

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت 1955 سكيكدة

UNIVERSITÉ 20 AOÛT 1955 SKIKDA



Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire Présenté en Vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Biochimie Appliquée

Intitulé

**Contribution cytogénétique de trois espèces bulbeuses qui se propagent dans la région de Skikda (*Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium*, *Hyacinthoides lingulata*)**

Présenté par :

Bourouis Chahinez

Allalou Rima

Boussouf Zineb

Dendene Asma

Membre de jury :

Ouamane Souheila (MCA) Président

Université 20 août 1955 Skikda

Boulechfar Safia (MCB) Examineur

Université 20 août 1955 Skikda

Nassar Meryem (MCA) Promoteur

Université 20 août 1955 Skikda

Année universitaire 2024/ 2025



# Remerciements

*Nous remercions avant tout Allah  
pour la force et la patience qu'Il nous a accordées.*

*Nos sincères remerciements vont à  
Madame Nassar Meryem pour  
son encadrement précieux et son accompagnement  
tout au long de ce travail.*

*Nous remercions également  
Madame Ouamane Souheila, présidente du jury,  
et Madame Boulechfar Safia, examinatrice,  
pour avoir accepté d'évaluer notre mémoire.*

*Enfin, merci à tous ceux  
qui nous ont soutenus de près ou de loin*



# Dédicace

*Bismillah ar-Rahman ar-Rahim  
Louange à Dieu qui m'a accordé la réussite  
et facilité le chemin du savoir.  
À Lui reviennent mes remerciements pour toujours.*

*À celui qui a été mon soutien à chaque instant,  
à mon cher père,  
qui a semé en moi l'amour de la science  
et du travail  
, et qui a toujours été mon modèle.*

*À la source de tendresse et de chaleur,  
à ma chère mère,  
qui m'a offert sécurité, prières et soutien  
sincère tout au long de mon parcours.*

*À mon petit frère Ishak,  
toi dont le sourire illumine mes journées,  
ta présence est un vrai bonheur dans ma vie.  
Je t'offre ce modeste travail comme un rêve  
qui, peut-être, grandira avec toi un jour.*

*Et à moi-même,  
pour ma patience, ma persévérance et ma force face aux difficultés,  
je dédie ce travail avec fierté et reconnaissance.*

*Louange à Dieu, aujourd'hui et pour toujours.*

## Chahinez



# DÉDICACE

"Je dédie ce travail à ma maman,  
la prunelle de mes yeux et la perle de mon cœur,  
à ma chère famille, et à tous ceux  
qui m'ont soutenue et accompagnée  
tout au long de mon parcours.

Ma gratitude va aussi à  
tous ceux qui ont partagé ce chemin avec moi.

Et une pensée sincère pour la Palestine,  
terre bénie, berceau de nobles causes,  
symbole de foi, de patience  
et de résistance, qui vit dans  
nos cœurs et nos prières."

*Zineb*

2025



# Dédicace

Louange à Dieu, par la grâce duquel  
les bonnes actions sont accomplies  
et par la grâce de qui nous avons atteint ce succès.

Je dédie ce certificat à ma famille et à tous mes proches.

Ma mère bien-aimée, qui a travaillé dur avec  
moi, m'a soutenu et m'a encouragé à devenir ce  
que je suis aujourd'hui ;  
je vous remercie tous.

Mon père, qui a travaillé dur pour nous.

À mes sœurs, Wesal et Rahma, et à mon frère, Abdul Fattah.

À mes amis.

Que Dieu vous protège et prenne  
soin de vous, et vous guide vers ce qu'il aime et agrée.

*Asma*

2023



# *Dédicace*

Je remercie Allah, Le Tout-Puissant,  
pour la force et la patience  
qu'Il m'a accordées afin d'achever ce travail dans le domaine  
de la biochimie appliquée,  
une spécialité que mon cœur aime profondément.

Au cours de ces années,  
j'ai traversé de nombreuses expériences et difficultés, et aujourd'hui  
nous arrivons au terme de ce parcours.

J'adresse mes remerciements à ma mère et à mon père,  
qui ont été mon soutien tout au long de mon parcours  
universitaire, ainsi qu'à mon frère  
Mohamed, Walid, Bilal, Chouaib , Ibrahim et Yacine.

Je remercie également  
mes sœurs Houda et Ahlem, ainsi que Meriem et Asma. Mes remerciements vont  
aussi à mes amies Bouchra, Chaima, Nesrine et Roukaya...

Et à tous ceux qui m'ont  
soutenue, à mes proches, où qu'ils soient...

Louange à Allah pour toute chose.

*Rima*



## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1:</b> Nomenclature chromosomique proposée par (Levan et al.,1964).....	19
<b>Tableau 2 :</b> Classification des caryotypes (Stebbins,1971) .....	22
<b>Tableau 3:</b> localités des espèces étudiée.....	23
<b>Tableau 4:</b> Caractères morphométriques des chromosomes de l'espèce <i>Muscari maritimum</i> .....	26
<b>Tableau 5:</b> Caractères morphométriques des chromosomes de l'espèce <i>Prospero obtusifolium</i> ....	28
<b>Tableau 6:</b> Caractères morphométriques des chromosomes de l'espèce <i>Hyacinthoide lingulata</i> ...	30
<b>Tableau 7:</b> Les valeurs de l' indices d'asymétrie intrachromosomique chez les trois espèces .....	32
<b>Tableau 8:</b> Répartition des trois espèces selon les catégories de Stebbins (1971) .....	33

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Distribution géographique des Hyacinthaceae (Asparagaceae) dans le monde.....	3
<b>Figure 2:</b> Les deux espèces <i>Muscari racemosum</i> et <i>Muscari comosum</i> .....	7
<b>Figure 3:</b> <i>Prospero autumnale</i> L ( <i>Scilla autumnalis</i> L).....	8
<b>Figure 4:</b> L'espèce <i>Muscari maritimum</i> Desf.....	9
<b>Figure 5:</b> L'espèce <i>Prospero obtusifolium</i> .....	10
<b>Figure 6:</b> L'espèce <i>Hyacinthoides lingulata</i> ( <i>Scilla lingulata</i> Poiret).....	11
<b>Figure 7:</b> Répartition géographique de l'espèce <i>Prospero obtusifolium</i> .....	13
<b>Figure 8:</b> Répartition géographique de l'espèce <i>Hyacinthoides lingulata</i> .....	14
<b>Figure 9:</b> La structure de chromosome .....	15
<b>Figure 10:</b> Constitution chromosomique .....	17
<b>Figure 11:</b> Les quatre types de chromosomes .....	18
<b>Figure 12:</b> Les racines conservées dans les flacons de trois espèces <i>Muscari maritimum</i> , <i>Prospero obtusifolium</i> , <i>Hyacinthoides lingulata</i> .....	23
<b>Figure 13:</b> Caryotype de l'espèce <i>Muscari maritimum</i> .....	27
<b>Figure 14:</b> Caryotype de l'espèce <i>Prospero obtusifolium</i> .....	29
<b>Figure 15:</b> Caryotype de l'espèce <i>Hyacinthoides lingulata</i> .....	31

## Liste des abréviations

<b>A</b>	<b>Adénine</b>
<b>A1</b>	<b>Indice d'asymétrie intrachromosomique</b>
<b>Acro</b>	<b>Acrocentrique</b>
<b>ADN</b>	<b>Acide désoxyribonucléique</b>
<b>ARN</b>	<b>Acide ribonucléotidique</b>
<b>Ask</b>	<b>Indice d'asymétrie du caryotype</b>
<b>BC</b>	<b>Longueur du bras court</b>
<b>BL</b>	<b>Longueur du bras long</b>
<b>C</b>	<b>Cytosine</b>
<b>D</b>	<b>Différence entre les longueurs des bras longs (BL) et des bras courts (BC)</b>
<b>G</b>	<b>Guanine</b>
<b>HCl</b>	<b>Acide chlorhydrique</b>
<b>I.C</b>	<b>Indice centromérique</b>
<b>IAs</b>	<b>Indice d'asymétrie du caryotype</b>
<b>LT</b>	<b>Longueur totale du chromosome / Longueur totale</b>
<b>MCA</b>	<b>Mean Centromeric Asymmetry</b>
<b>p</b>	<b>Bras courts</b>
<b>q</b>	<b>Bras longs</b>
<b>R</b>	<b>Rapport des longueurs des bras</b>
<b>Sm</b>	<b>Submétacentrique</b>
<b>St</b>	<b>Sub-télocentrique</b>
<b>Syi</b>	<b>Indice de symétrie Syi</b>
<b>T</b>	<b>Thymine</b>
<b>t</b>	<b>Télocentrique</b>
<b>TC</b>	<b>Type chromosomique</b>
<b>TF%</b>	<b>Pourcentage de forme totale TF</b>
<b>TR</b>	<b>La taille relative</b>

## SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	
Dédicace.....	
Liste des Tableaux.....	
Liste des figures.....	
Liste des abréviations.....	
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1 : APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE .....	2
1-1 .Généralités sur l'ordre des Asparagales .....	2
1-2.Généralités sur la famille des Asparagaceae .....	2
1-3.Aperçu historique de classification des genres étudiés.....	3
1-3-1. Le genre <i>Muscari</i> .....	3
1-3-2. Le genre <i>Prospero</i> .....	4
1-3-3. Le genre <i>Hyacinthoides</i> .....	5
1-4. Effets biologiques et propriétés thérapeutiques des espèces de genres étudiées .....	5
1-4-1. <i>Muscari</i> .....	5
1-4-2. <i>Prospero</i> .....	7
1-4-3. <i>Hyacinthoides</i> .....	8
1-5 .Description botanique des espèces et ses classifications .....	8
1-5-1.L'espèce <i>Muscari maritimum</i> Desf (= <i>M. maritima</i> ) .....	8
1-5-2. L'espèce <i>Prospero obtusifolium</i> ( <i>Scilla obtusifolia</i> Poir.) .....	9
1-5-3.L'espèce <i>Hyacinthoides lingulata</i> ( <i>Scilla lingulata</i> Poiret) .....	10
1-6. Répartition géographique des espèces .....	12
1-6-1. <i>Muscari maritimum</i> .....	12
1-6-2. <i>Prospero obtusifolium</i> .....	12
1-6-3. <i>Hyacinthoides lingulata</i> .....	13
CHAPITRE 2 : ASPECT CYTOGENETIQUE.....	15
2-1. Le génome.....	15
2-2 .Le chromosome.....	15
2-2-1. Constitution chromosomique .....	15
2-2-2. Les centromères.....	17
2.2.3. Les types chromosomiques .....	18
2-3. Le caryotype .....	19
2-4. L'asymétrie du caryotype.....	20
2-5. Indices d'asymétrie.....	20
2-6.Indices d'asymétrie intrachromosomique .....	20
CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES .....	23
3-1. Matériel végétal utilisé .....	23
3-2. Méthodes.....	24

3-2-1. Germination.....	24
3-2-2. Le prétraitement.....	24
3-2-3. Fixation .....	24
3-2-4. La conservation .....	24
3-2-5. Hydrolyse .....	24
3-2-6. La coloration .....	24
3-2-7. Montages des lames.....	24
<b>CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>25</b>
<b>4-1. Résultats chromosomiques par espèce.....</b>	<b>25</b>
4-1-1. <i>Muscari maritimum</i> .....	25
4-1-2. <i>Prospero obtusifolium</i> .....	28
4-1-3. <i>Hyacinthoides lingulata</i> .....	30
<b>4-2. Indices d'asymétrie intrachromosomique des trois espèces.....</b>	<b>32</b>
<b>4-3. Classement des trois espèces selon Stebbins (1971).....</b>	<b>33</b>
<b>4-4. Discussion .....</b>	<b>34</b>
4-4-1. <i>Muscari maritimum</i> .....	34
4-4-2. <i>Prospero obtusifolium</i> .....	35
4-4-3. <i>Hyacinthoides lingulata</i> .....	35
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>37</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>38</b>
<b>RESUME .....</b>	<b>.....</b>

### Introduction

La cytogénétique joue un rôle essentiel dans l'amélioration des plantes, en apportant des informations précieuses sur le matériel végétal, telles que le nombre de chromosomes ou la présence de polyploïdie, et en permettant d'exploiter la variabilité existant au sein d'une même espèce (Jahier et *al.*, 1992).

Les études caryologiques occupent une place centrale dans les recherches biosystématiques, en contribuant à la compréhension des relations phylogénétiques et des mécanismes de spécialisation des espèces (Stebbins, 1971 ; Grant, 1986). Le comptage chromosomique, qui consiste à déterminer le nombre de chromosomes, permet de révéler des différences entre espèces. Ces variations peuvent être utilisées pour établir des liens phylogénétiques entre différentes espèces d'un même genre, voire entre genres appartenant à une même famille (Darlington et La Cour, 1940). L'essor de ces études est étroitement lié au développement des techniques de marquage chromosomique. Les méthodes classiques, qui permettent d'observer la morphologie des chromosomes en phase de métaphase, ont rendu possible leur dénombrement ainsi que l'élaboration des caryotypes (Darlington et La Cour, 1940).

Les Asparagales constituent un ordre important de monocotylédones marqué par une grande diversité, notamment au niveau des familles, ce qui rend leur caractérisation complexe. Bien que certains critères aient été proposés pour les distinguer, la plupart sont de nature micromorphologique et donc difficilement observables sur le terrain. De ce fait, les analyses moléculaires se révèlent particulièrement utiles pour appuyer les hypothèses phylogénétiques concernant cet ordre, qui comprend 14 familles, 1 122 genres et 36 265 espèces (Stevens, 2000; Chase, 2009).

Parmi ces 14 familles, on retrouve notamment les Asparagaceae, qui regroupent entre autres les genres *Muscari*, *Prospero*, *Hyacinthoides*.

L'étude cytogénétique des espèces *Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium* et *Hyacinthoides lingulata* pour principal objectif de caractériser leur caryotype, en déterminant le nombre, la forme et la taille de leurs chromosomes. Elle permet également d'évaluer la stabilité génomique de ces plantes et de comparer les différences caryotypiques entre elles. Cette analyse est essentielle pour détecter la variabilité génétique entre les espèces étudiées, ce qui peut contribuer à leur classification, à la conservation de la biodiversité.

Dans ce mémoire, nous présentons d'abord, une synthèse bibliographique sur les espèces étudiées. La deuxième partie est consacrée au matériel végétal analysé ainsi que la méthodologie utilisée. Dans la troisième partie nous exposons les résultats obtenus et leurs interprétations. Nous terminons avec une conclusion.

## Chapitre 1 : Aperçu bibliographique

### 1-1 .Généralités sur l'ordre des Asparagales

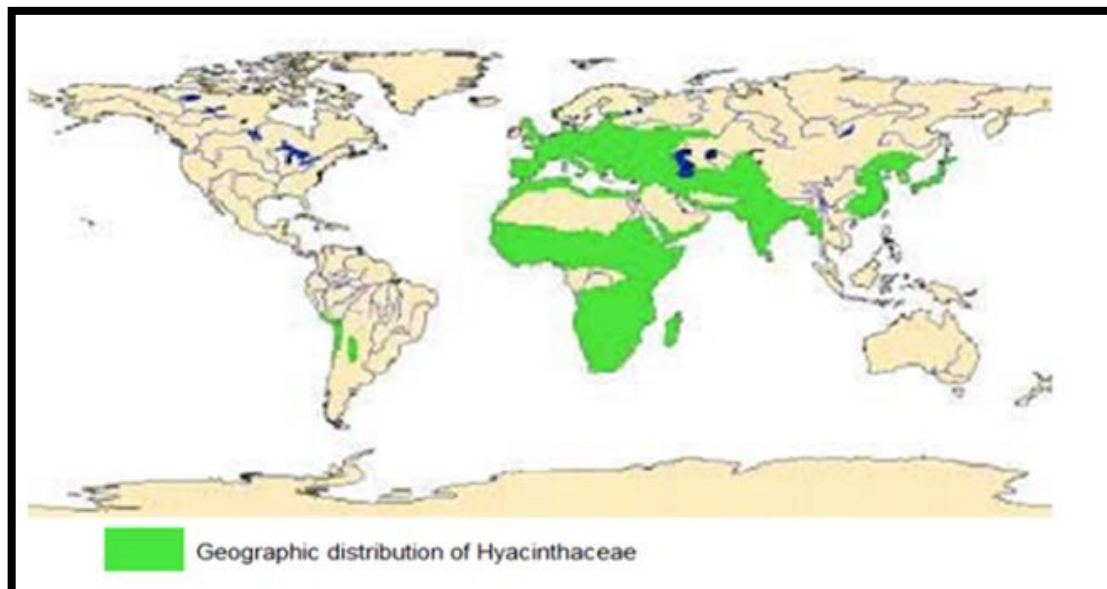
L'ordre des Asparagales n'était pas reconnu dans la classification classique de Cronquist (1981), où de nombreux genres de monocotylédones étaient regroupés au sein de l'ordre des Liliales et intégrés à la vaste famille des Liliacées. Cependant, cette famille, trop large et peu précise d'un point de vue descriptif, a suscité des réserves parmi les chercheurs. Pour mieux refléter la diversité réelle de ces plantes, plusieurs scientifiques ont alors préféré adopter une subdivision en sous-familles.

