef Imen, 2022)

I.1.5. Présentation de la station centre de Tlemcen

La station d'étude (figure 21) s'agit du Boulevard colonel Lotfi place du 1^{er} mai qui se situe au centre de Tlemcen à côté de la grande poste.



Figure 21 : site d'échantillonnage de la station de Tlemcen
(Dali Youcef Imen, 2022)

I.1.6. Présentation de la commune de Chetouane

La commune de Chetouane (figure 22) représente la partie nord de l'agglomération de Tlemcen. Elle se situe au Nord-Est de Tlemcen. Elle est limitée au Nord-Ouest par la commune d'Hénnaya au Nord-Est par la commune d'Amieur, au Sud -Est par la commune d'Ain Fezza et au Sud-Ouest par la commune de Tlemcen.



Figure 22 : Site d'échantillonnage dans la station de Chetouane
(Dali Youcef Imen, 2022)

I.1.7. Présentation de la commune d'Ouled Mimoun

Ouled Mimoun (figure 23) est située sur l'axe des piémonts Nord de Tlemcen, elle est limitée au Nord par la commune de Sidi-Abdelli ; au Sud par la commune de Beni-Smiel, à l'Est par la commune d'Ain-Tellout et à l'Ouest par la commune d'Oued-Lakhdar.



Figure 23 : site d'échantillonnage de la commune de Ouled mimoun (Khebichat Nihad, 2022)

Relief, la commune de Oueled el mimoun est représenté par deux ensembles physiques : une zone de plateaux céréaliers et de plaine qui s'étendant vers le nord et une zone de montagne faisant partie de Monts de Tlemcen dépeuplée et à faible couverture forestière (**Benziane, 2016**).

Sols, il s'agit de deux types qui sont les marno-calcaires, c'est une formation qui est développée au sommet de série carbonatée du jurassique supérieure, la limite supérieure est matérialisée par une corniche de calcaire et la limite inférieure elle est placé à l'apparition des grès de Merchiche, sur le rebord sud du plateau de Terny. Les argiles correspondent au mésocrétacé à dominance argilo-gréseuse, la limite supérieure se place à l'apparition du banc gréseux ou dolomitique de la formation de grès « Berthlot » et la limite inférieure se situe au toit de la dernière assise calcaire de maroncalcaire d'Ouled Mimoun. (**Yahlali et al., 2017**).

Hydrographie, la commune d'Ouled Mimoun draine une partie des eaux des monts de Tlemcen et elle est marqué par le passage d'Oued Khelfoune, Oued Isser et Oued Chouly (**Benziane, 2016**).

I.1.8. Présentation de la commune de Sabra

Sabra (figure 24) est une commune de la wilaya de Tlemcen, elle est limitée au Nord par Ouled riyah, à l'Ouest et au sud par Bouhlou et à l'Est par Terny Beni Hdiel.



Figure 24 : site d'échantillonnage de la station de Sabra
(Khebichat Nihad, 2022)

I.1.9 Présentation de la commune de Beni mester

La commune de Beni Mester (figure 25) est située à l'Ouest du centre de Tlemcen, elle est limitée au Nord par Zenata et Henanya, à l'Ouest elle par Sabra, à l'Est par Mansourah et au sud par Sabra et Terny beni hdiel.



Figure 25 : site d'échantillonnage de la station de Beni mester
(Khebichat Nihad, 2022)

I.1.10. Présentation de la commune de Mansoura

La commune de Mansourah (figure 26) par rapport à la ville actuelle, elle est limitée à son extrême Ouest. Sa délimitation est par le Nord chemin de fer Tlemcen Maghnia et extension de quartier Imama, par l'Est le quartier Riet el kebir par l'Ouest les vergers et ensemble d'équipement d'importance locale et régionale. Et au Sud : le quartier de wali Moustapha.



Figure 26 : site d'échantillonnage de la station de Mansoura (Khebichat Nihad, 2026)

I.1.11. Présentation de la commune de Ghazaouet

La commune de Ghazaouet (figure 27) est située au Nord de la wilaya de Tlemcen, à 60 km de l'aéroport international « Messali El-Hadj » -Tlemcen, Elle est limitée au nord par la mer méditerranéenne, à l'Est par Yaghmoracen, à l'ouest par Souahlia et au sud par Tienet.



Figure 27 : Site d'échantillonnage dans la station de Ghazaouet (Dali Youcef Imen, 2022)

Les sols, la commune de Ghazaouet dispose de plusieurs types de sols. Notamment, aux niveaux des alluvions sableuses anciennes on retrouve un sol de grès qui dispose des cinérites. A la sortie de la ville on peut apercevoir des basaltes post-miocènes forment des couches rouges et des coulées, ces couches rouges sont aussi retrouvées au-dessus des grès du miocène. De de part et d'autre de la vallée de l'Oued Ghazouana dépassant la ville de Ghazaouet, ces les grès grossiers qui sont présents et puis au niveau du port, le calcaire est nettement visible (SEMPEP, 2004).

L'hydrographie de la station de Ghazaouet dispose de trois bassin, Oued Abdellah a l'ouest de la ville, Oued El kelba a l'est et Oued Ghazouana (MATE, 2006), Ce dernier se déverse au milieu du port mixte de cette commune se trouve au fond d'une anse sablonneuse de 400 mètres de creux et de 1300 mètres d'ouverture (Grimes, 2004).

Relief, dans la ville de Ghazaouet, les pentes sont fortes atteignant de 10 à 12% et dans la zone basse de la ville à l'embouchure de l'Oued les pentes sont faibles ($I < 2\%$). Plus au Nord-Est le plateau de Sidi Amar est plat. Il est de forme triangulaire dont la base atteint 1500 mètres. Le plateau a des pentes au sommet inférieures à 1.5%. Vers l'Ouest de la ville, les plateaux d'Addas et Argoub présente des pentes entre 5 à 12%. Le bassin versant d'oued Ghazouana se réformé par des pentes fortes et il se caractérise par un relief accidenté (**MATE, 2006**).

I.2. Contextes climatiques et bioclimatiques

I.2.1. Températures et précipitation

I.2.1.1. Températures et précipitation de Ain fezza

- Selon la station de Chouly qui est la station la plus proche d'Ain fezza, cette région sera caractérisée par un été relativement chaud et sec et un hiver humide et pluvieux (**Aissa madaoui Oussama, 2016**), la température moyenne annuelle de cette région est de règle de 14.25° (**NAOO, 2021**).
- L'ensemble du printemps et de l'hiver forme une saison humide ou s'effectuerait la plus grande partie des écoulements (**Aissa madaoui Oussama, 2016**), Les précipitations moyennes annuelles de cette région sont en règle 1078 mm (**NAOO, 2021**).

I.2.1.2. Températures et précipitation de El ourit

- La température moyenne annuelle de cette région est de règle de 14.87° (**NAOO, 2021**).
- Les précipitations moyennes annuelles de cette région sont en règle 1078 mm (**NAOO, 2021**).

I.2.1.3. Températures et précipitation de Sebdou

- Il s'agit d'un climat méditerranéen froid, influencé par les caractéristiques du milieu steppique et montagneux (**Bouchelkia Hamid ; 2015**), La température moyenne annuelle de cette région est de règle de 15.87° (**NAOO, 2021**).
- Les précipitations se traduisent par des pluies très concentrées au cours de la saison d'hiver et par un été xérothère (**Sidi-Mohammed et al, 2017**) Les précipitations moyennes annuelles de cette région sont en règle de 312 mm (**NAOO, 2021**).

I.2.1.4. Températures et précipitation de Yebdar

- La température moyenne annuelle de cette région est de règle de 14.25° (**NAOO, 2021**).

- La commune d'Oued lakhdar représente une saison pluvieuse allant en moyenne d'Octobre à Mai et par un été chaud et sec (**Gherissi et Radia, 2012**), la précipitation moyenne annuelle de cette région est de règle de 312 mm (**NAOO, 2021**).

I.2.1.5. Températures et précipitation de Tlemcen :

- Le climat de Tlemcen est chaud et tempéré (**Ghaffour et al, 2020**), La température moyenne annuelle de cette région est de règle de 14.25° (**NAOO, 2021**).
- Le climat pendant l'hiver, il se caractérise par de fortes précipitations (**Ghaffour et al, 2020**), la précipitation moyenne annuelle de cette région est de règle de 454 mm (**NAOO, 2021**).

I.2.1.6. Températures et précipitation de Ouled mimoun

- Le climat d'Ouled Mimoun est dit tempéré chaud en été (**Benziane ; 2016**), la température moyenne annuelle de cette région est de règle de 18.41° (**NAOO, 2021**).
- Les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver (**Benziane ; 2016**), les précipitations moyennes annuelles de cette région sont en règle 343 mm (**NAOO, 2021**).

I.2.1.7. Températures et précipitation de Beni mester

Elle se caractérise par un climat méditerranéen, appartient à l'étage bioclimatique semi-aride à hiver doux (**Bessenouci et Mesli, 2018**).

- La température moyenne annuelle de cette région est de règle de 15.37° (**NAOO, 2021**).
- Les précipitations moyennes annuelles de cette région sont en règle 312 mm (**NAOO, 2021**).

I.2.1.8. Températures et précipitation de Sabra

- La température moyenne annuelle de cette région est de règle de 15.87° (**NAOO, 2021**).
- Les précipitations moyennes annuelles de cette région sont en règle 312 m (**NAOO, 2021**).

I.2.1.9. Températures et précipitation de Chetouane

- La température moyenne annuelle de cette région est de règle de 15.87° (**NAOO, 2021**).
- Les précipitations moyennes annuelles de cette région sont en règle 312 mm (**NAOO, 2021**).

I.2.1.10. Températures et précipitation de Mansourah

- La température est douce en hiver et tempérée par la brise de mer en été (Noui et al, 2018), la température moyenne annuelle de cette région est de règle de 14.87° (NAOO, 2021).
- La précipitation est assez élevée généralement dans toutes les saisons d'année sauf pour la période estivales (Noui et al, 2018), les précipitations moyennes annuelles de cette région sont en règle 518 mm (NAOO, 2021).

I.2.1.11. Températures et précipitation de Ghazaouet

- Les moyennes mensuelles des températures confirment que Janvier est le mois le plus froid à Ghazaouet et que Juillet et Août sont les mois les plus chauds avec le manque de précipitations (Djebaili, 1984), la température moyenne annuelle de cette région est de règle de 18.87° (NAOO, 2021).
- La commune de Ghazaouet pratique un régime saisonnier du type HAPE avec une sécheresse et une abondance pluviale associée à un second minimum au printemps et un maximum de précipitations en automne (Djebaili, 1984), les précipitations moyennes annuelles de cette région sont en règle 312 mm (NAOO, 2021).

V. Objectif des études

Nous avons deux objectifs dans cette étude, le premier est de caractériser l'espèce bourse à pasteur « *Capsella Bursa-Pastoris* » sur le plan morphologique, au niveau de la wilaya de Tlemcen, pour cela nous avons pris 11 stations avec un total de 107 échantillons pris au hasard de cette espèce, la caractérisation faite sera basée sur des critères quantitatifs et qualitatifs avec un totale de 17 critère discriminant. Le 2eme objectif est d'analyser par le biais de la bioinformatique le gène IND responsable à la formation de la forme du cœur chez le genre *Capsella*, ce gène a été obtenu grâce à la base donnée NCBI sous forme FASTA, ainsi que la séquence génomique et protéique ont été sauvegardé. Les gènes IND des deux espèces *Arabidopsis thaliana* et de *Capsella rubella* ont été obtenues à partir du Phytozome de JGI. Les informations sur la position du locus d'un total de 22 membres de la famille de gènes ont été sélectionné par le site en ligne MOTIF (Searching Protein Sequence Motifs), les séquences protéique et génomique, les séquences CDS du gène IND de *Capsella* ont été obtenues en même temps par l'outil Blast et la région codante par le logiciel TBtools.

Les Objectifs des études à atteindre sont :

II.1. Morphométrie

- Une approche révélatrice de la variabilité génétique par l'étude biométrique (caractère quantitatifs).
- Une analyse descriptive des caractères phénotypiques selon les régions.

II.2. Génomique

- Rechercher les familles de gènes IND liés à la formation de la forme du cœur chez *Capsella*.
- L'analyse à l'échelle du génome les gène IND de *Capsella rubella*.
- Analyse des propriétés physicochimiques de base, recherche sur l'emplacement physique du gène dans le chromosome, construction de la structure du gène et de l'arbre phylogénétique, réalisation d'alignement pour la comparaison des séquences et analyse de la distribution des domaines fonctionnels du gène IND.
- Fournir une base théorique pour une recherche plus approfondie des fonctions biochimiques et physiologiques de la famille du gènes IND de *Capsella*.

VI. Matériels et méthodes

III.1. Morphométrie

III.1.1. Station d'études

Les plantes sont collectées sur un ensemble de 11 stations qui sont dans l'arrangement suivant :
Ain fezza, El ourit, Sebdou, Yebdar, Tlemcen, Ouled mimoun, Beni mester, Sabra, Chetouane, Mansourah, Ghazaouet.