Avec l'avènement de nouvelles approches scientifiques, notamment les analyses moléculaires et la construction d'arbres phylogénétiques basés sur l'ADN, le groupe APG (Angiosperm Phylogeny Group I, 1998) a redéfini les limites de cette classification. En 1998, dans sa première version (APG I), il introduit officiellement l'ordre des Asparagales, distinct des Liliales, comprenant alors 26 familles, certaines issues directement de l'ancien ordre des Liliales, d'autres résultant de la fragmentation de la famille des Liliacées (Chase, 2009). La deuxième version de cette classification, (Angiosperm Phylogeny Group II, 2003), a réduit le nombre de familles à 14, rationalisant davantage les regroupements. Enfin, la troisième révision, (Angiosperm Phylogeny Group IV, 2016) a apporté plusieurs modifications, notamment l'ajout de nouveaux ordres et clades, ainsi que des ajustements dans certaines familles.

### 1-2.Généralités sur la famille des Asparagaceae

La famille des Hyacinthaceae est désormais incluse dans celle des Asparagaceae, appartenant à l'ordre des Asparagales. Telle qu'elle est actuellement reconnue, elle comprend environ 70 genres et 1 000 espèces, répartis en Europe ainsi que dans les régions extratropicales d'Asie et d'Afrique (Figure 1) (Watson et Dallwitz, 2002 ,Pfosser, 2007).

La famille Asparagaceae se divise en sept sous-familles : Agavoideae, Aphyllanthoideae, Asparagoideae, Brodiaeoideae, Lomandroideae, Nolinoideae et Scilloideae, selon la classification de (Angiosperm Phylogeny Group III, 2009). Sur le plan taxonomique, il s'agit d'un groupe particulièrement hétérogène et complexe à définir (Stevens, 2001 onwards). Les plantes appartenant à cette famille peuvent présenter des formes très variées, herbacées, arborescentes ou grimpantes. Leur partie aérienne émerge généralement d'un rhizome de type sympodial. Les feuilles, quant à elles, sont insérées soit à la base soit le long de l'axe, et leur disposition peut être alterne, opposée ou verticillée. Les fleurs se présentent généralement en grappes, bien qu'elles puissent aussi être solitaires. Le fruit est souvent une baie, de couleur rouge ou bleu-noire. Les graines qu'elle contient sont typiquement globuleuses, dépourvues d'ailes, et possèdent une teinte noire due à la présence de phytomélanine (Andriamasinoro, 2019).



**Figure 1.** Distribution géographique des *Hyacinthaceae* (*Asparagaceae*) dans le monde.  
(Pfosser et Speta, 1999)

### 1-3. Aperçu historique de classification des genres étudiés

#### 1-3-1. Le genre *Muscari*

Bien que les jacinthes en grappe (ou *muscaris*) soient facilement reconnaissables, la délimitation précise des espèces et des genres reste complexe. Cette difficulté est typique des groupes de plantes cultivés depuis longtemps. Comme le soulignaient Davis et Stuart (1984), il s'agit d'un genre difficile, grevé par un lourd héritage de synonymes, dont une grande partie repose sur du matériel cultivé d'origine inconnue, où la plupart des espèces répandues présentent une très grande variabilité ».

Le groupe *Muscari* au sens large est classé dans la tribu des Hyacintheae (sous-famille Scilloideae, famille Asparagaceae, ordre Asparagales selon APG IV, 2016) et montre une étroite parenté avec des genres tels que *Bellevalia*, *Lapeyr*, *Hyacinthoides* et *Scilla* L (Pfosser et al., 2003, Ali et al., 2012). Actuellement, environ 80 espèces sont acceptées. Elles sont souvent réparties entre les genres *Muscari*, *Leopoldia* et *Pseudomuscari* Garbari et Greuter (selon WCSP, 2021). Toutefois, parvenir à un consensus clair sur les limites génériques reste difficile (Garbari et Greuter, 1970 ; Davis et Stuart, 1984 ; Jafari et Maassoumi, 2011 ; Böhnert et Lobin, 2017 ; Dizkirici et al., 2019).

Le nom *Muscari* a été proposé pour la première fois en 1576 par Clusius pour désigner une plante à parfum musqué qu'il avait reçue de Constantinople (aujourd'hui Istanbul, Turquie). Il en a publié une description détaillée accompagnée d'un dessin. Kunth (1843) a ensuite fondé son concept du genre *Muscari* sur cette définition anté-linnéenne (celle de Tournefort, 1694, elle-même inspirée de Clusius, 1576).

Davis et Stuart (1980) ont repris la classification de Kunth (1843) et reconnu plusieurs taxons au niveau infragénérique :

- Sous-genre *Muscari* ( $\equiv$  *Muscarimia Kostel.* ex Losinsk.).
- Sous-genre *Leopoldia* (Parl.) Peterm. ( $\equiv$  *Leopoldia*).
- Sous-genre *Botryanthus* (Kunth) Zahar. ( $\equiv$  *Muscari s.str.*, selon Garbari et Greuter, 1970).
- Sous-genre *Pseudomuscari* (Losinsk.) D.C. Stuart ( $\equiv$  *Muscari sect. Pseudomuscari* Losinsk)

### 1-3-2. Le genre *Prospero*

*Prospero Salisb.*, décrit pour la première fois par Richard Salisbury en 1866, est un genre de plantes à fleurs bulbeuses appartenant à la famille des Asparagaceae. Ce genre comprend 22 taxons reconnus, incluant à la fois des espèces acceptées et d'autres considérées comme synonymes, et se trouve principalement réparti autour du bassin méditerranéen, en passant par le Levant jusqu'à la région du Caucase (Speta, 1998, 2000 ; Govaerts et al., 2017).

Bien que *Prospero* soit reconnu depuis longtemps comme un genre distinct, et malgré les efforts de Speta (1982, 1998) pour le réviser et le réhabiliter, son statut générique continue de faire l'objet de débats parmi les systématiciens (Speta, 1998 ; Pfosser et Speta, 1999 ; Valdès, 2004 ; Almeida da Silva et al., 2014)

Ces dernières années, le nombre d'espèces appartenant au genre *Prospero* a considérablement augmenté, principalement sur la base de critères morphologiques et cytologiques. Par exemple, Speta (2000) a décrit six nouvelles espèces endémiques de Crète et de Grèce, Brullo (2009) a décrit une nouvelle espèce de Sicile, et Yıldırım (2014) ainsi que Fırat et Yıldırım (2016) ont respectivement signalé une espèce et décrit une autre nouvelle espèce de Turquie.

Les espèces décrites ces dernières décennies sont généralement des endémismes étroits (souvent avec de petites populations) et présentent des niveaux variables de polyploïdie et/ou des délimitations taxonomiques controversées.

D'un point de vue évolutif, les espèces de *Prospero* constituent un modèle excellent pour étudier les tendances de diversification. Ce groupe de taxons présente :

1. Un modèle particulier de polyploïdie accompagné d'une dysploïdie importante (Rothmaler, 1944 ; Speta, 1998 ; Hamouche et al., 2010).
2. Un modèle contradictoire de distribution géographique (certaines espèces sont des endémismes étroits, tandis que d'autres ont des aires de répartition plus larges).
3. Des variations morphologiques subtiles qui nécessitent des observations minutieuses (par exemple, en culture).
4. Une spécialisation dans l'éclosion automnale hystéranthous, avec une exception (*P. cudidaghense* Fırat et Yıldırım) et une stratégie dérivée (*P. seisumsianum*), toutes deux récemment découvertes (Rukšans, 2007 ; Yıldırım, 2014 ; Fırat et Yıldırım, 2016).

Le genre *Prospero* était précédemment considéré comme un sous-genre monospécifique au sein du genre *Scilla*, ce dernier étant représenté par cinq taxons dans les territoires irakiens (Wendelbo et Stuart, 1985).

### 1-3-3. Le genre *Hyacinthoides*

*Hyacinthoides Heist*, est un petit genre quelque peu énigmatique, comprenant environ dix espèces appartenant à la sous-famille des *Hyacinthoideae* au sein de la famille des *Hyacinthaceae*, actuellement intégrée à celle des *Asparagaceae* (Angiosperm Phylogeny Group, 2003 ; Pfosser et Speta, 1999). Les études phylogénétiques ont apporté un fort soutien à la monophylie du genre et l'ont clairement distingué du genre apparenté *Scilla L.* (Pfosser et Speta, 1999 ; Pfosser *et al.*, 2003). La distinction entre *Hyacinthoides* et d'autres genres de la sous-famille *Hyacinthoideae* a d'abord été établie sur la base de caractéristiques morphologiques, telles que la morphologie du bulbe et le nombre de bractées florales ou bractéoles (Chouard, 1930, 1934 ; Speta, 1987). Les espèces de ce genre sont communément appelées « jacinthes sauvages » ou « bluebells », en référence à la forme et à la couleur des fleurs, notamment celles de la célèbre jacinthe des bois britannique, *H. non-scripta (L.) Chouard ex Rothm.*

Le genre est principalement présent dans la région ouest-méditerranéenne, englobant l'Afrique du Nord (du Maroc à la Tunisie), la péninsule Ibérique, ainsi que les Alpes maritimes en France et en Italie. Notamment, seule *Hyacinthoides non-scripta* étend son aire de répartition naturelle jusqu'à l'Europe du Nord-Centre, incluant le nord-ouest de la France, la Belgique, les Pays-Bas et les îles Britanniques.

### 1-4. Effets biologiques et propriétés thérapeutiques des espèces de genres étudiées

#### 1-4-1. *Muscari*

Des études phytochimiques antérieures sur les espèces du genre *Muscari* ont révélé la présence de flavonoïdes, d'alkaloïdes, de terpènes et de composés stéroïdiens (Nasrabadi *et al.*, 2013). Le genre *Muscari* est considéré comme l'une des principales sources naturelles d'homoisoflavonoïdes, une sous-classe rare de flavonoïdes que l'on trouve rarement dans la nature (Lin *et al.*, 2014, Juranek *et al.*, 1993, Miadokova *et al.*, 2002). Dans une étude génotoxicologique (Miadokova *et al.* 2002) ont rapporté que les homo-isoflavonoïdes extraits des bulbes de *Muscari racemosum (L.)* présentent des activités pharmacologiques notables et pourraient être bénéfiques dans la prévention du cancer en raison de leurs propriétés anti-mutagènes et anti-clastogènes.

*Leopoldia comosa (L.) Miller*, communément appelée *Muscari comosum*, est une plante potagère poussant spontanément dans la région méditerranéenne, notamment en Europe du Sud et centrale, en Afrique du Nord et en Asie sud-occidentale (Casoria *et al.*, 1999). Les bulbes de cette plante, connus sous le nom de lampascioni ou cipudizze en Italie, et Bassila au Maroc, sont consommés depuis

l'Antiquité. Leur usage alimentaire est bien ancré dans la culture culinaire de pays comme l'Égypte, la Grèce et d'autres régions méditerranéennes (Casoria *et al.*, 1999, Boulfia *et al.*, 2021). En plus de leur valeur gastronomique, les bulbes de *Leopoldia comosa* présentent une importance économique notable, notamment au Maroc, où leur récolte et leur exportation, principalement vers l'Italie, constituent une source de revenus importante (Boulfia *et al.*, 2021).

Aujourd'hui, ces bulbes sont intégrés dans de nombreuses recettes traditionnelles : bouillis et accompagnés de douceurs, pelés et frits à l'huile d'olive avec du fromage ou des œufs, ou encore marinés après avoir été trempés dans l'eau pendant 24 heures. Dans certaines régions, comme le Benevento, ils sont conservés en pickles, tandis que dans les Murge, ils sont cuits sous la cendre chaude avant d'être assaisonnés. Bien qu'ils puissent être consommés crus, cette pratique reste rare en raison de leur goût naturellement amer, qui nécessite généralement une cuisson pour être atténué (Casoria *et al.*, 1999). Malgré sa diversité d'usages, la plante est rarement cultivée car elle pousse facilement à l'état sauvage.

Sur le plan chimique, *Leopoldia comosa* est riche en composés phytochimiques, qui lui confèrent ses caractéristiques organoleptiques uniques. À ce jour, 85 composés ont été identifiés, principalement dans les bulbes, incluant des acides phénoliques, des acides gras, des flavonoïdes, des triterpènes, des phytostérols et des homoisoflavones. Parmi ces substances, les flavonoïdes et homoisoflavones sont particulièrement remarquables pour leurs propriétés pharmacologiques (Adinolfi *et al.*, 1985).

Traditionnellement, *Leopoldia comosa* est utilisée pour soigner divers troubles, tels que les affections dermatologiques, les troubles digestifs, les douleurs dentaires, les écoulements pulmonaires purulents ou encore certaines taches cutanées. Elle est également connue pour ses propriétés diurétiques et émoullientes (Casoria *et al.*, 1999, Boulfia *et al.*, 2021, Motti *et al.*, 2009). Ces usages ont suscité un intérêt croissant pour ses propriétés médicinales, évaluées à travers de nombreuses études pharmacologiques récentes. Ces recherches ont mis en évidence des activités antioxydantes, anti-inflammatoires, antidiabétiques, anti-obésité, anticancéreuses, neuroprotectrices (notamment contre la maladie d'Alzheimer), antibactériennes et immunostimulantes, aussi bien *in vitro* qu'*in vivo*.



**Figure 2.** Les deux espèces *Muscari racemosum* et *Muscari comosum*

(<https://www.matelma.com> / <https://www.promessedefleurs.com> )

#### **1-4-2. Prospero**

La nature constitue depuis des millénaires une source essentielle pour les pratiques médicinales traditionnelles et modernes. Depuis l'Antiquité, les plantes sont utilisées pour traiter diverses maladies, et de nombreux principes actifs présents dans les médicaments actuels sont issus de sources naturelles. Ces dernières années, les systèmes de médecine traditionnelle à base de plantes connaissent un regain d'intérêt, en raison des effets indésirables associés aux médicaments de synthèse (Owolabi et *al.*, 2007).

Les géophytes sont des plantes qui développent des organes souterrains tels que des tubercules, des bulbes et des rhizomes, servant à stocker les nutriments nécessaires à leur survie. En Turquie, 816 espèces de géophytes appartenant à 73 genres ont été recensées dans la Flore de Turquie (Sargin et *al.*, 2013). *Scilla autumnalis* L., également connue sous le synonyme *Prospero autumnale* (L.) Speta, est une plante de la famille des Asparagacées, qui fleurit en automne et pousse dans la région méditerranéenne, du Portugal jusqu'à la Turquie et au Caucase (Parker et *al.*, 1991).

Bien qu'aucune utilisation médicinale spécifique de *P. autumnale* (anciennement *S. autumnalis*) n'ait été rapportée dans la littérature, plusieurs espèces du genre *Scilla* sont connues en médecine populaire pour leurs propriétés anti-inflammatoires et antalgiques. Des études phytochimiques ont mis en évidence la présence de divers composés bioactifs dans ce genre, tels que des triterpènes, des saponines triterpénoïdes dérivées d'alcaloïdes, de l'eucostérol, des stilbénoides et des lignanes. Ces substances sont associées à de nombreuses activités biologiques, notamment antioxydantes, antitumorales, anti-inflammatoires, cardioprotectrices et inhibitrices des glycosidases (Lee et *al.*, 2002, Senthilkumar et *al.*, 2013).



**Figure 3.** *Prospero autumnale* L (*Scilla autumnalis* L)

(<https://jessica-joachim.com>)

### 1-4-3. *Hyacinthoides*

Le genre *Hyacinthoides* (famille des Asparagacées) est considéré comme une source précieuse de plantes médicinales en Afrique. Il est utilisé pour traiter l'infertilité féminine et la constipation (Breyer-Brandwijk et Watt, 1962), ainsi que pour favoriser la circulation sanguine, en tant qu'agent anti-inflammatoire et analgésique (Nishida et al., 2008).

*Hyacinthoides lingulata* (Poir.) Rothm. (Synonyme: *Scilla lingulata* Poir.) est une espèce initialement endémique des régions nord-africaines. En Algérie, elle est connue sous le nom de « Becal el Far » et est traditionnellement utilisée pour soulager les symptômes de la ménopause (Chermat et Gharzouli, 2015).

De nombreuses études biologiques ont mis en évidence ses propriétés inhibitrices des glycosidases (Watson et al., 1997), anti-inflammatoires (Du Toit et al., 2011), anticancéreuses (Ghoran et al., 2016) et antioxydantes (Nishida et al., 2013).