Tableau 3 : Les étages bioclimatique des Stations d'études

Commune	Wilaya	Nombre d'enquêtes	Étage bioclimatique
Ain fezza	Tlemcen	10	Semi-aride supérieur à hiver tempéré
El ourit	Tlemcen	10	Humide
Sebdou	Tlemcen	10	Semi-aride à hiver frais
Yebdar	Tlemcen	10	Semi-aride a été chaud
Tlemcen	Tlemcen	10	Semi-aride supérieur à hiver tempéré
Ouled mimoun	Tlemcen	8	Semi-aride
Beni mester	Tlemcen	10	Semi-aride
Sabra	Tlemcen	9	Semi-aride
Chetouane	Tlemcen	10	Semi-aride supérieur
Mansourah	Tlemcen	10	Semi-aride sec
Ghazaouet	Tlemcen	10	Semi-aride à hiver chaud

III.1.2. Critère du choix

- Les critères de choix des stations expérimentales ont été basés sur les différentes altitudes et sur sa disponibilité.
- La durée d'échantillonnage a été basée sur la période de la floraison.

III.1.3. Programme des Sorties

Au total nous avons réalisés 12 sorties sur terrain durant 1 mois, du mois d'Avril 2022 jusqu'au Mai 2022, les sorties ont concerné :

- La prise des échantillons des plantes de chaque station.
- Réalisation des mesures morphométriques sur les différents paramètres à étudier.

III.1.4. Échantillonnages et mesures morphométriques

Pour la réalisation de cette étude, nous avons effectué des sorties sur terrain dans les 11 stations choisies. Un dispositif a été pris à raison de 8 à 10 plantes dans chaque région, sur lesquelles nous avons réalisé des mesures biométriques. Au total 107 échantillons et une quantité de 1.6953 Kg de plantes de bourse à pasteur a été utilisé pour notre étude.

Seize caractères (Paramètres quantitatifs) relatifs à la plante et à ses composantes ont été mesurés ; et un seul paramètre qualitatif (tableau 4).

Tableau 4 : Paramètres quantitatifs et qualitatifs étudiés

Échantillonnages	Paramètres
107	<p style="text-align: center;">Paramètres quantitatifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La hauteur de la plante (HP) - Longueur de feuilles basale (LLB) - Largeur de feuilles basale (SWB) - Longueur de feuille cauline (LLC) - Largeur de feuille cauline (SWC) - Nombre de feuilles basales (LNB) - Nombre de feuilles caullines (LNC) - Surface des feuilles basales (LAB) - Surface des feuille caulines (LAC) <ul style="list-style-type: none"> - Nombre des fruits (NF) - Longueur de fruit (CL) - Largeur de fruit (CW) - Nombre des fleurs (NI) - Poids sec des plante (DLW) - Surface spécifique des feuilles basales (SLAB) - Surface spécifique des feuilles colline (SLAC) <p style="text-align: center;">Paramètre qualitatif :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Couleur de l'inflorescence (IC)

III.1.4.1. Paramètres quantitatifs

III.1.4.1.1. Mesure de la hauteur de la plante (HP)

Il s'agit de mesurer la plus longue tige de la plante (figure 28) à partir de collet à son bourgeon terminal à l'aide du mètre ruban, la hauteur mesurer était de 8cm à 70cm.

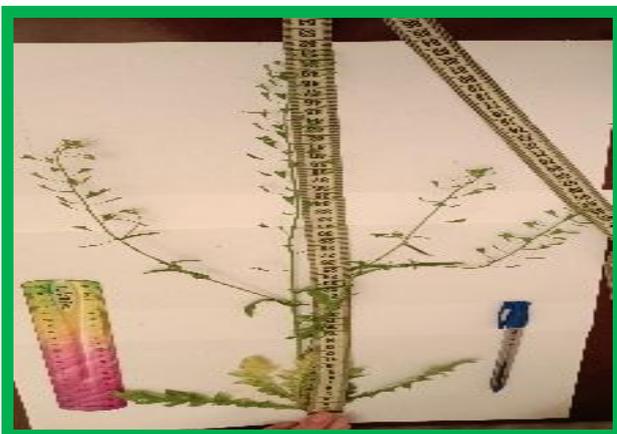


Figure 28 : Mesure de la hauteur de la plante (Dali Youcef Imen, 2022)

III.1.4.1.2. Mesure de la longueur et de la largeur des feuilles basales et collines /plante (LLB, LLC, SWB, SWC)

Il s'agit de mesurer la longueur (figure 30) et la largeur (figure 29) des feuilles de chaque plante à l'aide d'un pied à coulisse ou bien du logiciel image J.



Figure 29 : mesure de la largeur de la feuille avec le logiciel Image j (Khebichat Nihad, 2022)



Figure 30 : mesure de la longueur de la feuille avec le logiciel Image j (Khebichat Nihad, 2022)

III.1.4.1.3. Mesure du poids sec/plante

Il s'agit de laisser la plante à l'air pour la sécher de l'eau (figure 31), la briser à l'aide d'un mortier et pilon ou manuellement, puis la peser avec une balance analytique (figure 32)



Figure 31 : Séchage des échantillons dans des enveloppes (Khebichat Nihad, 2022)



Figure 32 : Pesage de la plante grâce à une balance analytique (Dali Youcef Imen, 2022)

III.1.4.1.4. Mesure de longueur et largeur de fruits

Il s'agit de mesurer la longueur (figure 33) et la largeur (figure 34) des fruits de chaque plante à l'aide d'un pied à coulisse ou image J



Figure 33 : mesure de la longueur du fruit par le logiciel Image j (Khebichat Nihad, 2022)



Figure 34 : mesure de la largeur du fruit par le logiciel Image j (Khebichat Nihad, 2022)

III.1.4.1.5. Mesure de la surface de feuilles basales et caulines (LAB, LAC)

La surface est calculée en multipliant la longueur de la feuille par sa largeur

- $LAB = LLB \times SWB$
- $LAC = LLC \times SWC$

III.1.4.1.6. Mesure de la surface spécifique de feuilles basales et caulines (SLAB, SLAC)

La surface spécifique de feuilles basale (figure 36) et caulines (figure 35) ont été calculé et le calcul se fait en divisant la surface de la feuille sur le poids de la plante

- $SLAB = LAB \div DLW$
- $SLAC = LAC \div DLW$
- $SLAC = LAC$



Figure 35 : les feuilles caulines (Khebichat Nihad, 2022)



Figure 36 : les feuilles basales. (Khebichat Nihad, 2022)

III.1.4.1.7. Mesure de nombre de fruit de chaque plante (NF) à l'œil nu**III.1.4.1.8. Mesure de nombre de fleur de chaque plante (NI) à l'œil nu****III.1.4.2. Paramètre qualitatif****III.1.4.2.1. La couleur des fleurs**

Toutes les fleurs (figure 37) sont blanches dans les stations étudiées



Figure 37 : les fleurs de *Capsella bursa-pastoris* (Dali Youcef Imen, 2022)

III.1.5. Analyses statistiques

Les mesures morpho métriques ont été analysées par le logiciel SPSS.

Les données recueillies ont fait l'objet d'analyses statistiques suivantes :

- Analyse descriptive.
- ANOVA : Analyse de la variance des caractères quantitatifs.
- ACP : Une analyse en composantes principales, utilisée pour montrer la corrélation entre les variables quantitatives.
- CAH : classification hiérarchique ascendante ou Dendrogramme phylogénétique (méthode UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic) réalisé sur la base des distances génétiques calculées entre les différents échantillons de bourse a pasteur.
- L'indice de Shannon Weaver (SI).

III.2. Génomique**III.2.1. Acquisition d'informations de base sur la famille de gènes IND de *Capsella***

Les informations génétiques de base telles que la masse moléculaire, le point isoélectrique théorique, l'indice d'hydrophilie et la longueur des résidus d'acides aminés des séquences d'acides aminés de IND ont été analysée en ligne avec ExPASy. La localisation, la direction ainsi que le

début et terminaison des gène sur le chromosome ont été obtenue par la base de données Phytozome avec la description de chaque gène. Le nombre d’Intron et d’Exon a été obtenue par le logiciel TBtools par la réalisation du graphe de structure des gène grâce au fichier GFF3 obtenue auparavant dans la base de données Phytozome. La prédiction de la localisation de chaque gène a été obtenues par la base de données CELLO (Subcellular Localization Predictive System) et la carte thermique a été construite avec Wolf PSORT (Sushuang et al., 2022).

III.2.2. Emplacement chromosomique du gène IND de *Capsella rubella*

Les informations sur l'emplacement du gène IND de *Capsella rubella* sur le chromosome ont été obtenues à partir de la base de données du génome de *Capsella* par Phytozome, la plateforme PhenoGram Plot a été utilisé pour dessiner la carte de distribution physique du gène IND de *Capsella* sur le chromosome (Sushuang et al., 2022).

III.2.3. Analyse phylogénétique et analyses des domaines fonctionnel

Nous avons construit deux arbres phylogénétiques pour classer les gènes IND de *Capsella*. Le premier ne contenait que des séquences protéiques HLH de *Capsella* et le second comprenait également des séquences HLH d'*Arabidopsis thaliana*, de *Capsella grandiflora* et de *Thlaspi arvense*. L'alignement de séquences multiples de toutes les séquences de protéines CarubHLH prédites a été effectué avec le logiciel MEGA7 en utilisant les paramètres par défaut. Les arbres phylogénétiques ont été construits avec la méthode Neighbor-Joining (NJ), et le paramètre de contrôle Bootstrap =1 000. Utilisation de Pfam 32.0 pour la recherche en ligne la présence de domaines fonctionnels (domaines) de séquences de protéines IND de *Capsella*. L'alignement multiple a été coloré par le logiciel Gendoc (Yong et al., 2013).

Résultats et interprétations

I. Résultats et interprétations morphométrique :

Les mensurations ont été analysées selon le logiciel SPSS v 25 et l'effet de la région a été comparé par le test d'ANOVA a 1 seul facteur. L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée afin de regrouper les individus homogènes qui portent les mêmes caractères étudiés en se basant sur les mensurations corporelles pour différencier les échantillons selon ces critères et l'indice permettant de mesurer la diversité spécifique (SI) a été réaliser. Enfin, pour obtenir le nombre optimal de groupes, une classification hiérarchique ascendante (CAH) a été utilisée. Ces tests ont été traités par le logiciel SPSS (version 25).

I.1. Analyse descriptive

Les moyennes, les écarts-types, les minimas, les maximas, l'erreur standard et la variance des mensurations sur des *Capsella bursa pastoris* sont rapportés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Analyse descriptive des mensurations chez *Capsella Bursa Pastoris* étudiée

Caractères / Variables	Moyenne	Ecart type	Erreur standard	Variance	Maximum	Minimum
HP	30,30	13,14	1,27	172,82	70,00	8,00
NF	99,10	81,37	7,86	6621,41	427,00	14,00
NI	26,81	38,76	3,74	1502,38	181,00	0,00
LNB	9,79	4,18	0,40	17,49	24	2
LNC	19,71	12,51	1,21	156,69	68	4
LLB	4,92	2,46	0,23	6,09	10,92	0,52
SWB	2,85	16,28	1,57	265,23	169,58	0,10
LAB	19,17	104,22	10,07	10862,73	1084,80	0,14
LLC	3,15	1,28	0,12	1,66	6,27	0,52
SWC	0,72	0,35	0,03	0,12	1,81	0,09
LAC	2,91	2,33	0,22	5,45	11,44	0,14
DLW	1,58	1,31	0,12	1,72	8,11	0,22
CL	9,01	8,24	0,79	68,00	48,34	0,42
N	107					

La hauteur de la plante (HP), nombre de fruit (NF), nombre de fleurs (NI), nombre de feuilles Basale (LNB), nombre de feuilles caulline (LNC), longueur de feuille basale (LLB), largeur de feuille basale (SWB), surface de feuille basale (LAB), longueur de feuille caullines (LLC), largeur de feuille caulline (SWC), surface de feuilles caullines (LAC), poids sec (DLW), longueur de fruit (CL).

Le tableau 5 présente des informations statistiques descriptives quantitatifs des échantillon pris, on observe que le caractère HP présente des valeurs moyennes allant de 8 pour la région sebdou a 70

pour la région de Ain Fezza avec une moyenne de 30 ; NF de 14 pour la région Ghazaouat a 427 pour la région de Tlemcen avec une moyenne de 99 ; NI de 0 pour la région Ouled Mimoune a 181 pour la région de Tlemcen avec une moyenne de 26.81 ; LNB de 2 pour la région El Ourit a 24 pour la région de Tlemcen avec une moyenne de 9.79 ; LNC de 4 pour la région Sabra a 68 pour la région de Ain Fezza avec une moyenne de 19.71 ; LLB de 0.52 pour la région Sabra a 10.92 pour la région de Yebdar avec une moyenne de 4.92 ; SWB de 0.10 pour la région Sabra a 169.58 pour la région de Beni Mester avec une moyenne de 2.85 ; LAB de 0.14 pour la région Sabra a 1084.80 pour la région de Beni Mester avec une moyenne de 19.17 ; LLC de 0.52 pour la région Sabra a 6.27 pour la région de Yebdar avec une moyenne de 3.15 ; SWC de 0.09 pour la région Sabra a 1.81 pour la région de Tlemcen avec une moyenne de 0.72 ; LAC de 0.14 pour la région Sabra a 11.44 pour la région de Yebdar avec une moyenne de 2.91 ; DLW de 0.22 pour la région Ouled Mimoune a 8.11 pour la région de Ain Fezza avec une moyenne de 1.58 ; CL de 0.42 pour la région Sabra a 48.34 pour la région de Ouled Mimoune avec une moyenne de 9.01

I.2. Variation des individus

L'analyse en composante principale (ACP) a été réalisée, sur les caractères étudiés. Le résultat de cette analyse a montré que ces caractères ont présentées 54,69% de l'inertie totale sur les deux axes, ce qui est relativement moyen (Tableau 6).