## 1-5 .Description botanique des espèces et sesclassification

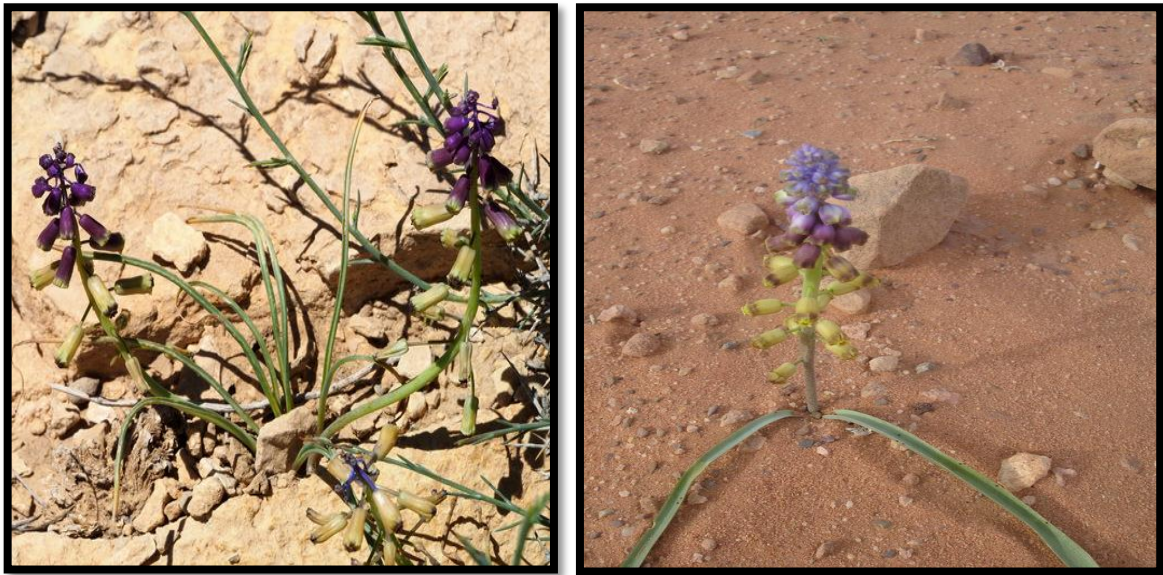
### 1-5-1. L'espèce *Muscari maritimum* Desf (= *M. maritima*)

#### ➤ Description botanique

*Muscari maritimum* Desf. Est une espèce bulbeuse appartenant à la famille des Asparagacées, Il s'agit d'une plante qui fleurit entre mars et mai, croissant principalement sur les sables côtiers, mais parfois aussi sur des sables continentaux, typique des zones littorales méditerranéennes

- ✓ Feuilles fines, de moins de 3 mm de large.
- ✓ Les pédoncules des fleurs stériles sont plus courts que le périanthe.
- ✓ Les fleurs fertiles présentent une couleur variant du jaune au vert.

- ✓ La plante atteint une hauteur de 15 à 30 cm.
- ✓ Les anthères sont de couleur violette (Valdés et *al.*, 2002, Boulos et Lefloch, 2008)



**Figure 4.** L'espèce *Muscari maritimum* Desf

(<https://www.inaturalist.org> /<https://algerianativeplants.net>)

➤ **Classification selon Govaerts, R.H.A. (2011)**

- ✚ **Règne :** Plantae (Plantes)
- ✚ **Phylum :** Streptophyta
- ✚ **Classe :** Equisetopsida
- ✚ **Sous-classe :** Magnoliidae
- ✚ **Ordre :** Asparagales
- ✚ **Famille :** Asparagaceae
- ✚ **Genre :** *Muscari*
- ✚ **Espèce :** *Muscari maritimum*

**1-5-2.L'espèce *Prospero obtusifolium* (*Scilla obtusifolia* Poir.)**

➤ **Description botanique**

Plante bulbeuse et vivace, la tige est légèrement rugueuse à la base, mesure entre 10 et 30 cm. Chaque bulbe porte de 2 à 4 feuilles, 1 mesurant 3 à 10cm de long sur 0,5 à 1,5cm de large, plus courtes que la tige, apparaissant pendant ou juste après la floraison. Les feuilles sont obtuses, planes ou légèrement ondulées, avec un bord plus clair.

La floraison a lieu en automne. L'inflorescence est en grappe cylindrique, longue de 4 à 17 cm, portant de 5 à 50 fleurs, sans bractées. Les pédicelles des fleurs inférieures mesurent entre 4 et 18 mm. Les

tépales, de couleur lilas à pourpre, mesurent de 4,5 à 6,1 mm. On compte 6 étamines aux anthères pourpre foncé. Le fruit est une capsule globuleuse de 2 à 3 mm de diamètre.

Cette espèce apparaît relativement fréquente sur l'île de La Galite (observée par Véla, 2011), La présence de cette population sur le littoral nord représente vraisemblablement une nouvelle donnée pour cette région (Cuénod et *al.*, 1954). Sa grande variabilité morphologique rend son rattachement aux populations continentales classiques peu évident à première vue celles-ci présentant généralement des feuilles plus larges et à apex subaigu. Toutefois, cette population reste nettement distincte de toutes les formes connues du complexe *Prospero autumnale* L Speta ainsi que de *Prospero fallax* (Steinh.) Speta.



**Figure 5.** L'espèce *Prospero obtusifolium*

(<https://www.teline.fr>)

➤ **Classification selon (Govaerts, R.H.A. (2011))**

- ✚ Règne : Plantae (Plantes)
- ✚ Embranchement : Streptophyta (Streptophytes)
- ✚ Classe : Equisetopsida (Équisétopsides)
- ✚ Sous-classe : Magnoliidae (Magnoliidées)
- ✚ Ordre : Asparagales (Asparagales)
- ✚ Famille : Asparagaceae (Asparagacées)
- ✚ Genre : *Prospero*
- ✚ Espèce : *Prospero obtusifolium*

**1-5-3.L'espèce *Hyacinthoides lingulata* (*Scilla lingulata* Poiret)**

➤ **Description botanique**

Les bractées florales sont soit absentes, soit réduites à un état rudimentaire. Les feuilles n'apparaissent pas toujours en même temps que les fleurs. L'ovaire est composé de loges contenant chacune deux

ovules. Les anthères sont de couleur pourpre noirâtre. Une bractée florale bien visible est présente. La plante peut fleurir même lorsqu'elle est feuillée, bien que seule la tige florifère se développe.

Les feuilles sont linéaires ou filiformes, mesurant de 1 à 2 cm de large et de 10 à 12 cm de long. Elles ne sont pas hérissées de petits poils (non hispidules). La plante atteint une hauteur de 5 à 30 cm. La tige florifère est droite ou parfois inclinée. Les fleurs présentent une grande variabilité de couleur : bleues, lilas, roses ou blanches. Les graines, quant à elles, sont de couleur noire mate.

Cette espèce est commune dans les forêts et pâturages, notamment dans la région sub-atlasique méditerranéenne (Becal elFar) (Sadoudi Mahdi et *al.*, 2016)



**Figure 6.** L'espèce *Hyacinthoides lingulata* (*Scilla lingulata* Poiret)

( <https://xeraplants.com> / <https://en.wikipedia.org>)

➤ **Classification botanique de *Hyacinthoides lingulata* selon Cronquist (1981)**

- ✚ **Règne :** Plantae
- ✚ **Sous règne :** Tracheobionta
- ✚ **Division :** Magnoliophyta
- ✚ **Classe :** Liliopsida
- ✚ **Sous classe :** Liliidae
- ✚ **Ordre :** Asparagales
- ✚ **Famille :** Hyacinthaceae
- ✚ **Genre :** *Hyacinthoides*
- ✚ **Espèce :** *Hyacinthoides lingulata*

➤ **Classification botanique de *Hyacinthoides lingulata* selon Angiosperm phylogeny group (APG3, 2009)**

- ✚ **Règne :** Plantae
- ✚ **Sous règne :** Tracheobionta
- ✚ **Division :** Magnoliophyta

- ✚ Classe : Liliopsida
- ✚ Sous classe : Liliidae
- ✚ Ordre : Asparagales
- ✚ Famille : Asparagaceae
- ✚ Genre : *Hyacinthoides*
- ✚ Espèce : *Hyacinthoides lingulata*

## 1-6. Répartition géographique des espèces étudiées

### 1-6-1. *Muscari maritimum*

Cuénod (1954) mentionne sa présence dans le nord-est de la Tunisie (La Marsa, Hammam Lif, La Soukra) et dans le Cap Bon. Selon Cuénod (1954), il s'agit d'un taxon à large distribution, s'étendant sur la Tripolitaine, l'Algérie, la Crète, la Palestine et la Syrie. Cependant, Feinbrun-Dothan (1986) limite sa distribution aux pays du Maghreb après avoir étudié des plantes orientales telles que *Muscari bicolor* Boiss. De même, les premières mentions de la Sicile ont été ultérieurement attribuées à *Muscari gussonei* (Parl.) Tod. Selon Dobignard et Chatelain (2010-2013), ce taxon est actuellement considéré comme endémique au Maghreb (de Melilla à Benghazi). Il est rare dans toute son aire de répartition, se limitant à quelques secteurs côtiers ou à l'intérieur (uniquement en Algérie). En Tunisie, Sidi Ali el Mekki constitue une localité récemment identifiée où ce taxon est abondant sur les dunes du versant nord (à l'est de l'aplage de Raf Raf), bien qu'il soit rare sur le versant sud (Ghrabi-Gammar et Véla, 2008). De même, il est présent dans les dunes de Guerbès-Senhadja, entre Skikda et Annaba, dans le nord-est de l'Algérie (Véla et de Bélair, Véla 2011), où il n'avait pas été précédemment signalé.

### 1-6-2. *Prospero obtusifolium*

Cette espèce est présente en Espagne, France, Italie, Maroc, Tunisie, Algérie et Libye (WCSP 2016). En Espagne, elle a été observée dans plusieurs régions du continent, notamment la Communauté valencienne, la zone Murciano-Almeriana, l'ouest de l'Andalousie, ainsi que sur les îles Baléares, en particulier à Ibiza et, de manière plus localisée, à Majorque (Castroviejo et al., 2009, Anthos, 2017). Au Maroc, elle se rencontre dans les plaines et les reliefs du nord (Fennane et al., 2014). En Tunisie, elle est considérée comme très rare dans l'archipel de La Galite et aux alentours de Tunis (Cuénod, 1954 ; Pavon et Véla, 2011 ; Véla 2011.). En Algérie, elle est présente dans plusieurs zones côtières et de piedmont dans le nord du pays (Maire 1958 ; Véla 2011). En Libye, elle a été repérée dans la région orientale de la Cyrénaïque (Ali et al., 1977). En France, elle est limitée au sud de la Corse, où elle est très rare (Paradis et al., 2008). En Italie, elle se trouve principalement dans le nord-ouest de la Sicile (Pignatti 1982, 2014) et en Sardaigne, où sa répartition est fragmentée (Pignatti 1982, 2014).



**Figure 7.** Répartition géographique de l'espèce *Prospero obtusifolium* (Algeria, Balears, Corse, Libye, Morocco, Sardegnna, Sicilia, Spain, Tunisi (Dobignard et Chatelain, 2010))

### 1-6-3. *Hyacinthoides lingulata*

La diversification de ces plantes dans la région méditerranéenne. Les résultats ont révélé une nette division biogéographique, séparant le groupe en deux clades principaux : l'un à distribution principalement orientale et l'autre à distribution plutôt occidentale. Ce schéma de répartition reflète des séparations similaires observées chez d'autres organismes, tels que les chênes et les lézards (De Heredia et al., 2007 ; Paulo et al., 2008). Il est particulièrement remarquable que le clade oriental présente une disjonction marquée : *Hyacinthoides italica* se trouve dans les Alpes Maritimes, en France et en Italie, tandis que les autres taxons du clade *H. lingulata*, à savoir *H. aristidis*, *H. ciliolata* et *H. lingulata*, sont confinés à l'Afrique du Nord, de la Tunisie à l'Algérie, puis jusqu'au Maroc.



**Figure 8.** Répartition géographique de l'espèce *Hyacinthoides lingulata* (Dobignard et Chatelain, 2010)

## Chapitre 2 : Aspect cytogénétique

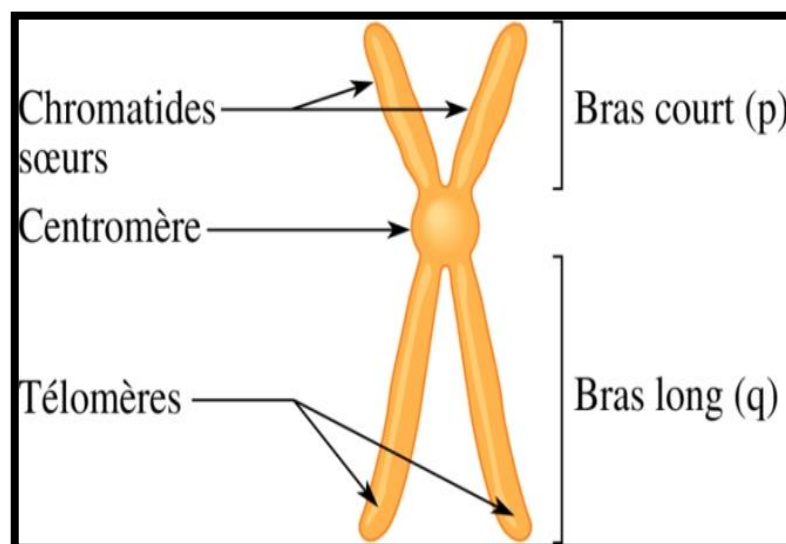
### 2-1. Le génome

Chaque être vivant possède un génome, c'est-à-dire l'ensemble de son information génétique, qu'il s'agisse d'un organisme unicellulaire ou d'un virus. Le terme génome a été introduit en 1920 par le botaniste allemand Hans Winkler, en combinant les mots gène et chromosome. À l'origine, cette notion désignait donc à la fois les unités génétiques (les gènes) et leurs supports physiques (les chromosomes) (Gelderblom, 1996).

Avec le temps, l'aspect « chromosome » du terme a perdu de son importance, et la définition du génome a évolué pour désigner l'ensemble de l'information génétique d'un organisme, codée dans l'ADN, ou dans l'ARN pour certains virus. Cette définition englobe aussi bien les gènes codants que les séquences non codantes de l'ADN (Gelderblom, 1996).

### 2-2 .Le chromosome

Les chromosomes sont des structures en forme de bâtonnets composées de chromatine, le matériel génétique, et deviennent visibles lors de la division cellulaire. Les gènes y sont disposés dans un ordre précis. Chaque chromosome présente une zone de constriction principale appelée centromère, qui relie les deux chromatides sœurs. Les segments situés de part et d'autre du centromère forment les deux bras du chromosome. Selon la position du centromère, on distingue un bras court et un bras long (Griffiths et *al.*, 2002).



**Figure 9.** La structure de chromosome (<https://quizlet.com>)

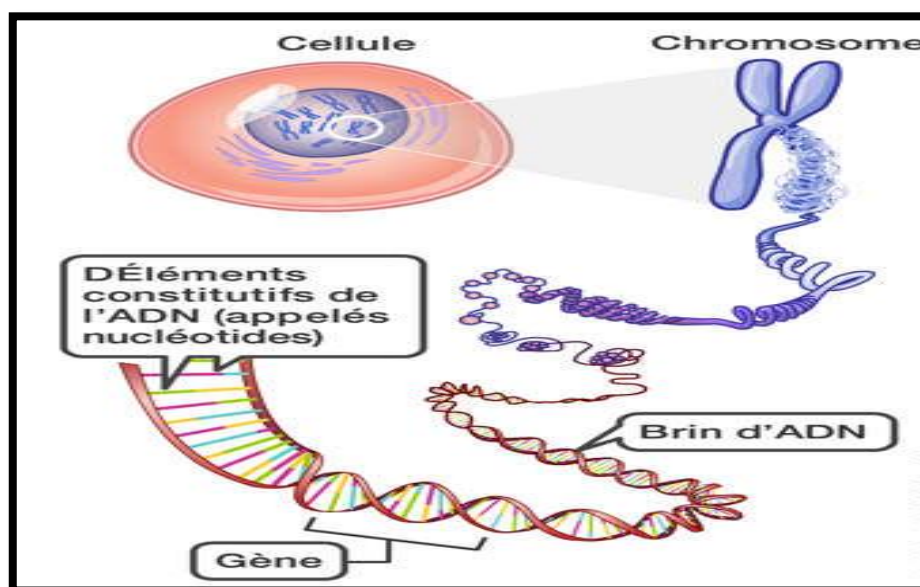
#### 2-2-1. Constitution chromosomique

Chez les eucaryotes, en grande majorité pluricellulaires, les cellules s'organisent en tissus, c'est-à-dire en ensembles de cellules ayant la même structure et la même fonction. L'ADN y est confiné dans le noyau, séparé du cytoplasme par l'enveloppe nucléaire. Durant l'interphase, l'ADN se présente sous forme de chromatine, une structure diffuse composée d'ADN enroulé autour de protéines

appelées histones, qui assurent à la fois un rôle de support et de régulation de l'expression des gènes (Lacan, 2011). Lors de la division cellulaire, la chromatine se condense pour former des chromosomes, chacun étant constitué d'une unique molécule d'ADN (Fontaine, 2003).

L'ADN constitue le support de l'information génétique chez la quasi-totalité des êtres vivants (Avery et *al.*, 1994). Le code génétique, permettant la traduction de l'information contenue dans l'ADN en séquences d'acides aminés, a été identifié en 1961 par Nirenberg et Khorana (Khorana, 1961 ; Nirenberg et *al.*, 1961). Tous les organismes vivants, animaux, plantes, bactéries ou la majorité des virus partagent cette molécule fondamentale à la base de leurs caractéristiques biologiques. Ainsi, l'étude de la vie repose en grande partie sur la compréhension de la structure et du fonctionnement de l'ADN (Griffith et *al.*, 2002).

Les bases azotées de l'ADN sont des composés hétérocycliques aromatiques, formés de carbone et d'azote et présentant divers substituants. L'adénine (A) et la guanine (G) appartiennent à la famille des purines, caractérisées par une structure bicyclique (deux anneaux fusionnés), tandis que la cytosine (C) et la thymine (T) sont des pyrimidines, comportant un seul anneau (Turner et *al.*, 1999). Le comptage des gènes dans le génome est une tâche computationnelle de grande envergure, et étant donné que les gènes traitent fondamentalement de la gestion de l'information, le vocabulaire de l'informatique a été de plus en plus appliqué pour les décrire. Plus précisément, au sein de la communauté de la biologie computationnelle, la structure des gènes est souvent décrite en utilisant le concept de langage formel, de la même manière que les grammaires sont utilisées pour décrire les programmes informatiques avec une syntaxe précise pour la régulation en amont, les exons et les introns (Searls 1997, 2001, 2002). De plus, une métaphore de plus en plus populaire pour décrire les gènes consiste à les envisager comme des sous-programmes dans un grand système d'exploitation (OS). En effet, puisque les nucléotides du génome forment un code qui est exécuté lors des processus de transcription et de traduction, le génome peut être vu comme un système d'exploitation pour un organisme vivant. Dans cette analogie, les gènes agissent comme des sous-programmes individuels dans ce système, étant appelés de manière répétée lors du processus de transcription.



**Figure 10.** Constitution chromosomique (<https://www.aboutkidshealth.ca>)

### 2-2-2. Les centromères

Les centromères déterminent le site d'assemblage des kinétochores, véritables nanomachines responsables du déplacement des chromosomes vers les pôles cellulaires lors de la division (Fukagawa et Earnshaw, 2014) Bien que leur fonction soit remarquablement conservée au cours de l'évolution, les centromères présentent une grande diversité en termes de séquences d'ADN et de protéines associées selon les espèces.

Bien que la région centromérique soit essentielle et que sa fonction soit globalement conservée entre les espèces, la forte divergence des séquences centromériques à la fois entre et au sein des espèces renforce l'hypothèse d'une spécification centromérique à dominante épigénétique. Toutefois, un nombre croissant d'éléments suggère que des ARN dérivés du centromère ainsi que certaines propriétés spécifiques de l'ADN centromérique pourraient également jouer un rôle clé dans la fonction du centromère, suggérant ainsi qu'une composante génétique pourrait intervenir dans sa détermination. (McKinley et Cheeseman , 2015).

Malgré cette diversité de taille, les centromères régionaux des plantes, insectes et mammifères à chromosomes monocentriques (c'est-à-dire ne possédant qu'un seul centromère par chromosome) sont généralement constitués de longues répétitions riches en A/T (et parfois en G/C), appelées séquences satellites. Ces séquences sont souvent entremêlées avec des segments d'ADN plus complexes, incluant des éléments transposables (Melters et *al.*, 2013, Rudd et *al.*, 2004). Les répétitions satellites se trouvent non seulement dans le cœur du centromère, mais aussi dans l'hétérochromatine péricentrique avoisinante (López-Flores I et Garrido-Ramos, 2012). Une configuration différente existe chez certaines espèces de nématodes, d'insectes ou de plantes : leurs

chromosomes sont dits holocentriques, car le centromère s'étend alors sur toute leur longueur (Fukagawa et Earnshaw, 2014).

### 2.2.3. Les types chromosomiques

Les chromosomes peuvent être classés en quatre types selon leur forme, laquelle dépend de la position du centromère :

- **Chromosomes métacentriques**

Le centromère est situé au centre du chromosome, ce qui donne deux bras de longueur à peu près égale.

- **Chromosomes submétacentriques**

Le centromère est légèrement décentré. Les deux bras sont donc de longueurs inégales, un bras court appelé « p » et un bras long appelé « q ».

- **Chromosomes acrocentriques**

Le centromère se trouve près d'une extrémité du chromosome, ce qui donne un bras très court (p) et un bras long (q).

- **Chromosomes télocentriques**

Ce type de chromosome possède un centromère situé très près de l'une de ses extrémités, près des télomères. Lorsqu'un chromosome perd son centromère, on parle alors de chromosome télocentrique. À l'inverse, la présence de deux centromères sur un même chromosome donne naissance à un chromosome dicentrique, une configuration instable pouvant entraîner la rupture du chromosome, notamment lors de la méiose (Lemonde et Clément, 1983).

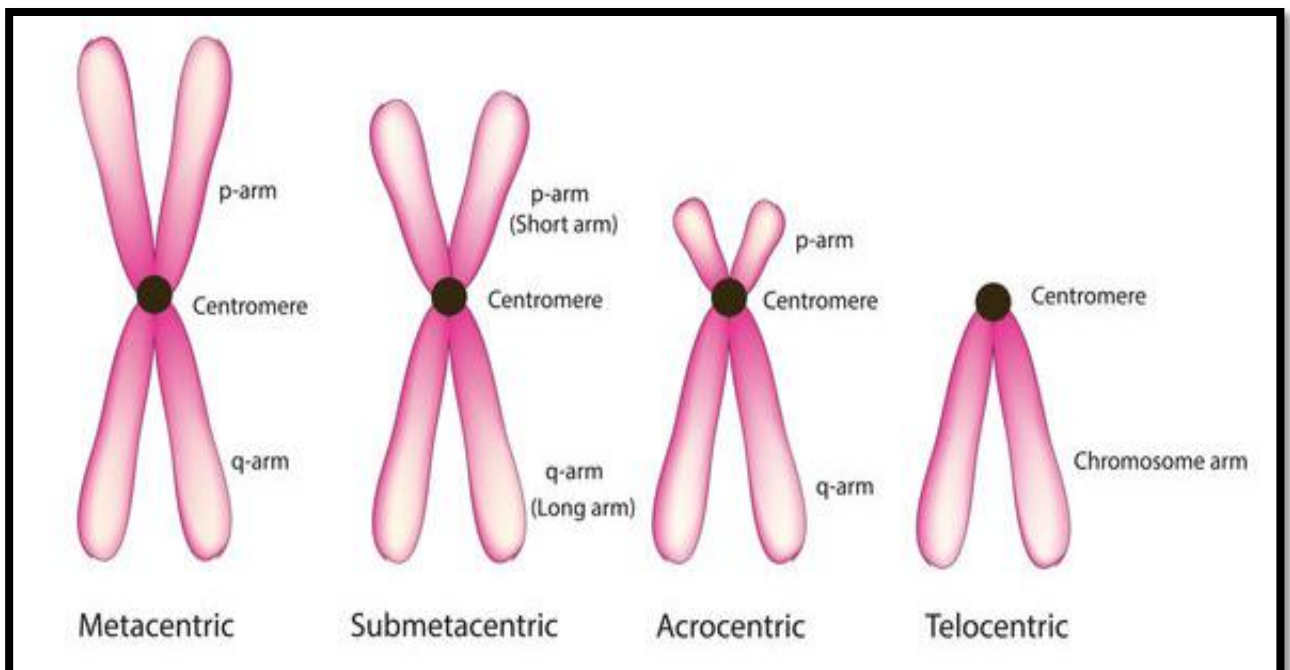


Figure 11. Les quatre types de chromosomes (<https://stock.adobe.com>)

### 2-3. Le caryotype

Un caryotype correspond à une photographie des chromosomes prise lorsqu'ils sont bien visibles (Caquet, 2010). L'observation microscopique constitue le premier niveau d'étude de la structure physique d'un génome. Cette observation est réalisée à des stades spécifiques du cycle cellulaire, lorsque les chromosomes sont bien individualisés et présentent une morphologie optimale notamment au stade de la plaque métaphasique en mitose ou encore lorsqu'ils sont décondensés, comme aux stades pachytène et diplotène de la première division méiotique. Cela permet à la fois de compter les chromosomes et d'analyser leur morphologie (Morot Gaudry et Briat, 2004).

Plusieurs critères sont pris en compte pour décrire la morphologie des chromosomes, notamment la taille, la position du centromère, la présence de satellites, ainsi que les constriction secondaires. D'autres paramètres interviennent également dans l'analyse des caryotypes, tels que la longueur totale et relative des chromosomes, l'indice d'asymétrie du caryotype (IAs %), ou encore le rapport entre la paire de chromosomes la plus longue et celle la plus courte.

Diverses méthodes ont été développées pour localiser le centromère, ce qui a conduit à l'émergence de plusieurs systèmes de classification de la morphologie chromosomique. Cependant, la nomenclature la plus largement acceptée est celle proposée par Levan et *al.*, en 1964 (Tableau2).

Un caryotype est donc composé de deux éléments :

- Le caryogramme : une représentation ordonnée et systématique des chromosomes.
- L'idiogramme : une représentation schématique illustrant la morphologie des chromosomes.
- $D = BL - BC$  (différence entre les longueurs des bras longs (BL) et des bras courts (BC)) .
- $R = BL / BC$  (rapport des longueurs des bras).
- $I.C = BC / LT \times 100$  (indice centromérique).
- LT (Longueur total du chromosome).

**Tableau 1** : Nomenclature chromosomique proposée par (Levan et *al.*, 1964).

Position du centromère	D (µm)	R	I.C	Type chromosomique
Position médiane	0.00	1.00	50.00	Métacentrique Stricto
Région médiane	0.00 – 2.50	1.0 – 1.70	50.00 – 37.50	Métacentrique sensu largo
Région sub-médiane	2.50 – 5.00	1.70 – 3.00	37.50 – 25.00	Submétacentrique
Région sub-terminale	5.00 – 7.50	3.00 – 7.00	25.00 – 12.50	Subtélocentrique

Région terminale	7.50 – 10.00	7.00 – ∞	12.50 – 0.00	Acrocentrique
Point terminale	10.00	∞	0.00	Télocentrique

#### 2-4. L'asymétrie du caryotype

Lewisky (1931) est le premier à introduire la notion d'asymétrie dans l'étude du caryotype. Plus tard, Stebbins (1971) reprend ce concept et l'applique à un grand nombre d'espèces. Il propose une classification des caryotypes basée sur leur degré d'asymétrie, principalement en fonction du rapport entre la plus longue (BL) et la plus courte (BC) paire chromosomique.

Un caryotype est dit symétrique lorsque les chromosomes sont de tailles relativement similaires et de types métacentriques ou submétacentriques, ce qui lui confère un aspect homogène. En revanche, un caryotype asymétrique présente des chromosomes de tailles très variées, souvent de types subtélocentriques, télocentriques ou acrocentriques (Siljak Yakovlev, 1986).

L'asymétrie est généralement considérée comme un indicateur de l'évolution d'une espèce.

#### 2-5. Indices d'asymétrie

La recherche d'un indice reflétant l'asymétrie du caryotype a débuté avec Lewitsky (1931) et s'est poursuivie avec Huziwara (1962), Arano (1963), Stebbins (1971), ainsi que de nombreux autres chercheurs (Peruzzi et Eroğlu, 2013). Pendant longtemps, ces indices ont été largement utilisés par les cytogénéticiens et cytotaxonomistes pour analyser les relations taxonomiques entre espèces apparentées (Dematteis, 1998 ; D'Emerico *et al.*, 1999 ; Selvi *et al.*, 2006 ; Felix *et al.*, 2007 ; Peruzzi *et al.*, 2009 ; Souza *et al.*, 2010).

Stebbins (1971) a proposé que les caryotypes asymétriques dérivent de caryotypes symétriques, une hypothèse qui n'a cependant pas encore été véritablement testée.

Les indices actuellement utilisés peuvent être regroupés en deux grandes catégories :

- Indices d'asymétrie interchromosomique, qui évaluent la variation de taille entre les chromosomes.
- Indices d'asymétrie intrachromosomique, qui mesurent les différences dans la position du centromère au sein des chromosomes d'un même complément chromosomique (Stebbins, 1971; Peruzzi et Eroğlu, 2013).

#### 2-6. Indices d'asymétrie intrachromosomique

##### ➤ Pourcentage de forme totale (TF% ; Huziwara, 1962)

Il s'agit du rapport entre la somme des longueurs des bras courts (p) et la somme totale des longueurs de tous les chromosomes dans le caryotype.

$$TF\% = \frac{\text{somme des longueurs des bras courts (p)}}{\text{somme de la longueur totale du caryotype}} \times 100$$

➤ **Indice d'asymétrie du caryotype (Ask% ; Arano, 1963)**

C'est le rapport entre la somme des longueurs des bras longs (q) et la longueur totale de l'ensemble des chromosomes.

$$\text{Ask\%} = \text{somme des longueurs des bras longs (q)} / \text{somme de la longueur totale du caryotype} \times 100$$

➤ **Indice de symétrie (Syi ; Greilhuber et Speta, 1976)**

C'est le rapport entre la longueur moyenne des bras courts (p) et celle des bras longs (q), multiplié par 100.

$$\text{Syi} = (\text{moyenne des longueurs de (q)} / \text{moyenne des longueurs de (p)}) \times 100$$

➤ **Indice d'asymétrie intrachromosomique A1 (Romero-Zarco, 1986)**

C'est la somme des rapports entre la longueur moyenne des bras courts ( $b_i$ ) et celle des bras longs ( $B_i$ ) pour chaque paire de chromosomes homologues, divisée par le nombre total de paires (n)

$$A1 = 1 - \sum (b_i/B_i)/n$$

Cette approche a été modifiée par Watanabe et *al.*, (1999), qui ont proposé un indice d'asymétrie A, également appelé MCA (Mean Centromeric Asymmetry) par Peruzzi et Eroğlu (2013).

Cet indice est calculé à partir de la différence entre les longueurs des bras longs ( $B_i$ ) et des bras courts ( $b_i$ ) de chaque chromosome, divisée par leur somme ( $B_i + b_i$ ).

La somme de ces rapports pour tous les chromosomes est divisée par le nombre haploïde de chromosomes (n).

$$\text{Formule : } A = \sum (B_i - b_i / B_i + b_i) / n$$

La classification de Stebbins (1971) constitue l'une des premières méthodes quantitatives permettant d'évaluer le degré d'asymétrie d'un caryotype. Elle repose sur deux critères principaux :

- ✓ Le rapport entre les bras long et court des chromosomes (arm ratio).
- ✓ Le rapport entre la taille du plus grand et du plus petit chromosome du complément chromosomique.

Cette méthode distingue quatre classes (de 1 à 4) selon la proportion croissante de chromosomes dont le rapport bras long/bras court est supérieur à 2:1, traduisant une asymétrie croissante. Parallèlement, trois catégories (A, B, C) sont définies en fonction de l'augmentation du rapport de taille entre le plus grand et le plus petit chromosome.

La combinaison de ces deux critères permet de classer les caryotypes en 12 types (1A à 4C), reflétant différents niveaux d'asymétrie structurelle et dimensionnelle (voir tableau 2).

**Tableau 2:** Classification des caryotypes (Stebbins, 1971) Rapport entre le plus grand et le plus petit chromosome. Proportion de chromosomes avec un rapport bras long/bras court  $> 2:1$

<b>Proportion de chromosomes avec un arm ratio <math>&gt; 2:1</math></b>	<b>0,0</b>	<b>0,01-0,5</b>	<b>0,51-0,99</b>	<b>1,0</b>
<b><math>&lt; 2 : 1</math></b>	1A	2A	3A	4A
<b>Entre <math>2 : 1</math> et <math>4 : 1</math></b>	1B	2B	3B	4B
<b><math>&gt; 4 : 1</math></b>	1C	2C	3C	4C

### Chapitre 3 : Matériel et méthodes

#### 3-1. Matériel végétal utilisé

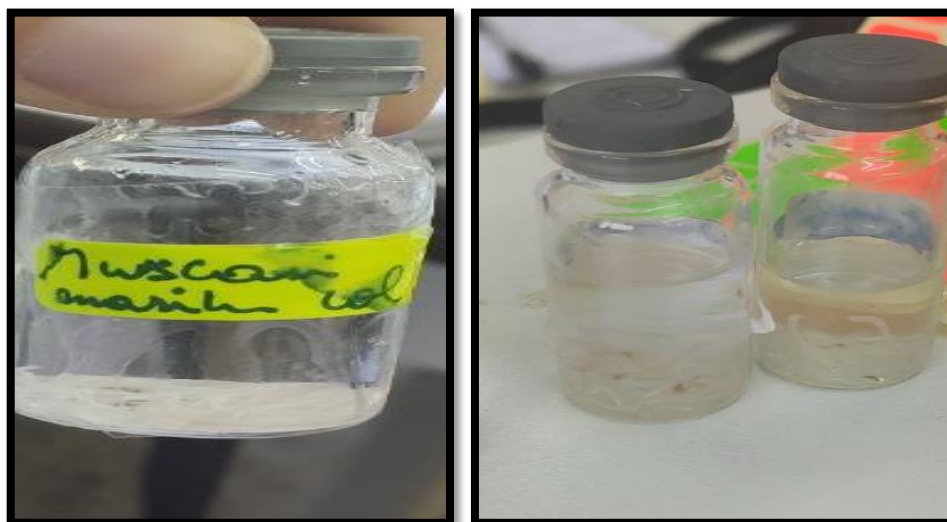
Le matériel végétal utilisé dans cette étude comprend trois espèces appartenant à la famille des Asparagaceae : *Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium* et *Hyacinthoides lingulata* et Ces espèces ont été choisies en raison de leur présence sur le territoire algérien et de leur intérêt du point de vue taxonomique, écologique et cytogénétique.