Tableau 6 : Valeurs propres

Composante	Valeurs propres initiales			Sommes extraites du carré des chargements		
	Total	% de la variance	% cumulé	Total	% de la variance	% cumulé
1	5,725	35,783	35,783	5,725	35,783	35,783
2	3,026	18,910	54,693	3,026	18,910	54,693

L'analyse des paramètres étudiés montre que les deux axes présentent respectivement 54.69 de l'inertie totale.

L'axe 1 (35,78%) : est représenté par les variables suivantes : HP, NF, NI, LNB, LNC, LLB, LLC, LAC, SWC, DLW, CL, CW, SLAC.

L'axe 2 (18,91%) : est représenté par les variables suivantes : SWB, LAB, SLAB

Et selon la figure 38 et la figure 40 nous constatons que les caractères des deux axes ont une corrélation positive, on observe que les surfaces des feuilles basales, la largeur des feuilles basales et la surface spécifique des feuilles basales ont une forte corrélation positive entre eux, on remarque aussi que la largeur des feuilles caullines et la surface des feuille caullines sont très corrélé positivement et le nombre de fruits et le nombre de fleur ainsi que le nombre des feuilles collines ont aussi une forte corrélation entre eux. Ces résultats suggèrent que pour les caractères qui sont corrélé entre eux ont un certain nombre de gène en commun.

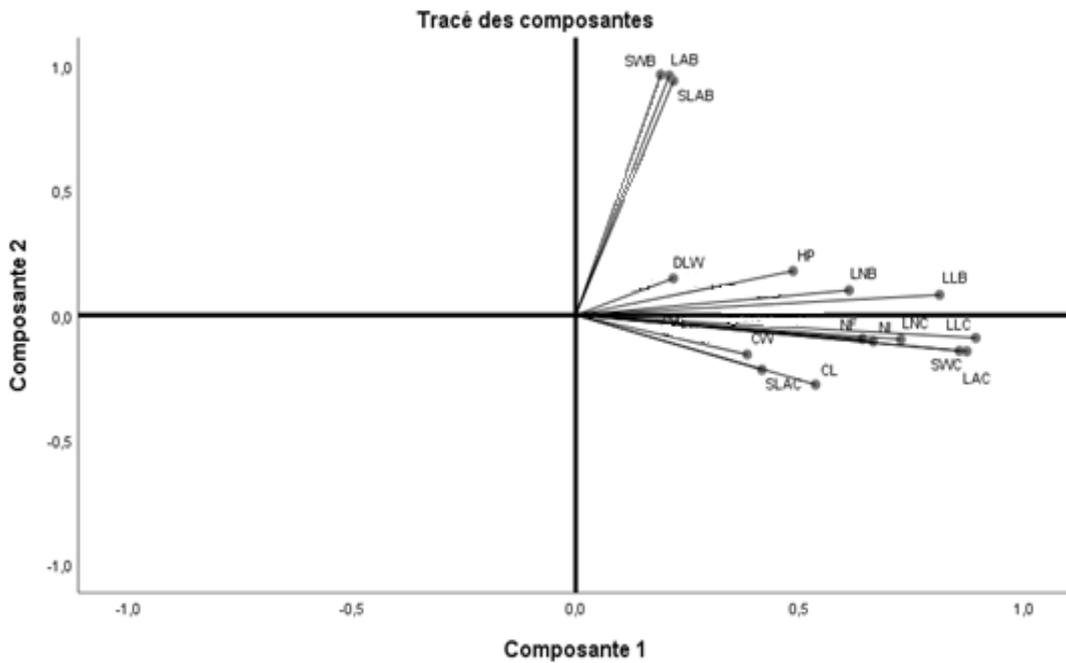


Figure 38 : Présentation des mensurations phénotypique par ACP chez *Capsella bursa pastoris*.

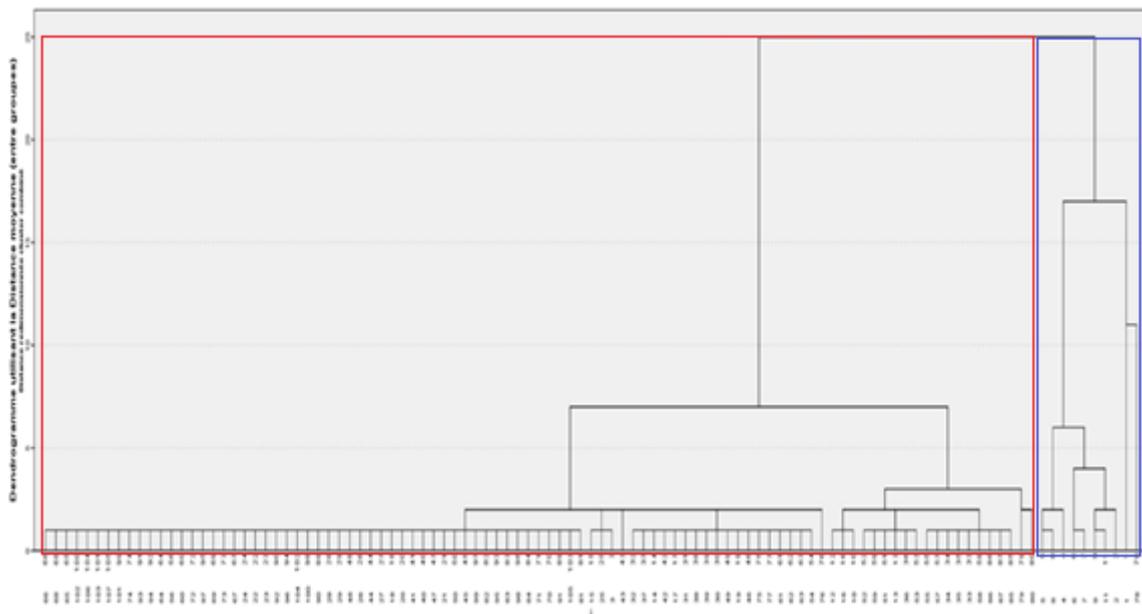


Figure 39 : Arbre hiérarchique utilisant la distance moyenne (entre classes) chez la population *Capsella Bursa Pastoris*

L'arbre hiérarchique (figure 39) a permis de déterminer les 2 classes. La 1^{ère} classe est encadrée en rouge et la 2^{ème} classe est encadrée en bleu.

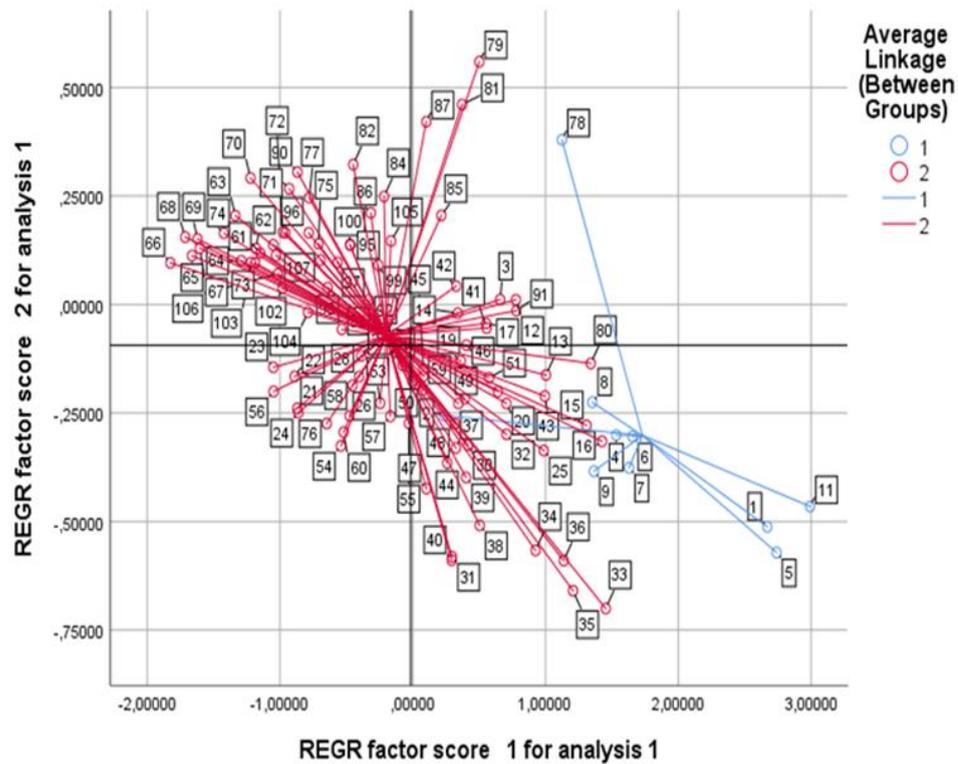


Figure 40 : Présentation des caractères de *Capsella Bursa Pastoris* par ACP

Tableau 7 : Classification des caractères de *Capsella Bursa Pastoris* par ACP

	Classe 01	Classe 02
N	10	95
HP	40,99± 9,08	28,94±13,02
NF	272,20±88,88	80,35±55,89
NI	126,90±55,02	16,12±14,84
LNB	16±5	9±4
LNC	43±12	17±10
LLB	7,11±1,89	4,67±2,41
SWB	2,07±0,38	1,20±0,70
LAB	16,49±5,96	8,42±6,71
LLC	4,68±1,10	2,97±1,21
SWC	1,09±0,43	0,69±0,32
LAC	5,64±3,35	2,61±2,04
DLW	2,92±1,93	1,42±1,16
CL	1,421±0,49	0,864±0,836
CW	0,536±0,18	0,37±0,574
SLAB	6,84±3,08	9,06±8,23
SLAC	2,32±3,23	3,12±3,23

La hauteur du plante (HP), nombre de fruit (NF), nombre de fleurs (NI), nombre de feuilles Basale (LNB), nombre de feuilles caulline (LNC), longueur de feuilles basales (LLB), largeur de feuilles basales (SWB), surface de feuilles basales (LAB), longueur de feuilles caullines (LLC), largeur de feuilles caullines (SWC), surface de feuilles caullines (LAC), poids sec (DLW), longueur de fruit (CL), surface spécifique de feuille caulline (SLAC), surface spécifique de feuille basale (SLAB), largeur fruit (CW), longueur fruit (CL),

Selon le tableau 07 :

Classe 01 : Le nombre de plantes de cette classe est de 10 échantillons, on observe que pour la hauteur de la plante, la plus grande hauteur par échantillons est de moyenne de $(40,99 \pm 9,08)$ cm, et pour le nombre des fruits, le plus grand nombre est de $(272,20 \pm 88,88)$ cm, concernant le nombre des fleurs, le nombre le plus grand est de $(126,90 \pm 55,02)$, et pour les feuilles basales la moyenne est (16 ± 5) cm et pour les feuilles caullines, sont plus grand nombre est de moyenne de (43 ± 12) .

Classe 02 : Les 95 plantes de cette classe constituent la majorité de la population étudiée, ils ont un format moins important que les plantes de la première classe (Tableau 7).

I.3. Variation des variables selon la région

Les mensurations sur *Capsella Bursa Pastoris* étudiées dans les 11 régions (El Ourit, Ain Fezza, Yebdar, Sebdou, Tlemcen, Ouled Mimoun, Chetouane, Sabra, Beni Mester, Ghazaouat, Mansourah) sont présentes dans le tableau 8. On aperçoit qu'il n'existe pas des différences significatives pour les paramètres : la surface du largeur des feuilles basale (SWB), surface des feuilles basale (LAB) et la surface spécifique des feuilles basale (SLAB) entre les plantes des 11 régions ($p > 0,05$), pour les autres caractères, il y'a une différence très hautement significative ($P \leq 0,05$) (tableau 8).

Tableau 8 : variation des variable selon la région.