Les échantillons ont été collectés à l'état naturel dans diverses régions d'Algérie, en particulier dans la wilaya de Skikda, qui constitue une zone de répartition pour ces espèces.

**Tableau 3** : localités des espèces étudiées récolté par (Nassar et Sakhraoui.,2024).

Espèce	Localité	Habitat	latitude	longitude	Altitude	Mois de collecte
<i>Hyacinthoides lingulata</i>	Larbi Ben M'Hidi	Dunes littorales	36°53'08"N	7°00'55"E	40 m	Septembre
<i>Prospero obtusifolium</i>	Ramdan Djamel	oliveraies	36°45'18"N	6°54'40"E	90 m	Décembre
<i>Muscari maritimum</i>	Larbi Ben M'Hidi	Dunes littorales	36°53'08"N	7°08'01"E	40m	Septembre

Les spécimens récoltés ont été transportés au laboratoire dans des conditions appropriées pour préserver leur intégrité morphologique et chromosomique, en vue des analyses cytogénétiques futures.



**Figure 12.** Les racines conservées dans les flacons de trois espèces *Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium*, *Hyacinthoides lingulata*

## **3-2. Méthodes**

### **3-2-1. Germination**

Après avoir désinfecté les graines des espèces étudiées dans l'eau de javel diluée à l'eau distillée 2% pendant 10 minutes, les graines sont mises à germer dans des boîtes de pétri en verre tapissée de papier absorbant et imbibées d'eau distillée à une température ambiante. Lorsque les racicules atteignent une longueur de 0.5 à 1 cm nous passons à l'étape suivante :

### **3-2-2. Le prétraitement**

Les racicules sont prétraitées à la 8 hydroxy-quinone pendant 3-4 heures dans une température constante à 16 C°.

### **3-2-3. La fixation**

Le fixateur utilisé est le 3v-1v (3 Ethanol-1 Acide acétique), son rôle est de détruire toute vie cellulaire.

### **3-2-4. La conservation**

La conservation des pointes racinaires est faite dans l'éthanol à 70%.

### **3-2-5. L'hydrolyse**

C'est une étape de macération très critique où la température et la normalité de l'HCl 1 fois N à 60 C° pendant 15 à 17 min.

### **3-2-6-La coloration**

Elle se fait dans la fuchsine sulfurée pendant 1h , elle permet de distinguer les zones méristématiques.

### **3-2-7. Montages des lames**

Observation avec colorant acétique : Pour l'observation microscopique, on peut utiliser un colorant acétique comme le carmin acétique ou l'orcéine acétique (45%) qui colore les chromosomes en rose, facilitant leur visualisation.

Écrasement les méristèmes sont écrasés sur lame sous lamelle pour étaler les chromosomes et permettre leur observation. L'observation des meilleures plaques métaphasiques s'effectue sous l'objectif x40, et la prise des photos de fait avec l'objectif x100.

## Chapitre 4: Résultats et Discussion

### 4-1. Résultats chromosomiques par espèce

L'analyse cytogénétique a également été menée sur trois espèces appartenant à la famille des Asparagaceae : *Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium* et *Hyacinthoides lingulata*, toutes récoltées dans le nord-est de l'Algérie (région de Skikda). Il s'agit des premières données chromosomiques signalées pour ces espèces dans cette région. Les chromosomes à la métaphase mitotique sont illustrés dans les figures 13, 14 et 15 correspondant respectivement aux espèces *Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium* et *Hyacinthoides lingulata*. Les paramètres caryotypiques détaillés, comprenant les formules chromosomiques, les indices d'asymétrie et les longueurs totales, sont synthétisés dans les tableaux associés.

Les résultats montrent une variation du nombre chromosomique de base entre les espèces étudiées :  $x = 9$  pour *Muscari maritimum*,  $x = 4$  pour *Prospero obtusifolium*, et  $x = 8$  pour *Hyacinthoides lingulata*.

L'analyse morphométrique repose sur plusieurs critères : la taille absolue des chromosomes, la position du centromère, ainsi que l'homologie entre chromosomes de la même garniture. La construction des caryotypes s'est appuyée sur des paramètres complémentaires tels que la longueur totale (LT), la taille relative (TR), le rapport bras long / bras court et le degré d'asymétrie, permettant une caractérisation précise du caryotype de chaque espèce.

#### 4-1-1. *Muscari maritimum*

L'analyse morphométrique des chromosomes de *Muscari maritimum* révèle une diversité modérée dans la taille des chromosomes et une variation marquée dans la position des centromères. La longueur totale des chromosomes (LT) varie de 2,6  $\mu\text{m}$  à 8,45  $\mu\text{m}$ , avec une somme totale de 45,66  $\mu\text{m}$  pour les neuf paires. Les bras courts (BC) mesurent entre 0,6  $\mu\text{m}$  et 2,05  $\mu\text{m}$ , tandis que les bras longs (BL) vont de 1,9  $\mu\text{m}$  à 6,55  $\mu\text{m}$ . L'indice centromérique (IC%) s'étend de 13,86 % (paire 3) à 35,34 % (paire 4), indiquant une répartition des centromères allant de positions sub-télocentriques à submétacentriques.

Parmi les neuf paires chromosomiques, trois (paires 4, 5 et 9) sont submétacentriques, avec un IC compris entre 28 % et 35 %, tandis que les six autres (paires 1, 2, 3, 6, 7 et 8) sont sub-télocentriques, avec un IC inférieur à 25 %. Aucun chromosome acrocentrique ni télocentrique strict n'a été observé.

Cette distribution indique un caryotype modérément asymétrique, dominé par des chromosomes à centromères décalés vers l'une des extrémités. La formule chromosomique de *Muscari maritimum*, basée sur la position des centromères, est :  $2n = 2x = 18 = 3sm + 6st$ , ce qui confirme que l'espèce est diploïde avec un nombre de base  $x = 9$ , comportant trois paires de chromosomes submétacentriques et six paires sub-télocentriques. (Tableau 4)

**Tableau 4. Caractères morphométriques des chromosomes de l'espèce *Muscari maritimum*.**

Paires	BC ( $\mu\text{m}$ )	BL ( $\mu\text{m}$ )	LT ( $\mu\text{m}$ )	BC/BL = R	BL/ BC	BL - BC	IC	TC
1	1.9	6.55	8.45	0.29	3.44	4.65	22.48	sub-télocentrique
2	1.75	6	7.75	0.29	3.42	4.25	22.58	sub-télocentrique
3	0.95	5.9	6.85	0.16	6.21	4.95	13.86	sub-télocentrique
4	2.05	3.75	5.8	0.54	1.82	1.7	35.34	Submétacentrique
5	1.5	2.91	4.41	0.51	1.94	1.41	34.01	Submétacentrique
6	0.7	3.05	3.75	0.22	4.35	2.35	18.66	sub-télocentrique
7	0.6	2.55	3.15	0.23	4.25	1.95	19.04	sub-télocentrique
8	0.7	2.2	2.9	0.31	3.14	1.5	24.13	sub-télocentrique
9	0.75	1.9	2.6	0.34	2.35	1.15	28.84	Submétacentrique
$\Sigma$	10.9	34.81	45.66	2.89	30.92	23.91		

**BC:** longueur du bras court, **BL :** longueur du bras long, **LT:** longueur totale, **IC:** indice centrométrique, **TC:** type chromosomique.

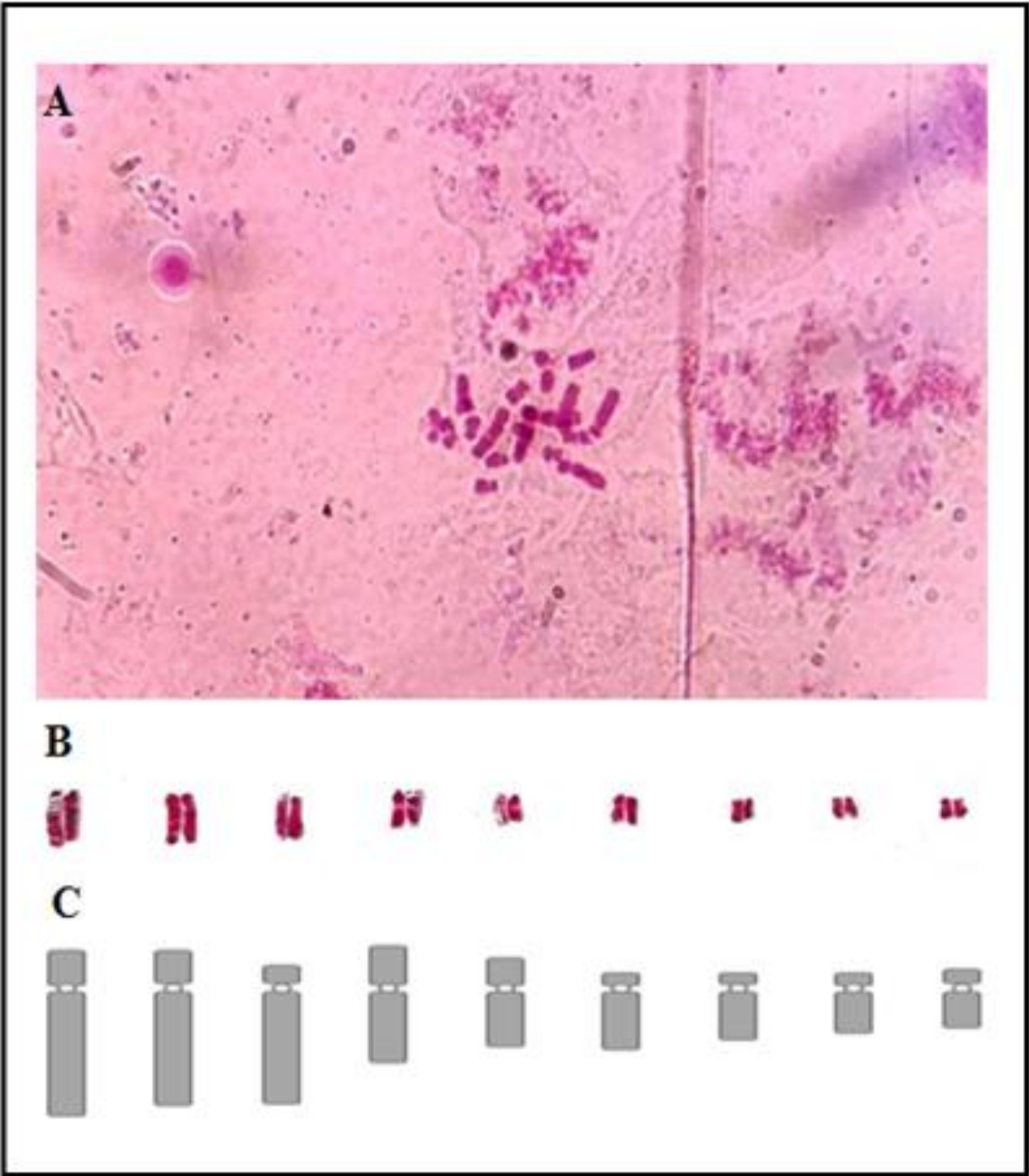


Figure 13. Caryotype de l'espèce *Muscari maritimum*

A : Plaque métaphasique

B : Caryogramme

C : Idiogramme

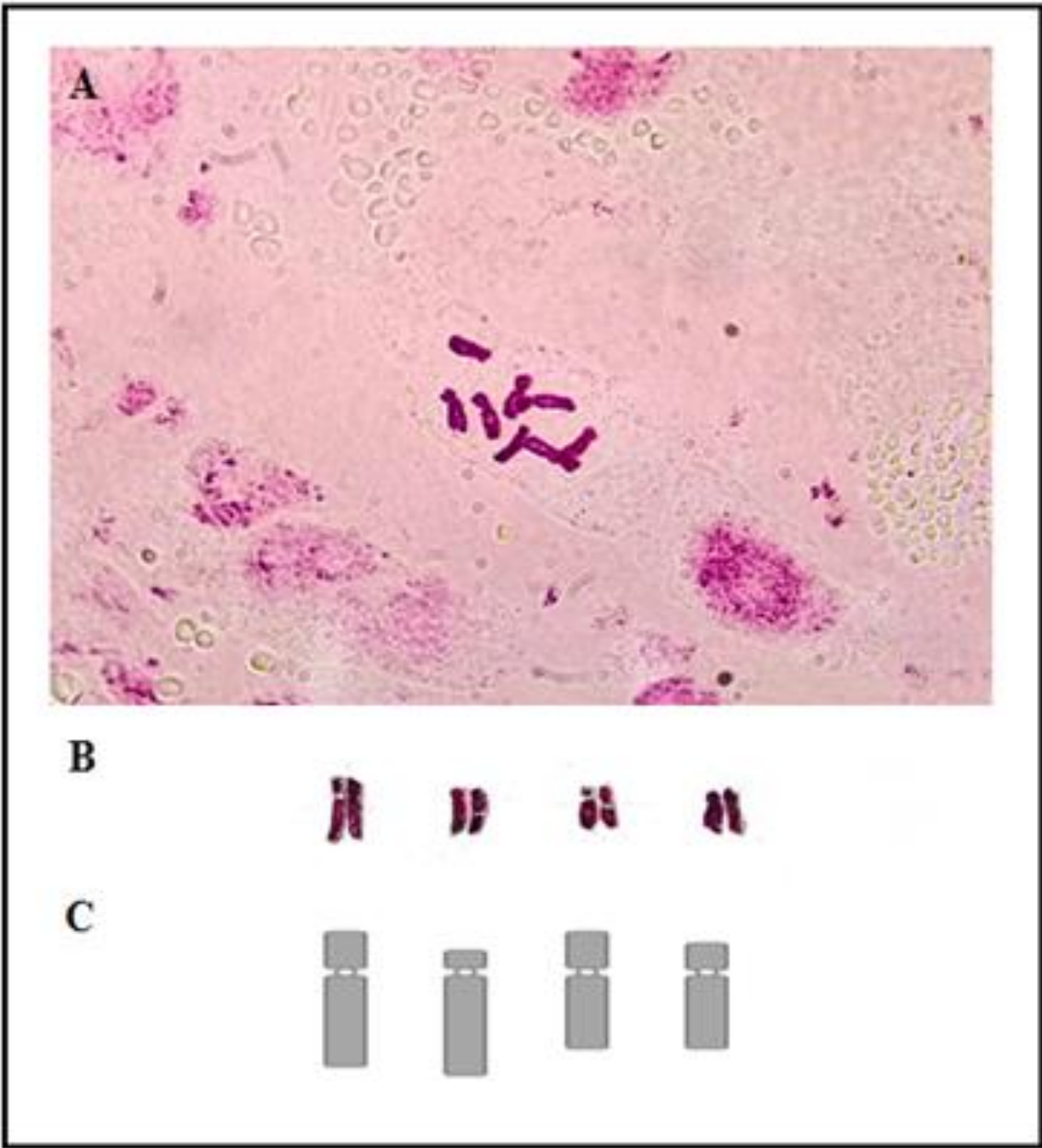
#### 4-1-2. *Prospero obtusifolium*

L'analyse morphométrique des chromosomes de *Prospero obtusifolium* révèle une diversité dans la taille et la position des centromères, déterminée à partir des mesures des bras courts (BC) et des bras longs (BL). Les longueurs totales des chromosomes (LT) varient entre 5,5  $\mu\text{m}$  et 7  $\mu\text{m}$ , avec une longueur totale de 25  $\mu\text{m}$  pour l'ensemble des quatre paires. L'indice centromérique (IC%) varie de 15,38 % à 33,33 %, ce qui permet de classer les chromosomes selon la position du centromère. Trois paires (1, 3 et 4) sont submétacentriques (IC% compris entre 25 % et 33 %), tandis que la paire 2 est sub-télocentrique (IC% inférieur à 20 %). Ces résultats indiquent une légère asymétrie du caryotype. La formule chromosomique de *Prospero obtusifolium*, basée sur la position des centromères, est :  $2n = 2x = 8 = 3sm + 1st$ , ce qui signifie que l'espèce est diploïde avec un nombre de base  $x = 4$ , comprenant trois paires de chromosomes submétacentriques (sm) et une paire sub-télocentrique (st). (Tableau 5)

**Tableau 5:** Caractères morphométriques des chromosomes de l'espèce *Prospero obtusifolium*

Paires	BC ( $\mu\text{m}$ )	BL ( $\mu\text{m}$ )	LT ( $\mu\text{m}$ )	BC/BL=R	BL/BC	BL- BC	IC%	TC
1	2	5	7	0.4	2.5	3	28.57	Submétacentrique
2	1	5.5	6.5	0.18	5.5	4.5	15.38	sub-télocentrique
3	2	4	6	0.5	3	2	33.33	Submétacentrique
4	1.5	4	5.5	0.37	2.66	3.5	27.27	Submétacentrique
$\Sigma$	6.5	18.5	25	1.45	13.66	13		

**BC:** longueur du bras court, **BL :** longueur du bras long, **LT:** longueur totale, **IC:** indice centromérique, **TC:** type chromosomique.