Région	Tlemcen	Yebdar	Sebdou	Chetouane	Ghazaouat	El ourit	Sabra	Ouled mimoun	Ain Fezza	Beni mester	Mansoura h	P
N	10	10	10	10	10	10	9	8	10	10	10	***
HP	37,00±4,67	38,00±8,43	14,20±5,20	30,60±4,78	26,08±9,57	22,95±5,13	17,73±4,60	38,42±10,36	53,14±12,67	33,48±9,77	22,13±7,09	***
NF	232,00±102,3	123,50±71,17	42,70±21,13	116,70±56,11	61,80±38,27	145,60±70,20	58,88±30,85	63,12±31,81	141,20±97,93	53,50±43,30	39,90±17,55	***
NI	129,90±45,48	36,40±28,17	13,30±7,87	17,70±10,82	17,50±16,74	24,50±16,22	6,11±5,10	2,50±2,20	10,50±5,01	15,30±11,29	14,30±7,16	***
LNB	14,50±4,40	12,30±3,12	8,20±3,88	7,10±2,18	12,80±4,15	5,80±2,78	6,89±1,61	8,25±1,66	12,10±3,98	8,40±2,41	10,70±4,00	***
LNC	37,10±7,60	23,80±13,83	20,00±10,05	17,50±5,58	22,10±11,28	22,60±9,89	6,89±2,14	8,00±1,51	25,90±20,10	12,30±3,19	17,00±6,70	***
LLB	6,82±14,49	8,85±0,99	4,24±2,32	4,91±0,89	6,33±1,70	3,79±1,66	1,09±0,37	2,90±0,92	6,05±1,87	4,91±1,96	3,40±0,91	***
SWB	2,07±0,48	2,23±0,25	1,11±0,65	1,12±0,31	1,78±0,47	0,92±0,41	0,23±0,09	0,61±0,23	1,64±0,62	18,03±53,25	0,88±0,34	NS
LAB	15,76±5,47	20,60±3,92	7,12±5,31	8,72±2,66	13,12±5,46	6,64±3,05	0,42±0,23	2,26±1,16	12,02±6,99	115,34±340,65	3,68±1,81	NS
LLC	4,37±1,02	4,27±0,80	2,81±0,80	4,56±0,58	3,55±0,56	3,08±0,46	0,93±0,43	1,58±0,58	3,20±0,71	3,38±1,31	2,33±0,42	***
SWC	1,01±0,37	1,04±0,28	0,69±0,25	1,23±0,22	0,89±0,08	0,60±0,06	0,21±0,10	0,31±0,10	0,60±0,11	0,67±0,24	0,55±0,12	***
LAC	4,79±2,72	5,05±2,47	2,22±1,46	6,41±1,93	3,48±0,91	1,93±0,43	0,32±0,24	0,71±0,40	2,13±0,81	2,81±1,99	1,44±0,54	***
DLW	2,18±0,75	1,03±0,48	0,65±0,29	0,67±0,23	0,90±0,59	1,20±0,58	1,88±1,02	1,09±1,00	4,51±1,65	1,69±0,73	1,50±0,66	***
CL	15,64±1,46	18,03±1,83	12,56±2,94	14,09±1,10	16,08±2,01	12,28±0,74	0,56±0,09	6,59±16,86	0,61±0,07	0,70±0,07	0,60±0,06	***
CW	6,02±0,21	5,35±0,64	5,21±0,60	5,24±0,37	5,42±0,83	5,87±0,22	0,47±0,05	0,41±0,03	5,72±16,76	0,51±0,27	0,48±0,04	***
SLAB	7,49±2,50	22,53±7,61	12,30±8,25	13,89±4,41	16,23±6,10	5,92±2,31	0,29±0,30	5,43±5,13	2,73±1,31	56,58±162,51	2,59±1,35	NS
SLAC	2,10±0,65	5,19±1,90	3,58±1,67	10,05±2,52	4,72±2,31	1,95±1,01	0,22±0,28	1,43±1,53	0,51±0,20	1,80±1,01	1,01±0,37	***

La hauteur du plante (HP), nombre de fruit (NF), nombre de fleurs (NI), nombre de feuilles Basale (LNB), nombre de feuilles caulline (LNC), longueur de feuilles basales (LLB), largeur de feuilles basales (SWB), surface de feuilles basales (LAB), longueur de feuilles caullines (LLC), largeur de feuilles caullines (SWC), surface de feuilles caullines (LAC), poids sec (DLW), longueur de fruit (CL), surface spécifique de feuille caulline (SLAC), surface spécifique de feuille basale (SLAB), largeur fruit (CW), longueur fruit (CL).

I.4. Indice de Shannon pour les traits quantitatifs

Tableau 9. Indice de diversité de Shannon pour l'échantillon à l'étude.

Trait	H'
HP	0,998617
NF	0,999396
NI	0,991609
LNB	0,941307
LNC	0,967792
LLB	0,999396
SWB	0,999905
LAB	0,999655
LLC	0,999396
SWC	0,999396
LAC	0,878244
DLW	0,999396
CL	0,999655
CW	0,999396
SLAB	0,999655
SLAC	0,999396
Mean	0,985763082

(H') : *Indice de Shannon*

Les seize traits étudiés ont montré des niveaux de diversité similaires (entre 0,87 et 0,99), Il est également noté que cet indice est relativement fort, reflétant probablement une forte diversité génétique.

Cette forte diversité génétique remarquable est due au statut de cette espèce spontanée considérée comme mauvaise herbe trouvée un peu partout et surtout à sa valence écologique (capacité d'une espèce animale ou végétale à tolérer la variation écologique plus ou moins grande).

II. Résultats et interprétations génomique

II.1. Informations de base du gène IND de *Capsella*

Les membres du gène IND de *Capsella* ont été obtenus en recherchant dans la base de données Phytozome, et un total de 22 gènes de la sous-famille de base Helix Loop Helix (bHLH SF) de *Capsella* ont été obtenus, qui ont été nommés CarubHLH-22 (tableau 10). Les séquences CDS et les séquences protéique et génomique correspondant à ces 22 gènes ont été obtenues en recherchant dans la base de données du génome du *Capsella rubella* par Phytozome, et les propriétés physicochimiques de base des séquences protéiques ont été obtenues par analyse en ligne des séquences d'acides aminés avec ExPASy.

Tableau 10 : Les informations de base sur la famille de gènes IND dans *Capsella*

Transcript ID	Gene Name	Chr	Location	Start-End	Strand	CDS (bp)	Protein length (A.A)	Protein Molecular Weight (kDa)	pI	GRAVY	No of Intron/Phytozome description
Carub.0001s0887.1	CarubHLH-1	1	3149915..3152777	Forward	1599	532	57987.38	5.79	-0.766	5.6	K12126 - phytochrome-interacting factor 3 (PIF3)
Carub.0001s2893.1	CarubHLH-2	1	10641751..10642683	Reverse	837	278	32104.35	5.44	-0.515	1.2	PTHR16223:SF49 - TRANSCRIPTION FACTOR BHLH52-RELATED
Carub.0001s2625.1	CarubHLH-3	1	9486197..9487300	Forward	777	258	29071.73	6.17	-0.63	3.4	PTHR16223//PTHR16223:SF9 - FAMILY NOT NAMED // TRANSCRIPTION FACTOR BHLH139-RELATED
Carub.0007s0956.1	CarubHLH-4	7	3641718..3644155	Forward	939	312	32907.67	6.34	-0.428	5.6	PTHR16223//PTHR16223:SF28 - FAMILY NOT NAMED // TRANSCRIPTION FACTOR BHLH66-RELATED
Carub.0007s0311.1	CarubHLH-5	7	1149154..1151305	Forward	1110	369	39974.24	6.5	-0.695	6.7	PTHR12565:SF92 - TRANSCRIPTION FACTOR SPATULA
Carub.0007s3298.1	CarubHLH-6	7	14987237..14988429	Forward	672	223	24824.9	9.12	-0.657	5.6	PTHR16223//PTHR16223:SF9 - FAMILY NOT NAMED // TRANSCRIPTION FACTOR BHLH139-RELATED
Carub.0007s0656.1	CarubHLH-7	7	2441510..2443083	Forward	1062	353	38722.42	4.93	-0.832	4.5	PTHR11514//PTHR11514:SF47 - MYC // TRANSCRIPTION FACTOR ABA-INDUCIBLE BHLH-TYPE-RELATED
Carub.0004s2921.1	CarubHLH-8	4	14393186..14395190	Reverse	1731	576	64167.01	5.98	-0.496	0.1	PTHR11514//PTHR11514:SF47 - MYC // TRANSCRIPTION FACTOR ABA-INDUCIBLE BHLH-TYPE-RELATED
Carub.0004s0359.1	CarubHLH-9	4	1620651..1623572	Reverse	1056	351	36916.16	6.11	-0.398	5.6	PTHR16223//PTHR16223:SF28 - FAMILY NOT NAMED // TRANSCRIPTION FACTOR BHLH66-RELATED
Carub.0003s2879.1	CarubHLH-10	3	12022616..12024384	Reverse	969	322	35900.66	5.13	-0.871	4.5	PTHR16223//PTHR16223:SF9 - FAMILY NOT NAMED // TRANSCRIPTION FACTOR BHLH139-RELATED
Carub.0003s2062.1	CarubHLH-11	3	7395904..7398583	Reverse	1389	462	49965.27	6.18	-0.719	6.7	PTHR16223//PTHR16223:SF46 - FAMILY NOT NAMED // TRANSCRIPTION FACTOR BHLH123
Carub.0003s2136.1	CarubHLH-12	3	7713707..7715226	Forward	1107	368	40794.89	6.77	-0.59	1.2	PTHR12565:SF174 - TRANSCRIPTION FACTOR BHLH87
Carub.0002s1250.1	CarubHLH-13	2	7963324..7964617	Forward	900	299	32341.43	6.3	-0.81	4.5	PTHR16223:SF19 - TRANSCRIPTION FACTOR BHLH83-RELATED
Carub.0002s0350.1	CarubHLH-14	2	1476633..1479159	Forward	1188	395	43394.57	5.55	-0.691	6.7	PTHR16223//PTHR16223:SF21 - FAMILY NOT NAMED // TRANSCRIPTION FACTOR BHLH103-RELATED
Carub.0006s3710.1	CarubHLH-15	6	16560480..16560999	Forward	519	172	20125.96	5.13	-0.838	0.1	PTHR12565:SF125 - TRANSCRIPTION FACTOR HEC3-RELATED
Carub.0006s3312.1	CarubHLH-16	6	14997420..14998981	Reverse	903	300	33891.59	4.59	-0.591	5.6	PTHR16223//PTHR16223:SF21 - FAMILY NOT NAMED // TRANSCRIPTION FACTOR BHLH103-RELATED
Carub.0006s3717.1	CarubHLH-17	6	16583720..16585987	Reverse	1218	405	43661.55	6.76	-0.467	5.6	PTHR12565//PTHR12565:SF173 - STEROL REGULATORY ELEMENT-BINDING PROTEIN // TRANSCRIPTION FACTOR UNE10
Carub.0006s3717.2	CarubHLH-18	6	16583720..16585987	Reverse	906	301	32623.22	8.88	-0.534	4.5	PTHR12565//PTHR12565:SF173 - STEROL REGULATORY ELEMENT-BINDING PROTEIN // TRANSCRIPTION FACTOR UNE10
Carub.0006s0051.1	CarubHLH-19	6	181253..181772	Reverse	519	172	19003.88	5.92	-0.667	0.1	PTHR12565//PTHR12565:SF111 - STEROL REGULATORY ELEMENT-BINDING PROTEIN // SUBFAMILY NOT NAMED
Carub.0008s2740.1	CarubHLH-20	8	12936662..12937741	Forward	603	200	21954.89	7.86	-0.554	4.5	PTHR12565//PTHR12565:SF87 - STEROL REGULATORY ELEMENT-BINDING PROTEIN // TRANSCRIPTION FACTOR ALC-RELATED
Carub.0008s0551.1	CarubHLH-21	8	2448351..2449342	Reverse	681	226	25538.87	6.53	-0.495	3.4	PTHR16223//PTHR16223:SF9 - FAMILY NOT NAMED // TRANSCRIPTION FACTOR BHLH139-RELATED
Carub.0008s1856.1	CarubHLH-22	8	9662426..9663663	Reverse	897	298	31581.46	5.79	-0.417	4.5	PF00010 - Helix-loop-helix DNA-binding domain (HLH)

Bp : paire de base ; aa : acides aminés ; kDa : kilodalton

Selon le tableau 10, la longueur de la séquence protéique IND exprimé chez *Capsella* sont comprise entre 172 et 576 acides aminés. Parmi eux, 9 membres est comprise entre 100 et 300 acides aminés et la longueur de 13 membres de la famille est comprise entre 300 et 600 acides aminés. CarubHLH-8 a la longueur d'acides aminés la plus longue, 576 aa, et sa masse moléculaire est également la plus grande de 64167.01 kDa et CarubHLH-15 et CarubHLH-19 ont la longueur d'acides aminés la plus courte 172 aa et la masse moléculaire la plus petite de 19003.88 kDa est celle de CarubHLH-19. Les points isoélectriques théoriques de ces 22 protéines IND présentent également certaines différences : les points isoélectriques de 19 membres sont inférieurs à 7 ce sont

des acides aminés acides et 3 membres dont CarubHLH-6 et CarubHLH-18 et CarubHLH-20 sont supérieur à 7 ce sont des acides aminés basique. L'indice d'hydrophilie de 19 séquence protéique sont inférieur à -0,5, donc ils sont des protéines hydrophiles et 3 séquence protéique sont comprise entre -0,5 et +0,5, CarubHLH-3 a un indice d'hydrophilie de -0.63, CarubHLH-12 de -0.59 et CarubHLH-13 de -0.81 ce qui signifie que ce sont des protéines amphiphiles.