**Figure 14.**Caryotype de l'espèce *Prospero obtusifolium*

A : Plaque métaphasique

B : Caryogramme

C : Idiogramme

#### 4-1-3. *Hyacinthoides lingulata*

L'analyse morphométrique des chromosomes de *Hyacinthoides lingulata* met en évidence une forte asymétrie dans la taille et la morphologie chromosomique, traduite par une prédominance marquée de chromosomes acrocentriques, sub-télocentriques et télocentriques. La longueur totale des chromosomes varie de 2,85  $\mu\text{m}$  à 13  $\mu\text{m}$ , avec une longueur totale cumulative de 60  $\mu\text{m}$  pour les huit paires étudiées. La majorité des chromosomes présentent des bras courts nettement réduits, voire absents ( $BC = 0$ ), comme observé pour les paires 4 et 7, classées comme télocentriques. L'indice centrométrique (IC), oscillant entre 0 % et 30,76 %, permet de distinguer deux chromosomes submétacentriques (paires 5 et 8), trois sub-télocentriques (paires 1, 2 et 6), un acrocentrique (paire 3) et deux télocentriques (paires 4 et 7). Cette répartition témoigne d'un caryotype nettement asymétrique, dominé par des chromosomes à centromère excentré. La formule chromosomique de *Hyacinthoides lingulata* peut être résumée ainsi :  $2n = 2x = 16 = 2sm + 3st + 1a + 2t$ , traduisant un nombre diploïde à base  $x = 8$  de chromosomes avec une nette prépondérance de formes asymétriques, indicatrice d'une organisation chromosomique évolutivement dérivée. (Tableau 6)

**Tableau 6:** Caractères morphométriques des chromosomes de l'espèce *Hyacinthoïde lingulata*

Paires	BC ( $\mu\text{m}$ )	BL ( $\mu\text{m}$ )	LT ( $\mu\text{m}$ )	BC/B=R	BL/BC	BL- BC	IC	TC
1	3	10	13	0.3	3.33	7	23.07	sub-télocentrique
2	2	9	11	0.22	4.5	7	18.18	sub-télocentrique
3	1	9.4	10.4	0.1	9.4	8.4	9.61	Acrocentrique
4	0	8	8	0	$\infty$	8	0	Télocentrique
5	2	4.5	6.5	0.44	2.25	2.5	30.76	submétacentrique
6	1.25	4	5.25	0.31	3.2	3.25	23.80	sub-télocentrique
7	0	3	3	0		3	0	Télocentrique
8	0.85	2	2.85	0.42	2.35	1.15	29.82	submétacentrique
$\Sigma$	10.1	49.9	60	1.79	25.03	40.3		

**BC:** longueur du bras court, **BL :** longueur du bras long, **LT:** longueur totale, **IC:** indice centrométrique, **TC:** type chromosomique.

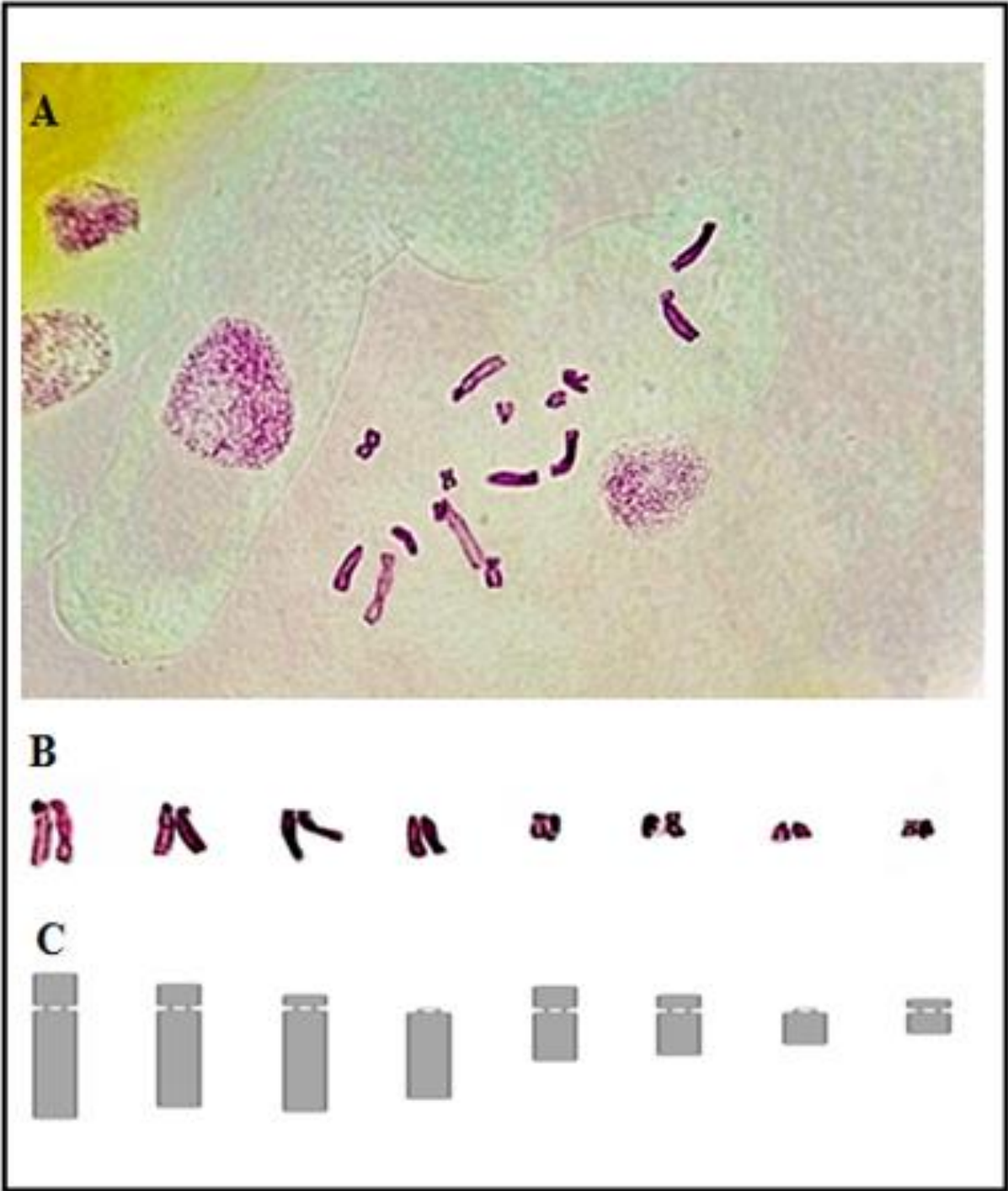


Figure 15. Caryotype de l'espèce *Hyacinthoides lingulata*

A : Plaque métaphasique

B : Caryogramme

C : Idiogramme

#### 4-2. Indices d'asymétrie intrachromosomique des trois espèces

Le tableau 7 présente plusieurs indices cytogénétiques permettant d'évaluer la structure et le niveau de symétrie des caryotypes de trois espèces étudiées, *Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium* et *Hyacinthoides lingulata*. Ces indices incluent : TF% (Total Form pourcentage), qui reflète la proportion de chromosomes métacentriques donc la symétrie globale ; ASK% (Asymmetry Karyotype index), indiquant le degré d'asymétrie du caryotype ; SYI% (Symmetry Index), mesurant la symétrie relative ; MCA(A) (Mean Centromeric Asymmetry), qui donne une idée de la position moyenne du centromère ; et A1, un indice d'asymétrie intrachromosomique.

Comparativement, *Prospero obtusifolium* présente le TF% le plus élevé (26%), ce qui indique une meilleure proportion de chromosomes métacentriques et donc une symétrie plus marquée. Il affiche également le SYI% le plus élevé (35%) et l'ASK% le plus bas (74%) parmi les trois espèces, ce qui confirme un caryotype globalement très symétrique. De plus, son indice A1 est le plus faible (0.63), traduisant une faible asymétrie intrachromosomique, c'est-à-dire une position du centromère relativement équilibrée.

*Muscari maritimum*, quant à lui, occupe une position intermédiaire. Il présente un TF% de 23.87%, un ASK% de 76.23%, et un SYI% de 31.31%, indiquant une symétrie modérée. Son indice MCA est le plus bas (0.06), ce qui reflète une forte prédominance de chromosomes métacentriques. Son indice A1 (0.68) montre une asymétrie intrachromosomique légèrement plus marquée que chez *Prospero obtusifolium*.

En revanche, *Hyacinthoides lingulata* se distingue par un caryotype très asymétrique. Elle possède le TF% le plus faible (16.83%), le SYI% le plus bas (20.24%), et le ASK% le plus élevé (83.16%), ce qui traduit un déséquilibre chromosomique important. Son MCA (0.08) est légèrement supérieur à celui de *Muscari maritimum*, et son indice A1 (0.77) confirme une asymétrie intrachromosomique notable.

En résumé, *Prospero obtusifolium* possède le caryotype le plus symétrique globalement, *Muscari maritimum* est modérément asymétrique, tandis que *Hyacinthoides lingulata* présente la plus grande asymétrie, tant sur le plan global que centromérique. Ces différences traduisent probablement des adaptations évolutives distinctes ou des niveaux de différenciation chromosomique variables entre les espèces.

**Tableau 7: Les valeurs des indices d'asymétrie intrachromosomique chez les trois espèces**

L'espèce	TF%	ASK%	SYI%	MCA(A)	A1
<i>Muscari maritimum</i>	23.87	76.23	31.31	0.06	0.68
<i>Prospero obtusifolium</i>	26%	74%	35%	0.13	0.63
<i>Hyacinthoides lingulata</i> .	16.83	83.16	20.24	0.08	0.77

### 4-3. Classement des trois espèces selon Stebbins (1971)

Le Tableau 8 présente une synthèse des caractéristiques caryologiques de trois espèces : *Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium* et *Hyacinthoides lingulata*, en se basant sur deux indicateurs principaux : le rapport de longueur chromosomique (R) et le bras ratio moyen, permettant de déterminer le type de caryotype selon la classification de Stebbins.

L'espèce *Prospero obtusifolium* se distingue par un rapport de longueur (R) de 1,4, indiquant une faible variation de taille entre les chromosomes, ainsi qu'un bras ratio moyen de 0,62, ce qui reflète une position centromérique modérément centrale. Ces caractéristiques traduisent une faible asymétrie caryologique, classant cette espèce en type 3A, soit un caryotype relativement symétrique. Cela suggère que *P. obtusifolium* conserve des traits chromosomiques proches d'un état ancestral, plus stable et équilibré.

En comparaison, *Muscari maritimum* montre un R plus élevé de 3,21, révélant une variation de taille plus importante entre les chromosomes. Son bras ratio de 0,83 indique une position centromérique plus excentrée, traduisant une asymétrie plus marquée. Cette espèce est ainsi classée en type 3B, ce qui correspond à un niveau intermédiaire d'asymétrie, à mi-chemin entre des caryotypes symétriques et très asymétriques. Ce degré de diversification pourrait refléter une certaine dynamique évolutive au sein du genre *Muscari*.

Enfin, *Hyacinthoides lingulata* présente les valeurs les plus extrêmes, avec un R de 4,33 (la plus grande variation de taille chromosomique) et un bras ratio de 0,81, soulignant la présence dominante de chromosomes subtélocentriques à acrocentriques. Ce profil très asymétrique conduit à un classement en type 3C, le plus asymétrique des types présents dans le tableau. Ce degré élevé d'asymétrie peut traduire une évolution chromosomique avancée, marquée par des réarrangements structuraux tels que des translocations ou des fusions/fissions, typiques d'espèces ayant subi une diversification adaptative.

En résumé, le classement caryologique selon Stebbins dans le Tableau 8 montre une progression croissante de l'asymétrie, allant de *Prospero obtusifolium* (3A) à *Muscari maritimum* (3B), puis à *Hyacinthoides lingulata* (3C). Cette gradation pourrait refléter des trajectoires évolutives différentes, liées à l'adaptation à des environnements spécifiques, à la spéciation, ou à l'accumulation de remaniements chromosomiques au cours du temps.

**Tableau 8:** Classification des trois espèces selon les catégories de Stebbins (1971)

Espèce	R	Bras ratio	Type du caryotype
<i>Muscari maritimum</i>	3.21	0.83	3B
<i>Prospero obtusifolium</i>	1.4	0.62	3A
<i>Hyacinthoides lingulata</i>	4.33	0.81	3C

#### 4-4. Discussion

Les espèces de la sous-famille Scilloideae (anciennement Hyacinthaceae), appartenant à la famille des Asparagaceae, constituent un modèle pertinent pour l'étude de l'évolution des génomes végétaux, notamment en ce qui concerne les modifications du caryotype liées à la variation du nombre chromosomique. Dans le cadre de cette étude, trois taxons *Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium* et *Hyacinthoides lingulata* ont été analysés sous l'angle de la caryomorphologie. Les résultats obtenus permettent de mieux caractériser les particularités chromosomiques propres à chaque espèce, et offrent des éléments utiles à la compréhension de l'évolution chromosomique au sein du groupe

##### 4-4-1. *Muscari maritimum*

*Muscari maritimum* est une espèce moins commune. La population étudiée se développe sur des dunes littorales, un habitat caractérisé par des sols sablonneux exposés et un environnement soumis à des conditions climatiques arides. Elle est également diploïde avec un nombre chromosomique de  $2n = 18$ .

Nos observations confirment donc la stabilité de ce nombre chromosomique à travers différentes régions du bassin méditerranéen.

Le nombre chromosomique  $2n = 18$  a été précédemment mentionné par Garbariet Di Martino ,(1972) pour des spécimens dont l'origine n'était pas précisée, ainsi que par Troiaet al., (2014) pour une population tunisienne localisée au Cap Bon. Toutefois, à notre connaissance, la structure du caryotype de *M. maritimum* est décrite ici pour la première fois., une espèce endémique de Sicile (Garbari et Di Martino, 1972 ; Davis et Stuart ,1980), dont le caryotype se compose de dix chromosomes de grande taille et de huit de petite taille (Ruiz Rejón et al., 1985). Comparé à *M. comosum*, *M. maritimum* présente un caryotype moins asymétrique, ce qui se traduit par une valeur plus faible de son indice d'asymétrie centromérique (MCA).

Nos résultats confirment que *Muscari maritimum* présente un caryotype asymétrique modéré, ce qui indique un certain degré de diversification chromosomique. Cette asymétrie, bien que présente, reste intermédiaire et pourrait refléter une dynamique évolutive en cours au sein de l'espèce. Toutefois, cette observation diffère légèrement des conclusions de certains auteurs antérieurs, qui décrivent un caryotype moins asymétrique pour la même espèce, suggérant ainsi une plus grande stabilité chromosomique.

L'asymétrie modérée suggère un certain degré d'évolution chromosomique, tout en conservant une organisation relativement stable.

#### **4-4-2. *Prospero obtusifolium***

Le genre *Prospero* se caractérise par une grande variabilité en termes de nombre et de structure chromosomiques. Des modifications du nombre de base par dyploïdie ( $x = 4, 5, 6$  et  $7$ ) ont eu lieu, accompagnées de niveaux importants de polyploïdie, à la fois autoploïde et alloploïde (Ainsworth et al., 1983. Vaughan et al., 1997).

*P. obtusifolium*, qui est strictement diploïde avec un nombre chromosomique de  $2n = 8$ , et dont la répartition est limitée aux îles de la Méditerranée occidentale ainsi qu'aux régions continentales voisines (Jang et al., (2013).