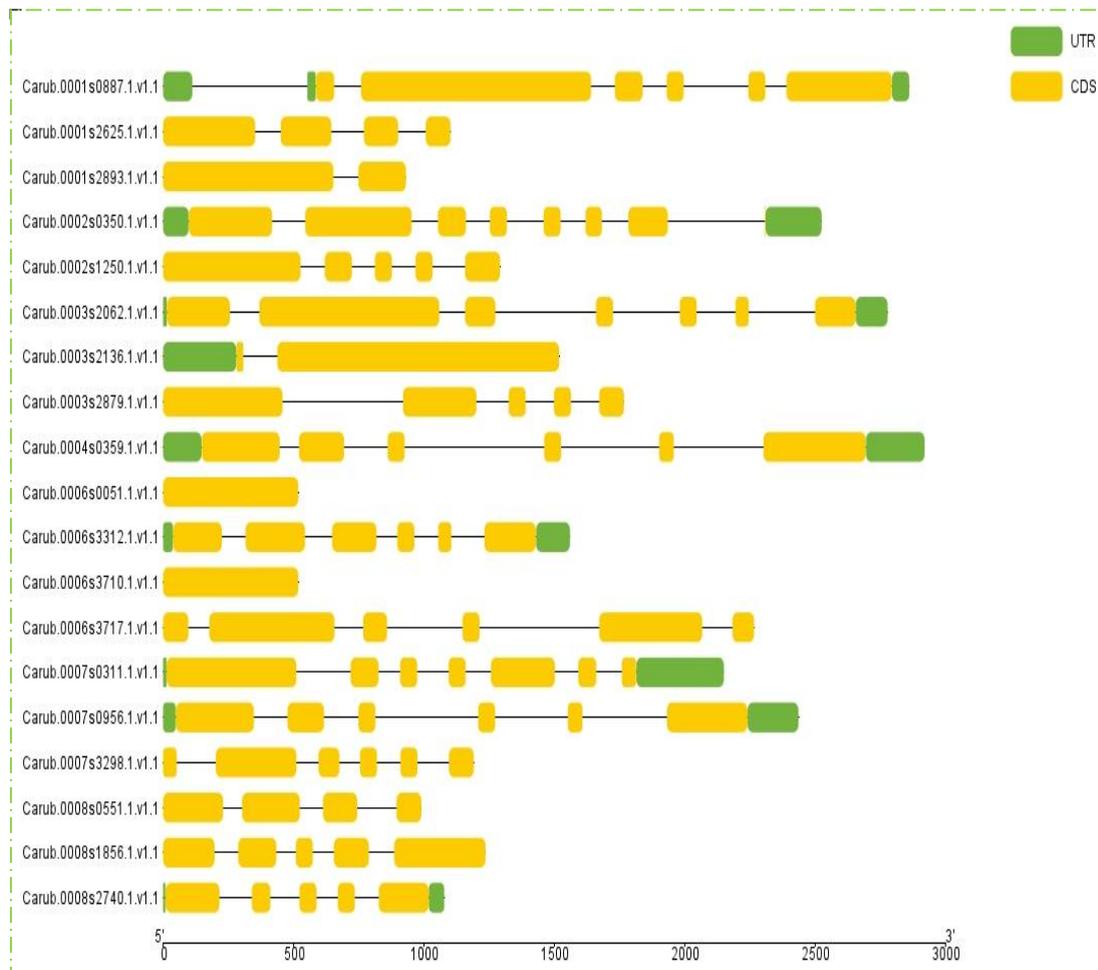
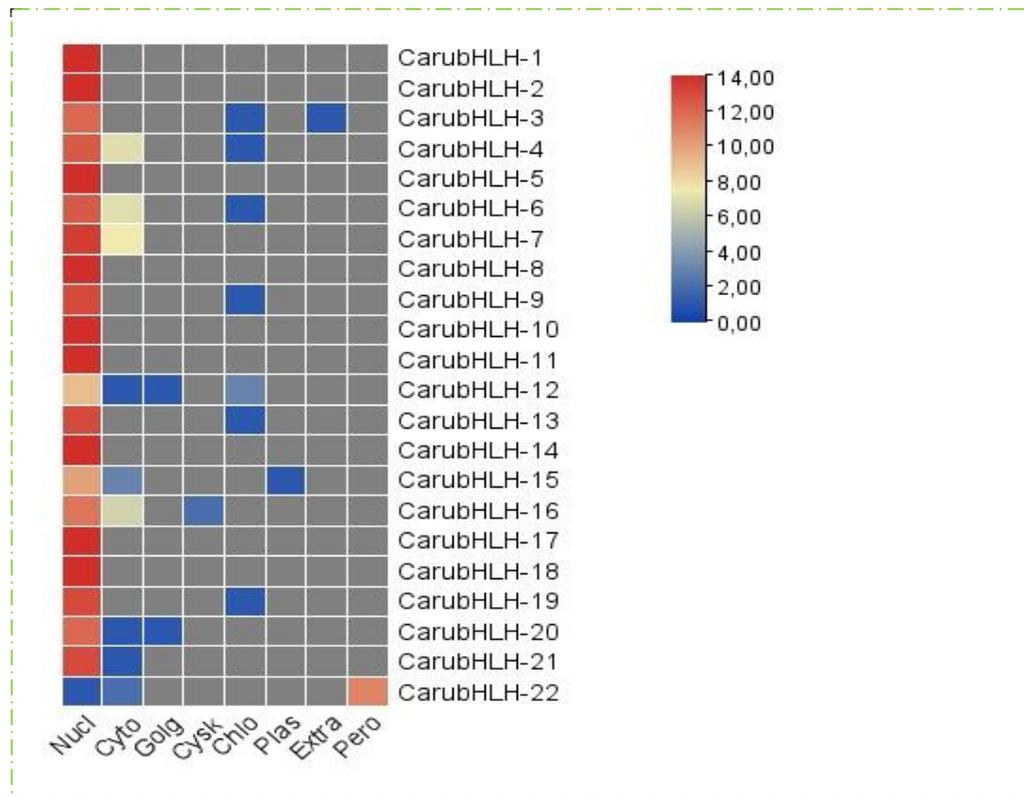


Figure 41 : la structure des gènes de la famille IND, visualisation de la position, la taille et le nombre n'intron et d'exon par le logiciel TBTool par le fichier GFF téléchargé depuis Phytozome

Pour examiner plus en détail l'évolution des gènes IND, la structures exon-intron comme illustré sur la figure 41 a été faite par le logiciel TBTool par le fichier GFF téléchargé depuis Phytozome. Ici nous apercevons que les nombres d'exons des gènes CarubIND variaient d'un à sept exons et qu'il existe 3 gènes IND de *Capsella* qui ne contiennent pas d'introns (Carub.0006s3710.1. CarubHLH-15, Carub.0006s0051.1CarubHLH-19 et Carub.0004s2921.1CarubHLH-8). Ces gènes sans introns permettent que lors du clonage pour étudier la fonction des gènes peuvent être utiliser directement l'ADN extrait comme modèle pour obtenir la séquence du gène, et il n'est pas nécessaire d'extraire l'ARN puis de transcrire en tant que modèle d'amplification.

Tableau 11 : Carte thermique représentatif de la prédiction de la localisation subcellulaire des protéines CarubHLH-IND par Wolf PSORT.



Prédictions : Chlo (chloroplaste), Cyto (cytosol), Nucl (noyau), Plas (plasma membrane), Extra (extracellulaire), Cysk (cytosquelette), Plas (membrane plasmique), Pero (peroxysome), Golg (appareil de golgi)

La localisation subcellulaire des protéines montre que les protéines sont tous présentes dans l'organe nucléaire avec un signal faible pour CarubHLH-22. Les autres organites montrent la présence significative des protéines par l'échelle de couleur, le rouge signifie une forte présence et le bleu signifie une faible présence, comme exemple CarubHLH-4, CarubHLH-6 CarubHLH-16 et CarubHLH-7 sont présentes dans le cytosol d'un taux de signal qui varie de 6.5 à 7.5.

II.2 Localisation chromosomique :

Comme le montre la figure 42, une carte chromosomique a été construite en utilisant 21 séquences nucléotidiques de IND par Phenoplot, 21 gènes IND sont répartis sur 8 chromosomes. Parmi eux, le chromosome 6 avait la plus forte densité de gènes IND, avec 5 membres ; le chromosome 7 avait la densité suivante la plus élevée, avec quatre gènes ; trois gènes IND étaient localisés dans chacun des chromosomes 3 et 1 ; deux gènes IND étaient situés dans les chromosomes 5 et 11 ; trois gènes GmHSP70 ont été positionnés dans les chromosomes 8, 4 et 17 ; et aucun gène IND n'a été détecté dans le chromosome 5.

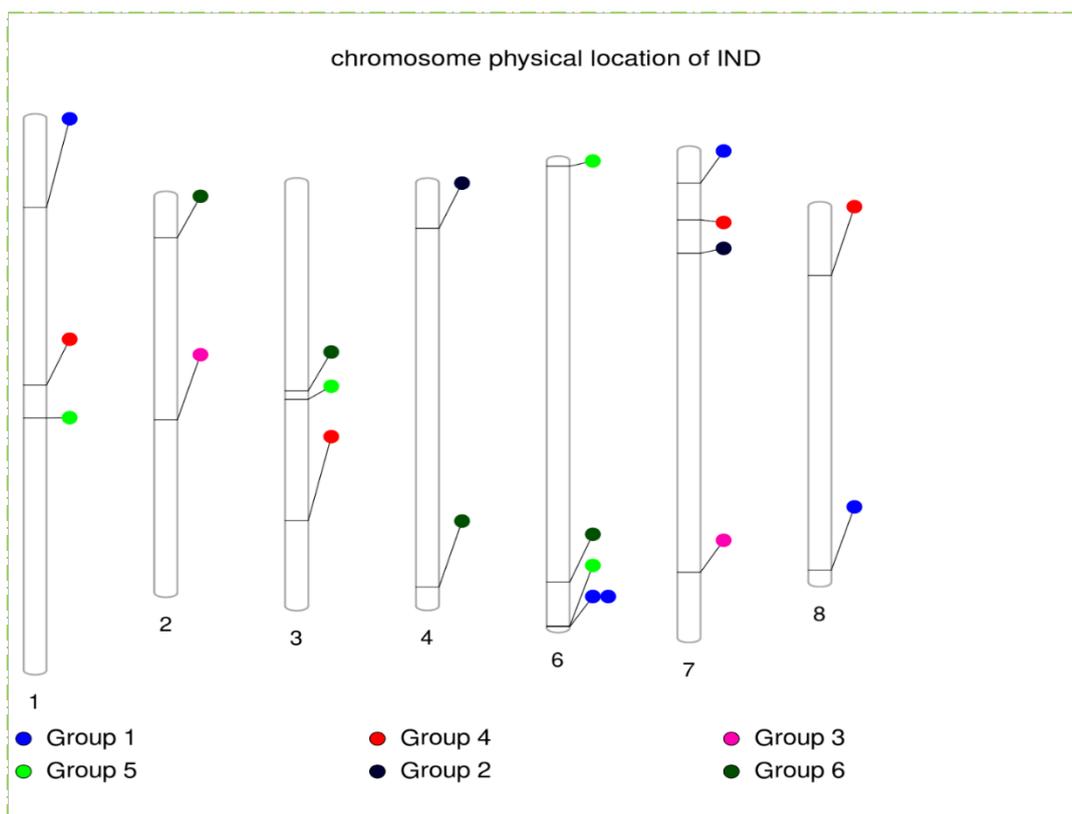


Figure 42 : Carte chromosomique, localisation de IND dans les chromosomes

II.3. Construction de l'arbre évolutif et analyse des motifs du facteur de transcription IND

II.3.1. L'arbre phylogénétique des gène IND de *Capsella* et d'*Arabidopsis*

Afin de mieux comprendre la relation phylogénétique des gènes IND, cette étude a sélectionné 22 gènes CarubHLH de *Capsella rubella* et 29 gènes HLH_IND d'*Arabidopsis thaliana*, 31 gènes HLH_IND de *Capsella grandiflora* et 27 gènes HLH-IND de *Thlaspi arvense*. Afin de comparer et analyser IND des quatre espèces, l'arbre phylogénétique (figure 43) a été construit à l'aide du MEGA7 par la méthode Neighbor-Joining (NJ), la valeur Bootstrap est de 1000 répétitions. Chaque famille IND est indiquée par une famille spécifique. Afin de faciliter l'identification, les séquences HLH_IND de *Capsella rubella* sont marquées en noir, ceux d'*Arabidopsis thaliana* en bleu, *Capsella grandiflora* sont marqués en marron et ceux de *Thlaspi arvense* sont en vert. L'arbre évolutif est divisé en 7 branches. On aperçoit que dans le quatrième contiennent le plus des motifs IND un total de 24 suivie du cinquième avec un total de 23, le sixième groupe contient le moins de motifs IND un total de 6, ce dernier contient des séquences des trois espèces d'*Arabidopsis thaliana*, *Capsella grandiflora* et de *Thlaspi arvense* ce qui indique que ces gènes sont plus proches dans leur relation évolutive.

Concernant les relations évolutives des membres IND individuels, d'après la cohérence des séquences et les résultats de l'analyse de l'arbre phylogénétique on peut voir qu'il y a une distribution dispersée dans les groupes, plusieurs orthologues putatifs entre *Capsella grandiflora* et *Capsella rubella* (CarubHLH-19/Cagra.4082s0011, CarubHLH-12/Cagra.1757s0024, CarubHLH-9/Cagra.4091S0032,....) et d'autres entre *Arabidopsis thaliana* et *Thlaspi arvense* (Thlar.0017s0273/AT5G09750, Thlar.0048s0139/AT3G21330, Thlar.0291s0021/AT2G24260...) et quelque une entre *Capsella grandiflora* et *Thlaspi arvense* (Cagra.0380s0028/Thlar.0005s0948) et d'autres entre *Capsella rubella* et *Arabidopsis thaliana* (CarubHLH-4/AT4G30980) indiquant que ces gènes peuvent avoir des fonctions similaires. On aperçoit également des paralogues (Thlar.0006s0639/Thlar.0018s0009 ; Cagra.20893s0010/Cagra.0897s0074) leur rapprochement sur leur emplacement physique signifie qu'il n'y a pas de relation de répliation entre eux dans l'évolution, c'est-à-dire qu'ils évoluent indépendamment.

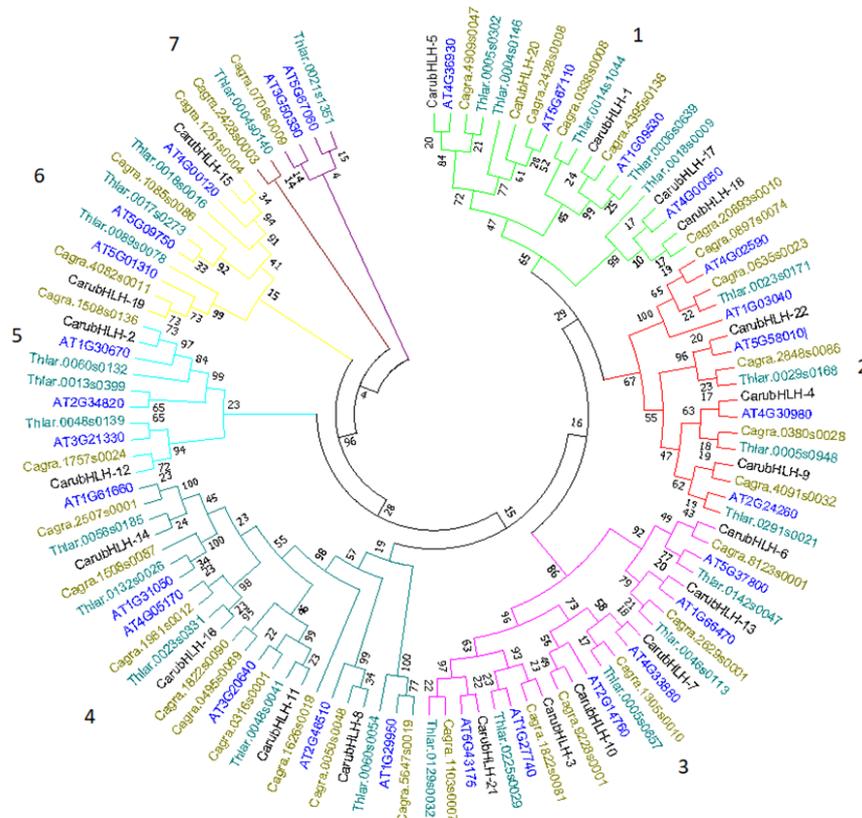


Figure 43 : Arbre phylogénétique des gène HLH_IND de *Capsella rubella*, d'*Arabidopsis thaliana*, *Capsella grandiflora* et de *Thlaspi arvense*

II.3.2. L'arbre phylogénétique des gènes IND de *Capsella* :

Pour examiner les relations phylogénétiques entre les gènes du domaine IND dans *Capsella*, un arbre a été construit à partir d'alignements des séquences nucléotidique pleine longueur de toutes les gènes IND en utilisant MEGA 7. Les principaux groupes phylogénétiques sont indiqué de 1 à 6 (figure 44). La topologie et la similarité de séquence observée de l'arbre phylogénétique nous a permis de classer la famille de gènes IND de *Capsella* en six groupes distincts. Chaque groupe comptait 2 à 5 membres et la valeur bootstrap est de 50 le tant de gènes IND paralogues pense que ces derniers ont évolué à partir de duplication du génome de *Capsella*.

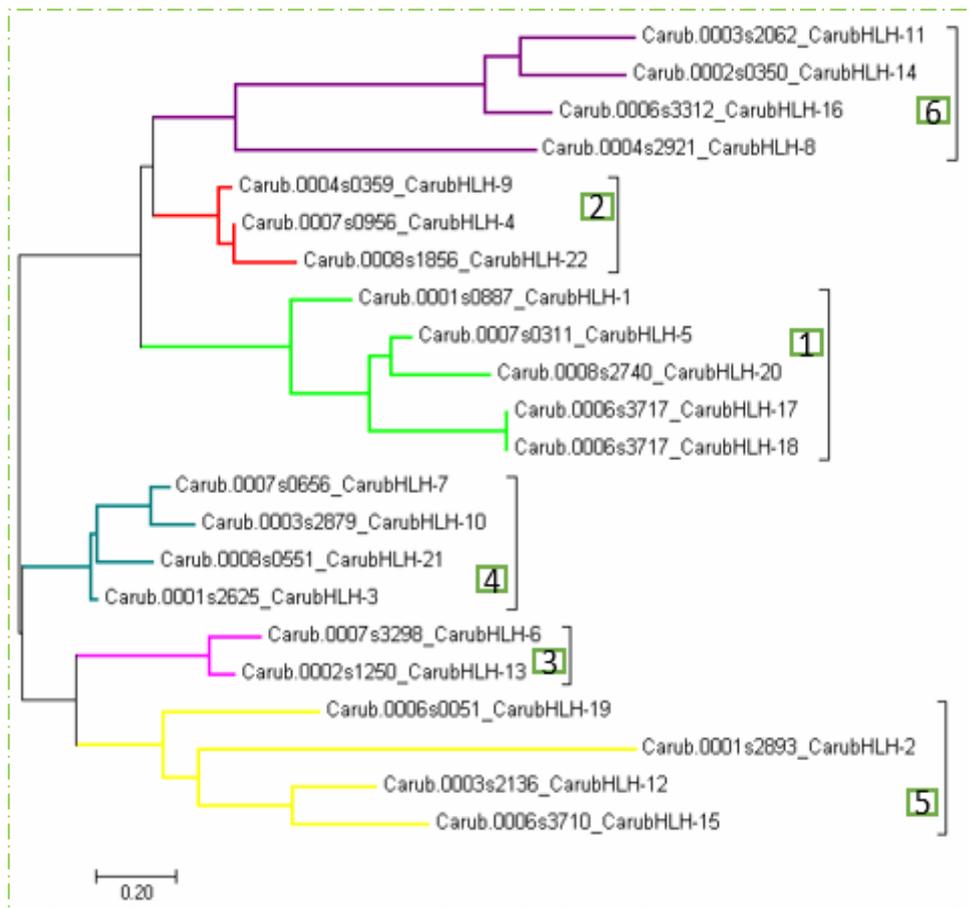


Figure 24 : Arbre phylogénétique des gènes IND de *Capsella*,

II.4. Analyse des motifs des protéine IND chez *Capsella* :

Les MEME des 22 séquence proteique IND ou CabrubHLH ont été analysés (Figure 45). Chaque case colorée représente un motif dans la protéine (un total de 10 motifs été identifier. La séquence de chaque motif est indiquée dans la case de bas. Les résultats ont révélé les motifs partagés entre les protéines apparentées et ont identifié 10 motifs conservés. Le type, l'ordre et le nombre de motifs n'étaient pas très similaires dans les protéines de la même famille.

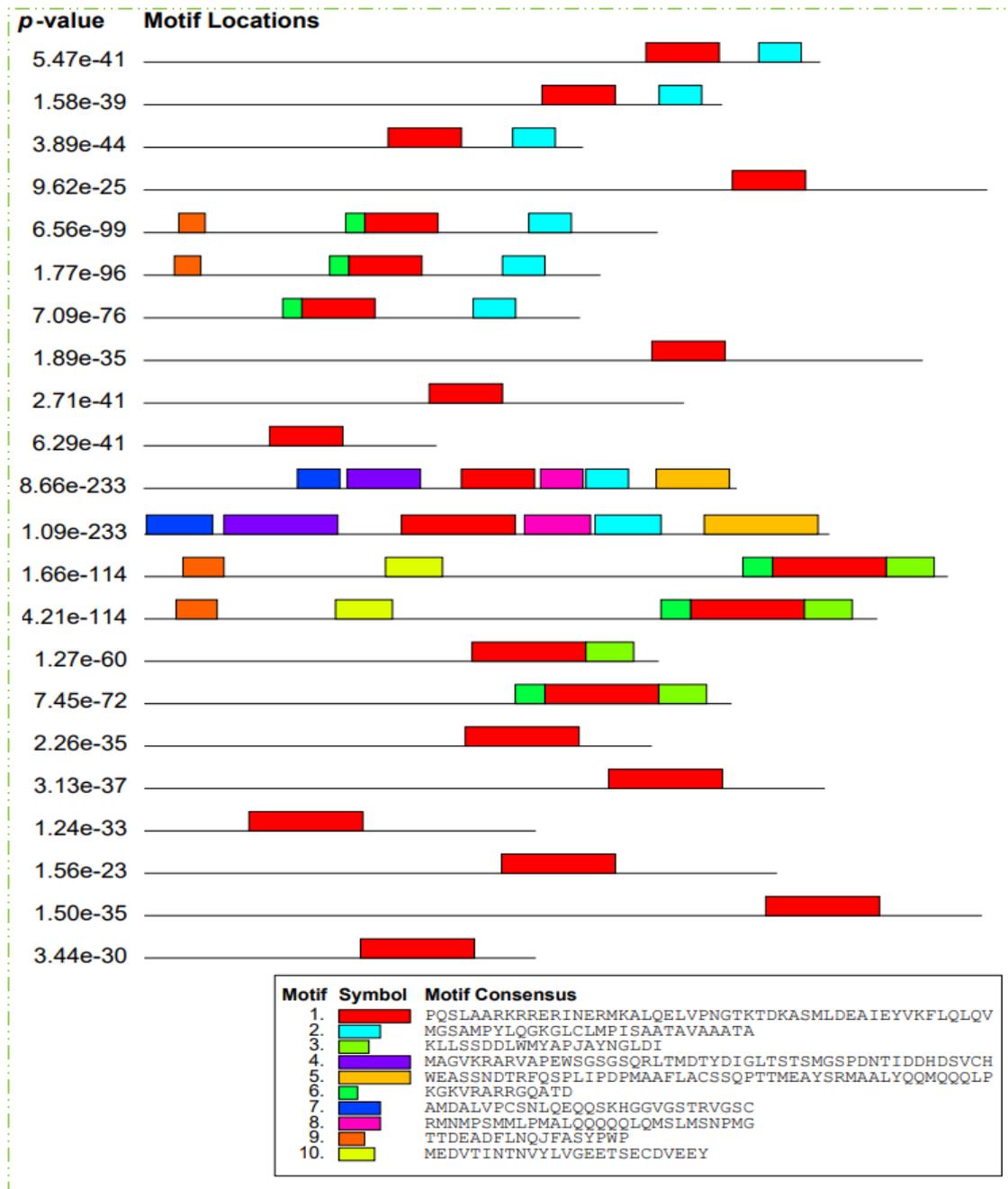


Figure 45 : Représentation schématique des motifs conservés dans les protéines IND de *Capsella* élucidées à partir des données accessibles au public.

II.5. Analyse de l'alignement multiples de IND chez *Capsella* :

Le but de l'alignement de séquences est d'analyser les similitudes et les différences de séquences au niveau de l'acide nucléique et de l'acide aminé, puis d'en déduire leur structure, leur fonction et leur relation évolutive. L'alignement de séquences multiples (figure 46) de séquences de protéines IND est réalisé grâce à Mega7 puis l'édition et l'ombrage de cet alignement de protéine est faite de plusieurs couleurs (Le vert signifie un pourcentage conservé de 100%, le mauve de 80% et le bleu de 60%).

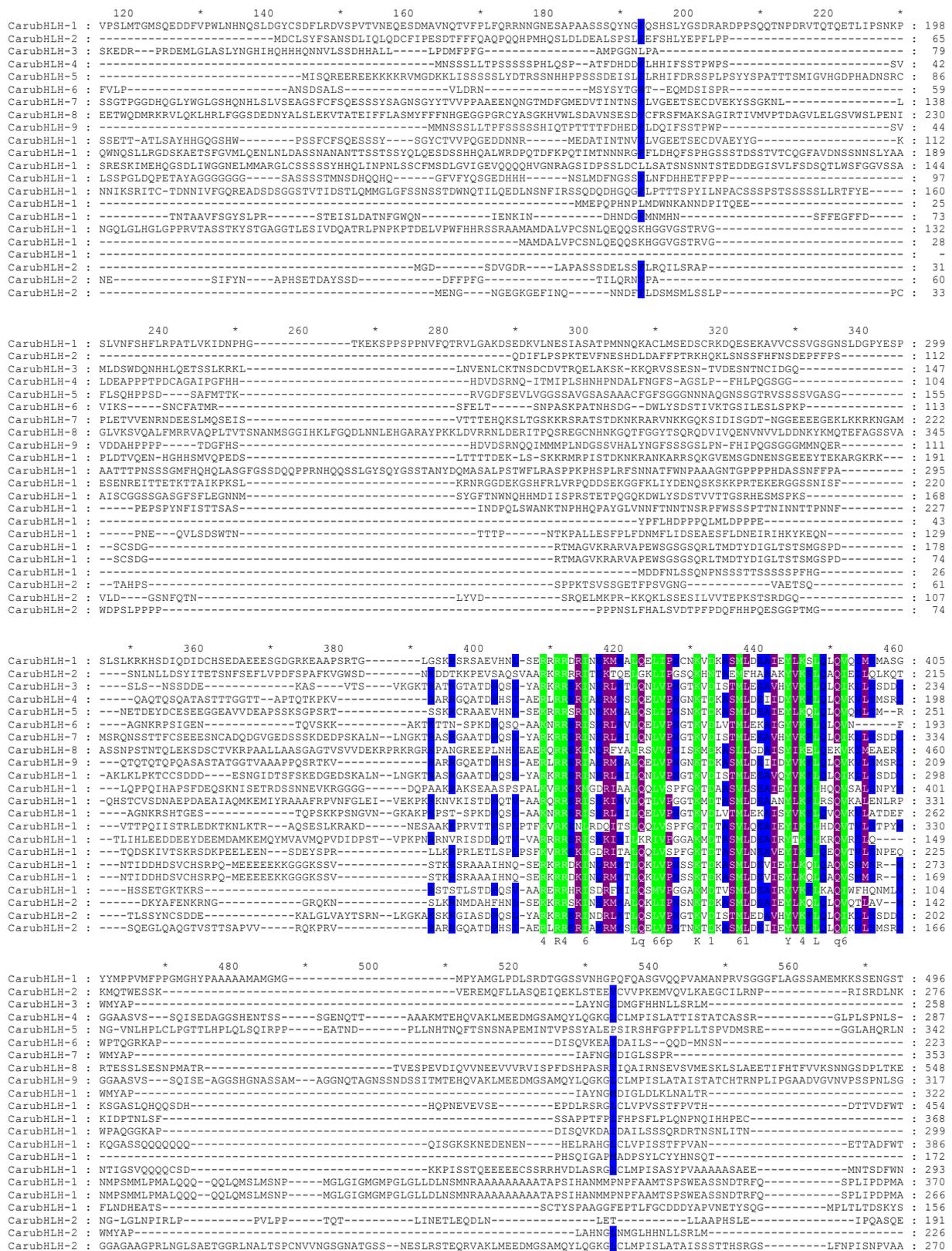


Figure 46 : Diagramme de comparaison multi-séquences des protéines IND dans *Capsella*

On aperçoit dans cet alignement que les membres de la famille IND de *Capsella* contiennent un domaine fonctionnel composé d'environ de 600 acides aminés, et le domaine fonctionnel contient un grand nombre d'acides aminés acides. On voit très peu de colonne conservée de 400 à 460 aa, Il a été constaté que les membres partageaient très peu de séquences d'acides aminés en commun et que l'identité de séquence globale est relativement faible, entre CarubHLH-4 et CarubHLH-9 et

CarubHLH-22 avait une identité de 134 sites en communs et pour CarubHLH-7, CarubHLH-10 et CarubHLH-21 ont une identité de 84 sites en commun, entre CarubHLH-11 et CarubHLH-14 et CarubHLH-16 ont à un taux de 67 sites en communs et les résultats de l'analyse de l'arbre phylogénétique sont également similaires. L'identité élevée des séquences d'acides aminés suggère que ces gènes peuvent également être fonctionnellement similaires ou complémentaires.