Nos résultats sur le nombre et la formule des chromosomes confirment ceux d'Ebert et al. (1996), Hamouche et al. (2010) et Jang et al. (2013), qui ont tous observé un unique type chromosomique ( $2n = 8$ ) dans les populations du bassin méditerranéen. Cela démontre que l'espèce a maintenu une stabilité remarquable de son caryotype, malgré la diversité des habitats et sa large distribution géographique. De plus, Nasser et al. (2023), ont souligné que *P. autumnale* et *P. obtusifolium* présentent des valeurs d'asymétrie significativement réduites, ce qui peut également être lié à cette stabilité caryotypique au sein de l'espèce.

En résumé, *Prospero obtusifolium* présente un caryotype est relativement symétrique selon le classement de Stebbins en type 3A, ce qui signifie qu'il présente une faible asymétrie globale. Cela implique que les chromosomes de cette espèce ont une répartition de taille relativement égale et que les centromères sont placés de manière plutôt centrale (ce qui est caractéristique d'un caryotype symétrique).

#### **4-4-3. *Hyacinthoides lingulata***

Bien que présentant une grande variabilité morphologique, *Hyacinthoides lingulata* a souvent été considérée comme une espèce endémique d'Afrique du Nord. Pour de nombreux auteurs, l'appartenance taxonomique de *Scilla lingulata* est clairement rattachée à *Hyacinthoides lingulata* (Speta, 1998).

Concernant cette espèce, nous avons observé un nombre chromosomique de  $2n = 16$ , en accord avec les données cytologiques antérieures qui la considèrent comme diploïde (Satô, 1942 ; Speta, 1979 ; Corsi et *al.*, 1996). Ce nombre a également été confirmé par Fiorini et Raffaelli (1996) en Tunisie, qui ont identifié un nombre de base  $x = 8$ .

Ces résultats indiquent que *Hyacinthoides lingulata* possède un caryotype évolué et nettement asymétrique, reflétant une évolution génétique continue. Cela souligne l'importance de l'étude des structures chromosomiques et de leur asymétrie pour mieux comprendre la diversité et l'adaptation évolutive des plantes dans des environnements changeants.

### Conclusion

L'étude caryomorphologique menée sur *Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium* et *Hyacinthoides lingulata* met en évidence une diversité notable dans la structure et l'asymétrie des caryotypes, reflétant des trajectoires évolutives différenciées au sein de la sous-famille Scilloideae. Ces trois espèces, bien que partageant une parenté phylogénétique, présentent des caractéristiques chromosomiques distinctes, révélatrices de leur adaptation à des niches écologiques spécifiques et de leur histoire évolutive propre.

*Muscari maritimum* se distingue par un caryotype modérément asymétrique et un nombre chromosomique constant ( $2n = 18$ ), suggérant une dynamique évolutive modérée mais active. Cette stabilité chromosomique, couplée à une asymétrie intermédiaire, laisse penser à une phase évolutive transitoire, probablement influencée par des pressions écologiques récentes.

*Prospero obtusifolium*, quant à lui, présente une remarquable stabilité chromosomique ( $2n = 8$ ) dans toute son aire de répartition, avec un caryotype homogène dominé par des chromosomes submétacentriques. Cette constance structurale témoigne d'une spécialisation évolutive et pourrait être interprétée comme un signe de canalisation évolutive, où l'espèce aurait atteint un équilibre adaptatif optimal dans son environnement.

Enfin, *Hyacinthoides lingulata* présente un caryotype asymétrique et évolué, avec un nombre chromosomique de  $2n = 16$ . L'asymétrie marquée du caryotype traduit une évolution chromosomique plus avancée, potentiellement corrélée à une plasticité écologique ou à une diversification récente dans des habitats contrastés.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus renforcent l'idée que l'asymétrie caryotypique et la variation du nombre chromosomique constituent des indicateurs pertinents pour appréhender les processus évolutifs au sein des plantes à bulbe méditerranéennes. Ils confirment également que la caryomorphologie peut être utilisée comme outil complémentaire dans la taxonomie et la phylogénie végétales.

### Références bibliographiques

#### A

- Adinolfi M., Barone G., Belardini M., Lanzetta R., Laonigro G., Parrilli M. Homoisoflavanones from *Muscari comosum* bulbs. *Phytochemistry*. 1985;24:2423–2426.
- Ainsworth CC, Parker JS, Horton DM. 1983. Chromosome variation and evolution in *Scilla autumnalis*. In *Kew Chromosome Conference II*. London. 1983:261–268.
- Ali, S.S., Yu, Y., Pfosser, M. & Wetschnig, W. 2012. Inferences of biogeographical histories within subfamily Hyacinthoideae using S-DIVA and Bayesian binary MCMC analysis implemented in RASP (Reconstruct Ancestral State in Phylogenies). *Oxford Ann. Bot.* 109: 95–107.
- Ali, S.I. and Jafri, S.M.H. 1977. *Flora of Libya*. El Faateh University, Faculty of Science, Department of Botany, Tripoli.
- Almeida da Silva R, Rocha J, Silva A, García-Cabral I, Amich F, Crespí AL 2014. The Iberian species of *Scilla* (Subfamily Scilloideae, Family Asparagaceae) under climatic change scenarios in southwestern Europe. *Syst Bot* .39: 1083-1098.
- Andriamisaina Andriamasinoro, N. 2019. Purification et caractérisation des métabolites secondaires extraits de plantes de la famille des Asparagaceae et Caprifoliaceae, et évaluation de leurs activités biologiques. PhD Thesis, Université de Bourgogne FrancheComte, France.
- Angiosperm Phylogeny Group. 1998. An Ordinal Classification for the Families of Flowering Plants. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 85:531–553.
- Angiosperm Phylogeny Group. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group for the orders and families of flowering plants: APG II. *Soc.* 141: 399–436.
- Angiosperm Phylogeny Group. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants : APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 161, 105–121.
- Angiosperm Phylogeny Group. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants : APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 181, 1–20.
- Anthos. 2017. Sistema de información sobre las plantas de España.
- Arano H. 1963. Cytological studies in subfamily Carduoideae (Compositae) of Japan. IX. The karyotype analysis and phylogenetic consideration of *Pertya* and *Ainsliaea*. *Bot Mag.* 76:32–39.
- Avery OT., McLeod CM, McCarthy M. 1994. Induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from *Pneumococcus* Type III. *Journal of Experimental Medicine*. 79:137-158.

### B

Boulfia M., Lamchouri F., Lachkar N., Khabbach A., Zalaghi A., Toufik H. 2021. Socio-economic value and ethnobotanical study of Moroccan wild plant: *Leopoldia comosa* L. bulbs. *Ethnobot.* 21:1–17.

Boulos, L. & Lefloch .E. 2008. Flore de Tunisie. catalogue synonymique commenté.

Brullo C, Brullo S, Gtusso del Galdo G, Pavone P, Salmeri C. 2009. *Prospero hierae* (Hyacinthaceae), a new species from Marettimo Island (Sicily). *Phyton* 49: 93-104.

Breyer-Brandwijk MG, Watt JM. 1962. The medicinal and poisonous plants of Southern and Eastern Africa.

Böhnert, T. & Lobin, W. 2017. *Leopoldia neumannii* sp. nov. (Asparagaceae, Scilloideae): A new species of *Muscari* sensu lato from Greece. *Willdenowia* 47: 179–185.

### C

Caquet .2010 .250 examens de laboratoire 11<sup>ème</sup> édition 2010 P 80-82 .

Castroviejo, S., Aedo, C., Lainz, M., Morales, R., Muñoz Garmendia, F., Nieto Feliner, G. and Paiva, J. (eds). 2009. *Flora Iberica*. Volume 20. Real Jardín Botánico, C.S.I.C. Servicio de Publicaciones, Madrid.

Casoria P., Menale B., Muoio R., Botanico O. 1999. *Muscari comosum*, Liliaceae, in the food habits of south Italy. *Bot.* 53:113–115.

Chase, M. W., Reveal, J. L., & Fay, M. F. 2009. A subfamilial classification for the expanded asparagalean families Amaryllidaceae, Asparagaceae and Xanthorrhoeaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 161: 132–136.

Chermat S, Gharzouli R. 2015. Ethnobotanical study of medicinal flora in the North East of Algeria - An empirical knowledge in djebelzdim. *Setif.* 5:50–59.

Chouard, P. 1930. Révision de quelques genres et sous genres de Liliacées bulbeuses d'après de développement de l'appareil végétatif (*Scilla*, *Endymion*, *Hyacinthus*). *Bull. Mus. Hist. Nat. Paris.* 2 : 698–706.

Chouard, P. 1934. Les noms linnéens des *Scilla* et des *Endymion* et leur véritable signification. *Bull. Soc. Bot. France* .81: 620–630.

Clusius, C. 1576. *Rariorum aliquot stirpium per Hispanias observatarum historia*. Antverpiae [

Cronquist, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press, New York. 1256.

Corsi G, Garbari F, Ghelardi A . 1996. Reports. In: Kamari G, Felber F, Garbari F (eds) *Mediterranean chromosome number reports*. *Flora Mediterranea* 6:249–262

Cuenod, A., Pottier-Alapetite, G. & Labbe, A. 1954. *Flore analytique et synoptique de Tunisie Cryptogames vasculaires, Gymnospermes et Monocotylédones*. Tunis.

### D

Darlington C.D. & Lacour L.F. 1940 - Nucleic acid starvation of chromosomes in trillium. *Journ. Genet.* 40 : 185 – 213.

Davis, P.H. & Stuart, D.C. 1984. *Muscari* Mill. Davis, P.H. (ed.), *Flora of Turkey*, vol. 8. Edinburgh: Edinburgh University Press.

Davis, P.H. & Stuart, D.C. 1980. *Muscari* Miller. Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. & Webb, D.A. (eds.), *Flora Europaea*, vol. 5, Alismataceae to Orchidaceae (Monocotyledones). Cambridge: Cambridge University Press

Dizkirici, A., Yigit, O., Pinar, M. & Eroglu, H. 2019. Molecular phylogeny of *Muscari* (Asparagaceae) inferred from cpDNA sequences. *Biologia* 74: 205–214.

De Heredia, U.L., Jimenez, P., Collada, C., Simeone, M.C., Bellarosa, R., Schirone, B., Cervera, M.T. & Gil, L. 2007. Multimer phylogeny of three evergreen oaks reveals vicariant patterns in the Western Mediterranean. *56*: 1209–1220

Dematteis M. 1998. Karyotype analysis in some *Vernonia* species (Asteraceae) from South America. *Caryologia*. 51:279–288.

Dobignard A. & Chatelain C. 2010-2013. *Index synonymique de la flore d’Afrique du Nord*, volumes 1-5. Editions des Conservatoire et jardin botaniques de la ville de Genève, Genève

Du Toit K, Kweyama A, Bodenstern J. 2011. Anti-inflammatory and antimicrobial profiles of *Scilla nervosa* (Burch.) Jessop (Hyacinthaceae). *S Afr J Sci.* 107(5/6):96–100.

D’Emerico S, Grünanger P, Scrugli A, Pignone D. 1999. Karyomorphological parameters and C-bands distribution suggest phyletic relationship within the subtribe *Limodorinae* Benth (Orchidaceae) *Plant Syst Evol.* 217:147–161.

### E

Ebert I, Greilhuber J, Speta F. 1996. Chromosome banding and genome size differentiation in *Prospero* (Hyacinthaceae). *Syst Evol.* 203:143-177

### F

Felix WJP, Almeida A, de Melo NF, Felix LP. 2007. Citogenética de duas espécies de *Zephyranthes* herb (Amaryllidaceae-Hipeastreae) cultivadas. *Rev Bras Biocienc.* 5:294–296

Feinbrun-Dothan N., 1986. *Flora Palaestina*, Vol. 4: Alismataceae to Orchidaceae.

Fennane, M., Ibn Tattou, M. and El Oualidi, J. (eds). 2014. *Flore Pratique du Maroc. Manuel de détermination des plantes vasculaires. Vol 3. Dicotyledons (p.p), Monocotyledons. Travaux de l’Institut Scientifique, Série Botanique n° 40, Institut Scientifique, Rabat.*

Fiorini G, Raffaelli M .1996. Reports. In: Kamari G, Felber F, Garbari F (eds) *Mediterranean chromosome number reports. Flora Mediterranea* 6: 278–288

## Références bibliographiques

---

Firat M, Yıldırım H .2016. *Prospero cudidaghense* sp. nov. (Asparagaceae): a new species from southeastern Anatolia, Turkey. *Turk J. Bot* .40: 388-393.

Fontaine S .2003. Les apports de la biologie moléculaire aux vétérinaires. In : Journées portes ouvertes de l'Association Régionale de Santé et d'Identification Animales, Paris, France, pp6.

Fukagawa T, Earnshaw WC.2014. Le centromère : fondement de la chromatine pour la machinerie kinétochore. *Dev Cell*. 30 : 496–508.

### G

Garbari, F. & Greuter, W. 1970. On the taxonomy and typification of *Muscari* Miller (Liliaceae) and allied genera, and on the typification of generic names. *Taxon* 19: 329–335

Garbari F, di Martino A .1972. “*Leopoldia gussonei*” Parl. (Liliaceae), specie endemica Siciliana. *Webbia* 27(1): 289–297.

Gelderblom HR.1996. Structure and classification of viruses. *Medical Microbiology*. 4 th edition 1996

Greilhuber J, Speta F. C-banded karyotypes in the *Scilla hohenackeri* group, *S. persica*, and *Puschkinia* (Liliaceae) *Plant Syst Evol*.126:149–188.

Ghoran SH, Saeidnia S, Babaei E, Kiuchi F, Hussain H.2016. *Scilla persicene*: a new homoisoflavonoid with cytotoxic activity from the bulbs of *Scilla persica* HAUSSKN. *Nat Prod Res*. 30: 1309–1314.

Ghrabi-Gammar Z. & Véla E.2008. Expertise sur la flore terrestre du site littoral de Sidi Ali el Mekki (Ghar el Melh/Raf Raf, Tunisie). Institut National Agronomique de Tunisie, Tunis.

Govaerts, R.H.A.2011. World checklist of selected plant families published update Facilitated by the Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew.

Govaerts R, Zonneveld BJM, Zona SA.2017. World Checklist of Asparagaceae. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet.

Grant V. 1986 - Differentiation patterns in higher plants. In *Plants biosystematics*. Academic Press, London.

Griffith A., Miller J.F., Suzuki D.T., Lewontin R.C. & Gelbart W.M.2002 .Introduction à l'analyse génétique. 3e édition. de boek université. Paris. 860p.

### H

Hamouche Y, Amirouche N, Missset M, Amirouche R .2010. Cytotaxonomy of autumnal flowering species of Hyacinthaceae from Algeria. *Plant Syst Evol* 285: 177-187.

Huziwaru Y.1962. Karyotype analysis in some genera of Compositae. VIII. Further studies on the chromosome of *Aster* . *Amer J Bot*.49:116–119.

### J

## Références bibliographiques

---

Jafari, A. & Maassoumi, A.A. 2011. Synopsis of *Leopoldia*, *Muscari* and *Pseudomuscari* (Hyacinthaceae) in Iran, with *Leopoldia ghouschtchiensis* sp. nova. *Ann. Bot. Fenn.* 48: 396–400.

Jahier J., Chever A.M., Eber F., Delourne R. & Tanguy A.M.1992. *Techniques de la cytogénétique végétale*. Ed. INRA, Paris. 183.

Juranek I, Suchy V, Stara D, Masterova I, Grancaiova Z.1993. Antioxidative activity of homoisoflavonoids from *Muscari racemosum* and *Dracena cinnabari*. *Pharmazie*. 48(4):310-1.

### K

Khorana HG.1961. *Some recent developments in the chemistry of phosphate esters of biological interest*. Wiley, New York.

Kunth, C.S.1843. *Enumeratio plantarum*, vol. 4. Stutgardiae [Stuttgart] et Tubingae [Tübingen]: sumtibus J.G. Cottae.

### L

Lacan M.2011. *La Néolithisation du bassin méditerranéen : Apports de l'ADN ancien*, thèse de l'université de Toulouse.

Lee SM, Chun HK, Lee CH, Min BS, Lee ES, Kho YH.2002. Eucosterol oligoglycosides isolated from *Scilla scilloides* and their antitumor activity. *Chem Pharm Bull* .50:1245-9.

Lemondé A et Clément D.1983. *Biologie cellulaire et moléculaire*. Presses Université. Paris : Laval. Pp : 396-398.

Levan A. and Freda K., 1964. Secondary association between genetically equivalent bivalents. *Hereditas*. 52. 201-220.

Lewitsky GA. 1931. An essay on cytological analysis of the fixing action of the chromacetic formalin and the chromic formalin. *Bull Appl Bot Genet Plant Breed*. 27:187–240.

Lin LG, Liu QY, Ye Y.2014. Naturally occurring homoisoflavonoids and their pharmacological activities. *Planta Med*. 80(13):1053-66.

López-Flores I, Garrido-Ramos MA.2012. Contenu en ADN répétitif des génomes eucaryotes. *Genome Dyn*.7:1–28

### M

Maire, R. 1958. *Flore de l'Afrique du Nord: Maroc, Algérie, Tunisie, Tripolitaine, Cyrenaïque et Sahara*. Editions Lechevalier, Paris.