Conclusions et perspectives

Capsella bursa pastoris selon une petite enquête chez les herboristeries de Tlemcen et Alger elle semble peu connue malgré sa contenance en nombreux valeurs médicinales et thérapeutique. L'établissement d'une analyse morphométrique sur 17 caractères mesurés chez 107 plantes collectés dans 11 régions de Tlemcen donne à conclure qu'elle a une grande variabilité génétique mais cela semble justifié vu sa grande distribution dans le monde et sa forte capacité à résister au changement environnemental. L'analyse prouve aussi que les caractères étudiés ont une corrélation positive, certains comme le nombre de fleurs et nombre de fruits leur forte corrélation donne à prédire qu'ils ont un certain nombre de gènes en commun qui contrôlent leur développement. Une autre analyse génomique a été faite pour le gène IND qui est responsable de la formation de la forme de cœur des fruits chez le genre *Capsella*, cette forme assez spéciale est unique pour le genre *Capsella* et c'est aussi une bonne preuve de différenciation visuelle par rapport aux autres plantes brassicacées. Cette analyse sur les gènes IND chez *Capsella rubella* est nouvelle, aucune étude auparavant n'a été faite, ce gène IND fait partie de la famille de transcription bHLH, le nombre de cette famille est importante, *Capsella rubella* contient 163 membres, *Arabidopsis* contient le plus de membres avec 225 membres, *Capsella Grandiflora* contient 157 membres (selon la base de données PlantTFDB) ; les membres du IND_HLH de *Capsella rubella* identifiés dans cette étude sont encore moins nombreux, seulement 22 ont été trouvés dans cette étude à partir de la base de données Phytozome et la recherche du génome de *Capsella rubella* par la méthode bioinformatique, puis la longueur des séquences nucléotidiques et les propriétés physiques et chimiques de base des séquences d'acides aminés des gènes membres de la famille, la localisation des gènes dans les chromosomes ont été analysées. Le positionnement, la structure des gènes, l'arbre phylogénétique, l'alignement des séquences, la distribution des domaines fonctionnels ont été analysés. Les résultats ont montré que la structure génétique des membres de gènes IND est relativement simple et la proportion de gènes sans introns est très faible. Ces résultats de cette étude fournissent une base pour une exploration plus approfondie sur le mécanisme fonctionnel des gènes IND de *Capsella*.

En perspective on envisage d'élargir la zone d'étude avec augmentation d'échantillonnage pour une caractérisation morphométrique importante à l'échelle nationale, on envisage aussi de faire une analyse physicochimique pour *Capsella bursa pastoris* afin d'identifier ces propriétés nutritionnelles pour sa valorisation en Algérie et de développer de nouvelles stratégies d'exploitation médicale, écologique...ect, on prévoit de renforcer l'étude de l'analyse du gène IND

à l'échelle du génome par une analyse sur l'expression du gène IND de *Capsella* dans différents tissus et de faire un calcul du taux de substitution et de duplication des gènes IND dans *Capsella*.

Références :

1. **ACARKAN, A., ROBERG, M., KOCH, M., SCHMIDT, R.** 2000. Comparative genome analysis reveals extensive conservation of genome organisation for *Arabidopsis thaliana* and *Capsella rubella*. *Plant J.* 23, 55–62.
2. **AISSA MADAOUI O, AISSA MADAOUI R.** 2016. Protection des villes contre les inondations cas du centre d'Ain fezza Tlemcen. (Mémoire).
3. **AKSOY, A et al.** 1998. *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medikus (*Thlaspi bursa-pastoris* L., *Bursa bursa-pastoris* (L.) Shull, *Bursa pastoris* (L.) Weber). *Journal of Ecology* 86 : 171-186.
4. **AL-SNAFI A E.** 2014. The chemical constituents and pharmacological effects of *Capsella bursa-pastoris*, a review. *Department of Pharmacology, College of Medicine, Thiqar University, Nasiriyah, PO Box 42, Iraq.*
5. **BEBNYOUB M.** 2009. Mutations du monde rural algérien au contact de la colonisation. Le cas de Sebdou, dans les monts de Tlemcen. In: *Outre-mers, tome 96, n°364-365, 2e semestre. Le Sport dans l'Empire Français. Un instrument de domination coloniale? Sous la direction de Driss Abbassi. pp. 249-258.*
6. **BENZIANE F Z.** 2016 : Impact sur l'écosystème de la région de Ouled Mimoun des eaux usées urbaines, (*Mémoire de Master*) université de Tlemcen département d'Ecologie et Environnement.
7. **BOUCHARD C. J., NERON R. & GUAY L.** 1998. Guide d'identification des mauvaises herbes du Québec. *Conseil des productions végétales du Québec, Québec. 253 pp.*
8. **BOUCHELKIA H ;** 2015. « D'assainissement urbaine ». Cours master 02 hydraulique ; option : eau, sol et aménagement ; *Université Abou Bakr Belkaid ; Tlemcen.*
9. **BOUDJELAL, A., HENCHIRI, C., SARI, M., SARRI, D., HENDEL, N., BENKHALED, A., & RUBERT, G.** 2013. Herbalists and wild medicinal plants in Mesilla (North Algeria): *An ethnopharmacology survey. Journal of Ethnopharmacology, 148(2), 395–402.*
10. **BYUNGWOOK C, HYUNGSOON J, EUNSUK K.** 2018. Phenotypic plasticity of *Capsella bursa-pastoris* (Brassicaceae) and its effect on fitness in response to temperature and soil moisture. *DOI: 10.1111/1442-1984.12227.*
11. **CEPLITIS, A.L.F.; SU, Y.; LASCoux, M.** 2005. Bayesian inference of evolutionary history from chloroplast microsatellites in the cosmopolitan weed *Capsella bursa-pastoris* (Brassicaceae). *Mol. Ecol.* 14, 4221–4233.
12. **CUILAN Y, JIN C, GAO X, ZHANG Y.** 1996. Bourse de berger. Jilin Agriculture.
13. **DJEBAILI S.** 1984. Steppe Algérienne, phytosociologie et écologie O.P.U. Alger 127P.
14. **DONG Y, JANTZEN F, STACEY N, LANGOWSKI L, MOUBAYIDIN L, SIMURA J...OSTERGAARD L.** 2019. Regulatory Diversification of INDEHISCENT in the *Capsella* Genus Directs Variation in Fruit Morphology. *Current Biology. Doi : 10.1016/j.cub.2019.01.057.*
15. **DONG Y, MAJDA M, SIMURA J, HORVATH R, SRIVASTAVA A, LANGOWSKI L.... OSTERGAARD L.** 2020. HEARTBREAK Controls Post-translational Modification of INDEHISCENT to Regulate Fruit Morphology in *Capsella*. *Current Biology, 30(19), 3880–3888.e5. Doi : 10.1016/j.cub.2020.07.055.*
16. **DOUGLAS, G., G. GOS, K. STEIGE, A. SALCEDO, K. HOLM, J. A. AGREN, K. HAZZOURI, et al.** 2015. Hybrid origins and the earliest stages of diploidization in the highly successful recent polyploid *Capsella bursa-pastoris*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 112 : 2806 – 2811.*
17. **ELDRIDGE, T., QANGOWSKI, Q., STACEY, N., JANTZEN, F., MOUBAYIDIN, L., SICARD, A., SOUTHAM, P., KENNAWAY, R., LENHARD, M., COEN, E.S., and OSTERGAARD, L.** 2016. Fruit shape diversity in the Brassicaceae is generated by varying patterns of anisotropy. *Development* 143, 3394–3406.
18. **ENGELMANN K, PURUGGANAN M.** 2006. The molecular evolutionary ecology of plant development: flowering time in *Arabidopsis thaliana*. In DE Soltis, JH Leebens-Mack,

- PS Soltis, eds, *Advances in Botanical Research: Incorporating Advances in Plant Pathology*, Vol 44. Academic Press, San Diego, pp 507-526.
19. **FAUCHE et CHAUB**, distribution de *Capsella grandiflora*. Boiss Biol Gallo Hellen 4 : 163–168.
 20. **FERRANDIZ, C.** 2019. Fruit Development: Turning Sticks into Hearts. *Current Biology*, 29(9), R337–R339. doi:10.1016/j.cub.2019.03.030
 21. **FERREIRA EI, SERAFIM AM.** 2017. Inhibiteurs de la synthèse de l'oxyde nitrique. Synthase d'oxyde nitrique : Rôles complexes d'enzymes simples. Londres, Angleterre : InTech Publishers. Doi : 10.5772/67027.
 22. **François Couplan.** 2015. Le régal végétal : Reconnaître et cuisiner les plantes comestibles, Sang de la Terre, 527 p. (ISBN 9782869853195), p. 306—30.
 23. **GBIF.** 2021. Le Système mondial d'information sur la biodiversité, répartition géographique, Universitets parken 15
 24. **GERARD, J.** 1636. L'histoire à base de plantes ou générale des plantes (révisée et agrandie par Thomas Johnson). Réimpression, 1975. New York : Dover Publications. 1 676 p. Google Scholar.
 25. **GHAFFOUR, W., OUISSI, MN, & VELAY DABAT, MA.** 2020. Analyse des ambiances thermiques urbaines basée sur la perception et la simulation du microclimat dans la ville historique de Tlemcen. *Environnement bâti intelligent et durable*, 10(2), 141–168. Doi : 10.1108/sasbe-12-2019-0166.
 26. **GHERISSI, R.** 2012. Hydrologie et modelisation pluie-débit : cas du bassin versant de l'Oued lakhdar (ex : Chouly) Tafna-NW Algérien. *Laboratoire ressources hydriques, minières et pédologiques : choix technologique et légalisation de l'environnement. (Mémoire).*
 27. **GLEDHILL, D.** 1985. Les noms de plantes. 2e éd. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press. 202 p. Google Scholar.
 28. **GRIMES S.** 2004. Biodiversité marine et littorale Algérienne, édition Djazir, Alger et Bilan de base (des 14 wilayas littorales). *PAM/PAS MED/MEDPOL.*
 29. **GROSSO C, JULIANA V, LUIS R. SILVA, PAULA G, RUI F. GONCALVES, PATRICIA V, ANNA K. JAGGER, PAULA B. ANDRADE.** 2011. Chemical composition and biological screening of *Capsella bursa-pastoris*, *Revista Brasileira de Farmacognosia Brazilian Journal of Pharmacognosy* 21(4) : 635-644, Jul./Aug.
 30. **GUO H, HOU D, HUI R, DIAO Q, CHEN B.** 2008. Analyse des composants chimiques volatils de la bourse à pasteur. « Food Science » Numéro 1, Département de chimie, Anshan Teachers College.
 31. **HAFSA T. AHMED, ARDATH F, DAVID R. CLEMENTS, ELYSE D, NATALIE R, MAHESH K. UPADHYAYA, LINDA M. HALL, SARA L. MARTIN.** 2021 ; The Biology of Canadian Weeds. 159. *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. *Canadian Journal of Plant Science*
 32. **HENRI H.** 1914. The origin of *Capsella bursa-pastoris* arachnoidea Dr. University of Michigan.
 33. **HILL, E. C., RENNER, K. A., and SPRAGUE, C. L.** 2014. Henbit (*Lamium amplexicaule*), common chickweed (*Stellaria media*), and shepherd's-purse (*Capsella bursa-pastoris*), and field pennycress (*Thlaspi arvense*): fecundity, seed dispersal, dormancy, and emergence. *Weed Science*, 62(1), 97-106. Doi :10.1614/WS-D-13-00074.1.
 34. **HINTZ M, CONNY B, PIA N, JANINE Z, STEFFEN H, BARBARA N, GUNTER T.** 2006. Catching a 'hopeful monster': shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris*) as a model system to study the evolution of flower development. *Journal of Experimental Botany*, Volume 57, Issue 13, Pages 3531–3542.
 35. **HOLM GL, PANCHO VJ, HERBERGER JP & PLUCKNETTI LD.** 1979. A Geographical Atlas of World Weeds. *Wiley-Interscience Publications, New York, USA.*
 36. **HUI-RUN H, PENG-CHENG Y, MARTIN L et XUE-JUN G.** Période de floraison et variation du transcriptome chez *Capsella bursa-pastoris* (Brassicaceae). *Key Laboratory of*