McKinley KL, Cheeseman IM.2015. Bases moléculaires de l'identité et de la fonction du centromère. *Nat Rev Mol Cell Biol*.

Melters DP, et al.2013. Une analyse comparative des répétitions en tandem de centaines d'espèces révèle des perspectives uniques sur l'évolution du centromère. *Genome Biol*.14:R10.

Miadokova E, Masterova I, Vlckova V, Duhova V, Toth J.2002. Antimutagenic potential of homoisoflavonoids from *Muscari racemosum*. *J Ethnopharmacol*. 81(3):381-6.

## Références bibliographiques

---

Morot –Gaudry ,2004 . la génomique en biologie végétale INRAA.p 582.

Motti R., Antignani V., Idolo M.2009. Traditional plant use in the Phlegraean fields Regional Park (Campania, Southern Italy) Hum. Ecol.37:775–782.

### N

Nasrabadi M, Halimi M, Nadaf M.2013. Phytochemical screening and chemical composition of extract of *Muscari neglectum*. Middle-East J Sci .Res.14(4) :566-9

Nasser, M., Sakhraoui, N., & Domina, G. 2023. Karyotype asymmetry in some Scilloideae (Hyacinthaceae) members from Algeria. *Caryologia* 76(3):9-18.

Nirenberg MW., Matthaei JH .1961. the dependence of cell-free protein synthesis in *E. coli* upon naturally occurring or synthetic polyribonucleotide. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 47, pp. 1588-602.

Nishida Y, Eto M, Miyashita H, Ikeda T, Yamaguchi K, Yoshimitsu H, Nohara T, Ono M. 2008. A new homostilbene and two new homoisoflavones from the bulbs of *Scilla scilloides*. *Chem Pharm Bull.* 56 :1022–1025.

Nishida Y, Wada K, Toyohisa D, Tanaka T, Ono M, Yasuda S. 2013. Homoisoflavones as the antioxidants responsible from bulbs of *Scilla scilloides*. *Nat Prod Res.* 27:2360–2362.

Novotny JA, Clevidence BA, Kurilich AC.2012. Anthocyanin kinetics are dependent on anthocyanin structure. *British Journal of Nutrition.* 107:504–9.

### O

Owolabi OJ, Omogbai EKI, Obasuyi O.2007. Antifungal and antibacterial activities of the ethanolic and aqueous extract of *Kigella africana* (Bignoniaceae) stem bark. *Afr J Biotechnol.* 16:777-80.

### P

Paradis, G., Lorenzoni-Pietri, C., Pozzo di Borgo, M.-L. and Sorba, L. 2008. Flore et végétation de quelques mares temporaires des communes de Pianottolli-Caldarello, Bonifacio et Porto-Vecchio (sud de la Corse). *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest Nouvelle série* 39: 25-258.

Parker J, Lozano S, Taylor R, Rejón S, Ruiz M.1991. Chromosomal structure of populations of *Scilla autumnalis* in the Iberian Peninsula. *Heredity.*67:287-97.

Paulo, O.S., Pinheiro, J., Miraldo, A., Bruford, M.W., Jordan, W.C. & Nichols, R.A. 2008. The role of vicariance vs. dispersal in shaping genetic patterns in ocellated lizard species in the western Mediterranean. *Molec. Ecol.* 17: 1535–1551

Pavon, D. and Véla, E. 2011. Espèces nouvelles pour la Tunisie observées sur les petites îles de la côte septentrionale (archipels de la Galite et de Zembra, îlots de Bizerte). *Flora Mediterranea* 21: 273-286.

Peruzzi L, Eroğlu HE.2013. Karyotype asymmetry: Again, how to measure and what to measure? *Comp Cytogenet.* 7:1–9.

## Références bibliographiques

---

Peruzzi L, Leitch IJ, Caparelli KF.2009. Chromosome diversity and evolution in Liliaceae. *Ann Bot.*103:459–475.

Pfossler, M., Wetschnig, W., Ungar, S. & Prenner, G. 2003. Phylogenetic relationships among genera of Massonieae (Hyacinthaceae) inferred from plastid DNA and seed morphology. *J. Pl. Res.* 116: 115–132.

Pfossler M, Speta F .1999. Phylogenetics of Hyacinthaceae based on plastid DNA sequences. *Ann Mo Bot Gard.* 86: 852-875.

Pfossler M .2007. Migration durch Dispersionsverbreitung und Vikarianz bei Pflanzen—eine Analyse evolutionärer Mechanismen anhand molekularer Daten am Beispiel der Pflanzenfamilie Hyacinthaceae. *Denisia* 20. Neue Serie 66:379–393

Pignatti, S. 1982. *Flora d'Italia*. Vol. 3. Edagricole, Bologna.

Pignatti, S. 2014. *Flora d'Italia* (2da edizione). Edagricole, Milano / Bologna. WCSP. 2016. World Checklist of Selected Plant Families. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew.

### R

Romero-Zarco C.1986. A new method for estimating karyotype asymmetry. *Taxon.* 35:526–526.

Rudd MK, Willard HF.2004. Analyse des régions centromériques de l'assemblage du génome humain. *Trends Genet TIG.*20:529–533.

Ruiz Réjon M, Pascual L, Ruiz Réjon C, Valdés B, Oliver JL.1985. A new species of *Muscari* Subgenus *Leopoldia* from the Iberian Peninsula. *Biochemical Systematics and Ecology* .13(3) : 239–250.

Rukšans J .2007. *Buried Treasures, Finding and Growing the World's Choicest Bulb*. Portland, OR, USA: Timber Press.

### S

Sadoudi Mahdi, Ouldkaci Nabila.2016. Etude morphométrique, extraction de trois classes de flavonoïdes et essai d'élaboration des caryotypes de deux espèces de scilles (*Prospero fallax* et *Hyacinthoides lingulata*).

Salisbury RA .1866. *The Genera of Plants*. London, UK: J. Van Voorst.

Sargin SA, Selvi S, Akçiçek E.2013. Investigations of ethnobotanical aspect of some geophytes growing in Alaşehir (Manisa) and surrounding area. *Erciyes Univ J Ins Sci Technol* .29:170-77.

Sato D .1942. Karyotype alteration and phylogeny in Liliaceae and allied families. *J Jpn Bot.* 12:57–161.

Searls, D.B. 1997. Abstract: Linguistic approaches to biological sequences. *Comput. Appl. Biosci.* 13: 333–344.

Searls, D.B. 2001. Reading the book of life. *Bioinformatics* .17: 579– 580.

Searls, D.B. 2002. The language of genes. *Nature* .420: 211–217.

## Références bibliographiques

---

Selvi F, Coppi A, Bigazzi M.2006. Karyotype variation, evolution and phylogeny in Borago (Boraginaceae), with emphasis on subgenus Buglossites in the Corso-Sardinian system. *Ann Bot.* 98:857–868.

Senthilkumar B.2013. Evaluation of cardioprotective and antioxidant activity phytoconstituents from *Scilla hyacinthina* against doxorubicin-induced myocardial necrosis in albinorats. *J Bioequiv Availab* .5:150.

Souza LGR, Crosa O, Guerra M.2010. Karyological circumscription of *Ipheion Rafinesque* (Gilliesioideae, Alliaceae) *Plant Syst Evol.*287:119–127.

Speta F .1979. Karyological investigations in *Scilla* in regard to their importance for taxonomy. *Webbia* 34:419–431

Speta F .1982. Die Gattungen *Scilla* L. s.str. und *Prospero* Salisb. im pannonischen raum. *Veröff Int Clusius-Forschungsges Güssing. German.* 5: 1-19.

Speta, F.1987. Die verwandtschaftlichen Beziehungen von *Brimeura* Salisb.: Ein Vergleich mit den Gattungen *Oncostema* Rafin., *Hyacinthoides* Medic. und *Camassia* Lindl. (Hyacinthaceae). *Phyton* 26: 247–310.

Speta F .1998. Systematische analyse der gattung *Scilla* L. s.l. (Hyacinthaceae) .German. *Phyton* 8: 1-141.

Speta F .2000. Beitrag zur Kenntnis der Gattung *Prospero* Salisb (Hyacinthaceae) auf der griechischen Insel Kreta. *Linzer Biologische Beiträge .German .*32: 1323-1326 .

Stebbins G. L. 1971. *Chromosomal evolution in higher plants.* Edwads, Arnold ilt, London, 216 p.

Stevens, P. F. 2001. *Angiosperm Phylogeny Website.* Version 14, July 2017 and more or less continuously updated since. Published on the Internet.

## T

Tae-Soo Jang<sup>1</sup> , Khatere Emadzade <sup>1</sup>, John Parker <sup>2</sup>, Eva M Temsch <sup>1</sup>, Andrew R Leitch<sup>3</sup> , Franz Speta<sup>4</sup> and Hanna Weiss-Schneeweiss.2013. Chromosomal diversification and karyotype evolution of diploids in the cytologically diverse genus *Prospero* (Hyacinthaceae) ; *BMC Evolutionary Biology* . 13:136.

Tournefort, J.P.1694. *Elemens de botanique; ou Méthode pour connoître les plantes, vol. 2.* Paris. de l'imprimerie royale.

Troia A, Domina G, Spadaro V.2014. Reports (1838-1839). In: Kamari G, Blanche C, SiljakYakovlev S (Eds) *Mediterranean chromosome number reports - 24.* *Flora Mediterranea* 24: 284–286.

Turner PC., A.G McLennan., A.D Bates & M.R.H White.1999. *l'essentiel en biologie moléculaire .école de sciences biologiques.* Univesity of liverpool, liverpool, UK.2- 911808-10-X , p 38-51.

## V

## Références bibliographiques

---

Valdés, B., Rejdali, M., Achhalel kadmiri, Jury, J. L. & J. M. Montserrat .2002. Catalogue des plantes vasculaires du Nord du Maroc, incluant des clés d'identification. 2: 864

Vaughan HE, Taylor S, Parker JS.1997. The ten cytological races of the *Scilla autumnalis* species complex. *Heredity* .79:371–379.

### W

Watanabe K, Yahara T, Denda T, Kosuge K. 1999. Chromosomal evolution in the genus *Brachyscome* (Asteraceae, Astereae): Statistical tests regarding correlation between changes in karyotype and habit using phylogenetic information. *J Plant Res*.112:145–161.

Watson AA, Nash RJ, Wormald MR, Harvey DJ, Dealler S, Lees E, Asano N, Kizu H, Kato et al.1997. glycosidase-inhibiting pyrrolidine alkaloids from *h ya cinthoides non-scrip ta*. Vol. 46. *Phytochemistry*.

Watson L, Dallwitz MJ .2002.The families of flowering plants. Descriptions, illustrations, identifications and informations.

WCSP. 2016. World Checklist of Selected Plant Families. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew.

WCSP .2021. World Checklist of Selected Plant Families. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew.

Wendelbo P, Stuart D .1985. Liliaceae. In: Townsend CC, Guest G, editors. *Flora of Iraq . Monocotyledones*. Vol. 8. Baghdad, Iraq: Ministry of Agriculture and Agrarian Reform. pp. 102-108.

### Y

Yıldırım H .2014. *Prospero seisumsiana* (Rukšans & Zetterl.) Asparagaceae (Yıldırım), yeni düzenleme ve statü. *Bağbahçe Bilim Dergisi* .1:18-26

<https://www.matelma.com>

<https://www.promessedefleurs.com>

<https://jessica-joachim.com>

<https://www.inaturalist.org>

<https://algerianativeplants.net>

<https://www.teline.fr>

<https://xeraplants.com>

<https://en.wikipedia.org>

<https://quizlet.com>

<https://www.aboutkidshealth.ca>

<https://stock.adobe.com>

### Résumé

Le but de cette étude est d'évaluer les différences caryologiques entre trois espèces appartenant à la famille des Asparagaceae, anciennement classées dans la famille des Hyacinthaceae, à savoir : *Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium* et *Hyacinthoides lingulata*, collectées dans la région de Skikda, au nord-est de l'Algérie. Ces espèces ont été analysées sur le plan cytogénétique à partir de leurs racines germées, en utilisant la technique de coloration de Feulgen. L'analyse chromosomique a permis de déterminer pour chaque espèce le nombre chromosomique, le niveau de ploïdie et les caractéristiques du caryotype. Les résultats montrent une variabilité interspécifique : *Muscari maritimum* présente un nombre chromosomique de  $2n = 18$  ( $x = 9$ ) avec une formule caryotypique  $3sm + 6st$ , indiquant une asymétrie modérée (type 3B selon Stebbins) ; *Prospero obtusifolium* est diploïde avec  $2n = 8$  ( $x = 4$ ) et une formule  $3sm + 1st$ , traduisant un caryotype relativement symétrique (type 3A) ; tandis que *Hyacinthoides lingulata*, également diploïde ( $2n = 16$ ,  $x = 8$ ), présente un caryotype très asymétrique avec une formule complexe :  $2sm + 3st + 2t + 1acro$ , classé en type 3C. Ces différences traduisent des trajectoires évolutives distinctes, avec des niveaux variables d'asymétrie caryotypique et de spécialisation chromosomique, suggérant des mécanismes d'adaptation et de diversification au sein de la famille des Scilloideae.

### Mots clés

Caryotype , Asparagaceae , Feulgen (coloration de Feulgen) , Ploïdie , Asymétrie chromosomique

### Abstract

The aim of this study is to evaluate the karyological differences among three species belonging to the *Asparagaceae* family, formerly classified under the *Hyacinthaceae* family, namely: *Muscari maritimum*, *Prospero obtusifolium*, and *Hyacinthoides lingulata*, collected from the Skikda region in northeastern Algeria. These species were cytogenetically analyzed using their germinated roots, employing the Feulgen staining technique. Chromosomal analysis made it possible to determine, for each species, the chromosome number, ploidy level, and karyotype characteristics. The results show interspecific variability: *Muscari maritimum* has a chromosome number of  $2n = 18$  ( $x = 9$ ) with a karyotypic formula of  $3sm + 6st$ , indicating moderate asymmetry (type 3B according to Stebbins); *Prospero obtusifolium* is diploid with  $2n = 8$  ( $x = 4$ ) and a formula of  $3sm + 1st$ , reflecting a relatively symmetrical karyotype (type 3A); while *Hyacinthoides lingulata*, also diploid ( $2n = 16$ ,  $x = 8$ ), presents a highly asymmetrical karyotype with a complex formula:  $2sm + 3st + 2t + 1acro$ , classified as type 3C. These differences reflect distinct evolutionary pathways, with varying levels of karyotypic asymmetry and chromosomal specialization, suggesting mechanisms of adaptation and diversification within the family of Scilloideae.

### Key words

Karyotype , *Asparagaceae* , Feulgen staining , Ploidy , Chromosomal asymmetry.

### الملخص

هدف هذه الدراسة هو تقييم الفروقات الكاربيولوجية بين ثلاث أنواع نباتية تنتمي إلى فصيلة الهليونيات (Asparagaceae) ، التي كانت تُصنّف سابقًا ضمن فصيلة الزنقبات (Hyacinthaceae) ، وهي: *Muscari maritimum* ، *Prospero obtusifolium* ، و *Hyacinthoides lingulata* ، التي تم جمعها من منطقة سكيكدة في شمال شرق الجزائر. تم تحليل هذه الأنواع من الناحية السيتوجينية باستخدام جذورها النابتة، وذلك باستخدام تقنية تلوين فيولجن (Feulgen). سمحت التحاليل الكروموسومية بتحديد عدد الكروموسومات، ومستوى البلويدية، وخصائص النمط النووي (الكاربوتايب) لكل نوع من الأنواع المدروسة. أظهرت النتائج وجود تباين بين الأنواع:

يظهر نوع *Muscari maritimum* عددًا صبغيًا قدره  $2n = 18 (x = 9)$  مع صيغة كاربيولوجية  $3sm + 6st$ ، مما يشير إلى وجود تفاوت معتدل في النمط النووي بالنمط 3B وفقًا لـ (Stebbins)

أما نوع *Prospero obtusifolium* فهو ثنائي الصيغة الصبغي  $2n = 8 (x = 4)$  ، ويتميز بصيغة  $3sm + 1st$ ، مما يعكس نمطًا نوويًا متمثلًا نسبيًا بالنمط 3A

بينما يظهر نوع *Hyacinthoides lingulata* أيضًا كنوع ثنائي الصيغة الصبغية  $2n = 16 (x = 8)$ ، ولكنه يعرض نمطًا نوويًا غير متمثل بشكل كبير مع صيغة معقدة:  $2sm + 3st + 2t + 1\text{acro}$  ، ويصنف كالنمط 3C

تعكس هذه الفروقات مسارات تطورية متميزة، مع مستويات مختلفة من التفاوت الكاربيولوجي والتخصص الصبغي، مما يشير إلى آليات تكيف وتنوع ضمن هذه الفصيلة النباتية.

### الكلمات المفتاحية

النمط النووي ، فصيلة الهليونيات ، تلوين فيولجن ، مستوى البلويدية ، التفاوت الكروموسومي