- Plant Resources Conservation and Sustainable Utilization, South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, Chine.*
37. **HURKA H, BLEEKER W, NEUFFER B.** 2003. Evolutionary process associated with biological invasions in the Brassicaceae. *Biological Invasions* 5, 281–292.
 38. **HURKA, F., FREUEDENER, S., BROWN, H. D., and PLANTHOLTI, U.** (1989). Aspartate aminotransférase isozyme in genus *Capsella* (Brassicacée), subcellular location, gene duplication and polymorphism. *Biochem. Gen.* 27, 77–90. *Doi* : 10.1007/bf00563019
 39. **J. M. BASK IN AND CAROL C. BASK IN.** 1988. Germination responses of buried seeds of *Capsella bursa-pastoris* exposed to seasonal temperature changes School of Biological Sciences. *University of Kentucky. Lexington. KY 40506-0225. U.S.A.*
 40. **JUANG WEN-JIN; CHIN-JIN HOU.** 2016. Des études sur la germination et émergence des grains de *C. bursa-pastoris* L. et *L. virginicum* L. *Journal of the Weed Society of the Republic of China; Volume 37, Numéro 2, P163-186.*
 41. **JULVE, PH.** 2021. ff. - Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. *Version: 27 avril 2021.*
 42. **KARAİSMAİLOĞLU M C.** 2019. Notes on the taxonomical, morphological and mucilage features of *Capsella bursa-pastoris* Medik and *Capsella rubella* Reuter taxa (Brassicaceae). *Siirt University Faculty of Arts and Sciences Department of Biology Siirt, Turkey. Doi: 10.17474/artvinofd.475435.*
 43. **KASIANOV, A. S., KLEPIKOVA, A. V., KULAKOVSKIY, I. V., GERASIMOV, E. S., FEDOTAV, A. V., BESEDINA, E. G., ... PENIN, A. A.** 2017. High-quality genome assembly of *Capsella bursa-pastoris* reveals asymmetry of regulatory elements at early stages of polyploid genome evolution. *The Plant Journal*, 91(2), 278–291. *doi:10.1111/tbj.13563.*
 44. **KOCH, M.A., KIEFER, M.** 2005. Genome évolution among Cruciferous plants : a lecture from the comparison of the genetic maps of three diploid species— *Capsella rubella*, *Arabidopsis lyrata* ssp. *Petraea*, and *A. thaliana*. *Am. J. Bot.* 92, 761–767
 45. **LEVINE, C.** 1995. A guide to wildflowers in winter. *Yale Univerisity Press: New Haven, Connecticut, USA. and London, England, UK.* 122
 46. **LIANG H, ZHANG X, WANG J.** 1994. Étude sur la nutrition et les soins de santé de la bourse-à-pasteur "*Rehabilitation and Convalescence Journal*" Numéro 3, *Département de nutrition médicale, Qingdao Medical College.*
 47. **LONGJIE LU, SUNONG, YUESEN.** 2007. Culture scientifique de la bourse à pasteur. *L'agriculture du Shanxi : édition de la science et de la technologie pour s'enrichir, numéro 4.*
 48. **MARIA TREBEN.** La santé à la pharmacie du Bon Dieu, pp. 14-16.
 49. **MASCLEF A.** 1995. Atlas des plantes de France : utiles, nuisibles et ornementales, document électronique
 50. **MATE.** 2006. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, étude de pré investissement pour le Hot Spot de Ghazaouet (algerie).
 51. **MEYEROWITZ EM.** 1991. The war of the whorls: genetic interactions controlling flower development. *Nature* 353 :31–37.
 52. **MICHAEL S. DEFELICE .**2005. Weed Technology (book) by *Cambridge University Press on behalf of the Weed Science Society of America*
 53. **NOUI, A; TABANI, N; RAMOUL, I; DJABER, K (Encadreur).** La valorisation du patrimoine archéologique par l'architecture contemporaine, *Cas du site archéologique El Mansourah. 2018. (mémoire).*
 54. **NUTT P, ZIERMANN J, HINTZ M, NEUFFER B, THEIBEN G.** 2006. *Capsella* as a model system to study the evolutionary relevance of floral homeotic mutants. *Plant Syst Evol* 259 :217–235.
 55. **OMELCHENKO, D. O., MAKARENKO, M. S., KASINOV, A. S., SCHELKUNOV, M. I., LOGACHEVA, M. D., & PENIN, A. A.** 2020. Assembly and Analysis of the

- Complete Mitochondrial Genome of *Capsella bursa-pastoris*. *Plants*, 9(4), 469. [Doi:10.3390/plants9040469](https://doi.org/10.3390/plants9040469).
56. **OPIZ PM.** 1821. *Capsella apetala* Opiz. Eine neue merkwürdige Pflanze Flore Nr. 28, *oder : Botanische Zeitung, Ratisbonne, Allemagne*.
 57. **PIETRO P.M. Iannetta.** 2011. Chapter 3. *Scottish Crop Research Institute, Invergowrie, Dundee DD2 5DA, Scotland, UK*
 58. **POPAY, AI, & ROBERTS, EH.** 1970. Facteurs impliqués dans la dormance et la germination de *Capsella Bursa- Pastoris* (L.) Medik. et *Senecio Vulgaris* L. *The Journal of Ecology*, 58(1), 103. [doi:10.2307/2258171](https://doi.org/10.2307/2258171).
 59. **PROTA.** *Plantes médicinales*, Backhuys Publishers, 2008, p. 158.
 60. **RIJVEN, A. H. G. C.** 1952. IN VITRO STUDIES ON THE EMBRYO OF CAPSELLA BURSA-PASTORIS. *Acta Botanica Neerlandica*, 1(2), 157–200. [doi:10.1111/j.1438-8677.1952.tb00007.x](https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1952.tb00007.x)
 61. **ROEDER, A.H.K., and YANOFSKY, M.F.** 2006. Fruit development in *Arabidopsis*. *Arabidopsis Book* 4, e0075.
 62. **ROUX F, TOUZET P, CUGUEN J, LE CORRE V.** 2006. How to be early flowering: an evolutionary perspective. *Trends Plant Sci* 11: 375-381.
 63. **SCHULZ, R., AND W. A. JENSEN.** 1968a. *Capsella* embryogenesis: The synergids before and after fertilization. *Amer. J. Bot.* 55: 541-552. ---, AND. 1968b. *C (apsella embryogenesis: The early embryo. J. Ultrastruct. Res. (in press)*.
 64. **SEMEP.** 2004. Document du service de SEMEP, Recensement des points d'eau par commune du secteur sanitaire de GHAZAOUET.
 65. **SIDI MOHAMMED BAHA-EDDINE GHEZLAOUI, NOURY BENBADJI.** 2017. La végétation des monts de Tlemcen (Algérie). *Aspect phytoécologique*.
 66. **SISTER RICHARDIS SCHULZ AND WILLIAM JENSEN.** 1967. *Capsella Embryogenesis: The Early Embryo*. Department of Botany, *University of California, Berkeley, California 94720 Received September 18*.
 67. **SOLEIMANPOUR S, FERESHTEH SADAT S, AKBAR SAFIPOUR A, REZA ZARIF 1, JAVAD A, KIARASH G.** 2013. Synergistic Antibacterial Activity of *Capsella bursa-pastoris* and *Glycyrrhiza glabra* Against Oral Pathogens, *Jundishapur Journal of Microbiology*.
 68. **SPENCER, ER.** 1957. *Tout sur les mauvaises herbes*. *New York : Publications de douvres*. 333 p. *Google Scholar*.
 69. **STEVENS MHH, CARSON WP.** 2001. Phenological complementarity, species diversity and ecosystem function. *Oikos* 92 :291–296.
 70. **SULAIMAN, N. ; PIERONI, A. ; SOUKAND, R. ; POLESNY, Z. 2022.** Comportement alimentaire en période d'urgence : Utilisation des plantes sauvages pour la nutrition humaine pendant le conflit en Syrie.
 71. **Sushuang Liu, Yanmin Liu, Chundong Liu, Feixue Zhang, Jiaping Wei and Bingxuan Li. 2022.** Genome-Wide Characterization and Expression Analysis of GeBP Family Genes in Soybean. *Department of Life Sciences and Health, Huzhou College, Huzhou 313000*.
 72. **TUTTOLOMONDO, T., LICATA, M., LETO, C., BONSANGUE, G., LETIZIA GARGANO, M., VENTURELLA, G., & La Bella, S.** 2014. Popular uses of wild plant species for medicinal purposes in the Nebrodi Regional Park (North-Eastern Sicily, Italy). *Journal of Ethnopharmacology*, 157, 21–37.
 73. **VANDEBROEK, I.** 2006. *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik, et GURIB-FAKIM, A. (eds) *Plantes médicinales/ Plantes médicinales 1[CD-Rom]. Prota 11*.
 74. **VICKERY R.** 1995. Un dictionnaire du savoir végétal. *L'université d'Oxford*.
 75. **W.M. AMER, R.A. HASSAN, A.S. ABDO.** 2020. Cytogenetic and molecular studies of the Egyptian *Capsella bursa-pastoris* (Brassicaceae). *Caryologia* 73(3): 45-54. [doi: 10.13128/caryolo-gia-867](https://doi.org/10.13128/caryolo-gia-867)
 76. **WAFAA M. AMER, RANIA A. HASSAN AND AMANY S. ABDO.** 2019. Phenoplasticity of the Egyptian *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. Morphotypes. *Botany and Microbiology Department, Faculty of Science, Cairo University, Giza 12613, Egypt*

77. **WANG YONXIAN.** 2012. "Expérience scientifique rurale" numéro 7 | Station de vulgarisation de la technologie agricole.
78. **WU QINGRONG.** 2007. Cultiver des légumes sauvages. "Les agriculteurs deviennent riches" numéro 5.
79. **XIANGDONG J, YANG W J.** 2005. Technologie de culture de la bourse à pasteur "Science et technologie rurales" Numéro 5 | *Station de vulgarisation de la technologie agricol.*
80. **XIAOYUAN C, ZHANG X, PENG H, XIANG S.** 1993. Recherche et analyse des composants nutritifs de la bourse à pasteur. "*Food Science*" Numéro 5, Département de chimie, Université Hunan Jishouritive.
81. **XIE Q, XIAO Z.** 1984. La bourse à berger [J]. *China Wild Plant Resources.*
82. **XUEMEI H, CAI J, ZHANG H.** 2005. Caractéristiques biologiques de la bourse à pasteur et son développement et son utilisation "Journal of Liaoning College of Traditional Chinese Medicine". N° 5, pages 425-426 École des sciences de la vie, Université normale de Huzhou.
83. **Y AHLALI N & MOHAMMEDI S.** 2017. Caractérisations, classification et statistique multi variable des eaux de l'aquifère alluvionnaire du fossé de SEBDOU (NW algérien), (*mémoire de Master*) université de Tlemcen département d'Hydraulique.
84. **YANG XIAOMING, GAO XINCHENG.** 2017. "Science et technologie agricoles modernes" Numéro 5 | École agricole de Zhumadian de la province de Gaoxincheng Yang Xiaoming Henan
85. **Yong Guo, Li-Juan Qiu.** 2013. Genome-Wide Analysis of the Dof Transcription Factor Gene Family Reveals Soybean-Specific Duplicable and Functional Characteristics. *The National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement (NFCRI)/Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences*
86. **ZHANG L.** 2001. Culture artificielle de bourse à pasteur. Économie rurale et technologie.
87. **ZHOU W.** 1998. Ethnobotanique de *Capsella bursa-pastoris* (L.) Médical. *J Plant Resour Env* 7 :49–53.
88. **ZHOU, L., TUCKER, C. J., KAUFMANN, R. K., SLAYBACK, D., SHABANOV, N. V. and MYNENI, R. B.** 2001. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *J. Geophysical Res.* 106 : 69-83.
89. **ZHU N.** 1999. Il y a un moyen "d'argent" de faire pousser la bourse du berger. Vie aisée.
90. **YU XIAN LIANG.** 2012. Techniques de culture à haut rendement de la bourse à pasteur. Station de technologie agricole, ville de Dazhu, ville de Shaowu
91. **PING L, LIHUA W, DONGHUI W, HU CHEN, MINGQI ZHOU, XIAOHUA, JUAN L.** 2016. Promoter Analysis of Cold-responsive (COR) Gene from *Capsella bursa-pastoris* and Expression Character in Response to Low Temperature. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang, 311400, Zhejiang, People's Republic of China.
92. **BENYOUB M.** 2009. Mutations du monde rural algérien au contact de la colonisation. Le cas de Sebdo, dans les monts de Tlemcen.
93. **HUANF, H.-R., YAN, P.-C., LASCOUX, M., & Ge, X.-J.** 2012. Flowering time and transcriptome variation in *Capsella bursa-pastoris* (Brassicaceae). *New Phytologist*, 194(3), 676–689. doi:10.1111/j.1469-8137.2012.04101.x
94. **YUJING, UAN, TANG M, CHENG Y, WU H, WANG X, CHEN J, GUAN D, QIU X.** 2018. Discussion on the way of industrialization development of *Capsella bursa-pastoris*. Hubei agricultural sciences.