

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA-BEJAIA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie physico-chimique
Filière : Sciences Biologiques
Option : Génétique Fondamentale et Appliquée



Réf :

Mémoire de fin de cycle
En vue de l'obtention du diplôme de
Master

Thème

**Etude cytogénétique de *Silene vulgaris*,
S. patula, *S. gallica* et
S. aristidis (Caryophyllacées).**

Présenté par :

Belhier Fatima et Benmoussa Siham

Soutenu le : 28 septembre 2021

Devant le Jury composé de :

Mme Rahmani- Barboucha M.
Mr Sahnoune M.
Mme Benmessaoud- Kartout Y.

Présidente
Encadreur
Examinatrice

Année Universitaire : 2020/2021

Dédicace

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à mes très chère, respectueux et magnifique parents qui m'ont soutenu tout au long de ma vie ainsi à mes sœurs et mon cher frère, sans oublier ma belle-sœur et mon binôme Siham.

A toute personnes qui m'ont encouragé ou aidé au long de mes études



Fatima

Dédicace

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à mes chère, respectueux et magnifique parents et grands parents pour leur amour, tendresse et prière, ainsi à mes oncles et mes tantes qui m'ont soutenu tout au long de ma vie.

A mes sœurs et mon frère d'être là toujours pour moi. A mes cousins et mes neveux pour leur soutien moral.

A mes amies et toute personnes qui m'ont encouragé ou aidé au long de mes études.



Siham

Remerciements

En premier, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné santé, courage et patience pour terminer ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur M. SAHNOUNE M. pour ses judicieux conseils et surtout pour avoir proposé ce sujet et de l'avoir pris en charge.

Nous remercions également notre Co-promotrice Mlle Benmouhoub H. Pour sa patience, son aide, sa générosité, sa bienveillance et ses indications.

Nous offrons les plus belles paroles de remerciements et d'appréciation à Mlle Mesbah M. pour son orientation et ses instructions.

Nous remercions énormément Mlle Zemouri T. pour ses conseils et son aide, et M. Zemouri M. et Mme Boudersa S. pour leurs encouragements.

Merci à toute personne travaillant au niveau du Laboratoire de Recherche d'Ecologie et d'Environnement.

Nous remercions sincèrement les membres du jury qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail.

Sans oublier l'ensemble des enseignants ayant contribué à notre formation durant notre cycle d'étude.

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	morphologie des quatre espèces du genre <i>Silene</i> : A: <i>S. aristidis</i> ; B: <i>S. gallica</i> ; C: <i>S. vulgaris</i> ; D: <i>S. patula</i> .	6
2	Dénombrements chromosomiques de <i>Silene vulgaris</i> . A, B: Cellules mères polliniques en méiose avec $n=12$ (Populations de Benidjellil et Akfadou). C, D: Cellules méristématiques racinaires en mitose avec $2n=24$ (Population de Hallas Bouira). E, F: Cellules méristématiques racinaires avec jusqu'à 40 chromosomes (Population de l'université de Bouira).	18
3	Dénombrements chromosomiques de <i>S. patula</i> populations de Tazrouts et Alma. A, B: Cellules mères polliniques en méiose en métaphase II avec $n=12$. C, D: Cellules mères polliniques en métaphase II avec $n=12$. E, F: Cellules méristématiques racinaires en métaphase avec $2n=24$. G, H: Cellules mères polliniques en méiose en métaphase II avec $n=6$.	19
4	Dénombrements chromosomiques de <i>Silene gallica</i> . A, B: Cellules mères polliniques en méiose en métaphase II avec $n=12$ (Ivawalen). C, D: Cellules méristématiques racinaires en métaphase avec $2n=24$ (Ammal).	20
5	Dénombrements chromosomiques de <i>Silene aristidis</i> (Gorges d'Ammal). A: Cellules mères polliniques en méiose en métaphase I avec $n=12$. B: Cellules mères polliniques en méiose en métaphase II méiotique $n=12$. C, D: Cellules méristématiques racinaires en métaphase avec $2n=24$	21
6	Types de cytomixie dans les cellules mères polliniques de <i>Silene</i> : A, B: Cytomixie entre deux cellules en métaphase II; C: Cytomixie entre deux cellules en télophase II; D: Cytomixie entre quatre cellules en métaphase II; E: Cytomixie entre trois cellules en métaphase II, F: Cytomixie entre cinq cellules.	22
7	Cellules mères polliniques en phase télophase II anormale avec: A: 2 micronoyaux; B: 4 micronoyaux; C: 5 noyaux et 2 micronoyaux; D: 2 noyaux; E: 3 noyaux.	23
8	Tétrades anormales: A: Monade; B: Monade avec 2 micronoyaux; C: Dyade; D: Dyade avec 1 micronoyau; E: Triade; F: Triade avec 1 micronoyau; G: Triade avec 1 micronoyau dédoublé; H: Triade avec 2 micronoyaux; I: Triade avec 2 micronoyaux dont un est dédoublé; J: Heptade; k: Tétrade avec 2 micronoyaux; L: Tétrade avec 1 micronoyau; M: Hexade; N: Tétrade vide.	24
9	Autres anomalies de la méiose: A, B, C: Télophase avec chromosomes retardataires; D: Métaphase I avec chromosomes retardataire (monovalent); E: Chromosomes agglutinés; F: Pont chromosomique.	25
10	Photographie des grains de pollen fertiles et stériles des espèces étudiées: A: <i>Silene gallica</i> ; B: <i>Silene vulgaris</i> C: <i>Silene aristidis</i> ; D: <i>Silene patula</i> .	26

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
I	Nombres chromosomiques et niveaux de ploïdie de quelques espèces du genre <i>Silene</i> .	4
II	Présentation des espèces du genre <i>Silene</i> étudiées et leurs distribution géographique	6
III	Origine géographique et dates de récolte des graines et boutons floraux et/ou des graines des quatre espèces étudiées de <i>Silene</i> .	12
IV	Fertilités polliniques des populations étudiées.	27
V	Moyennes et écarts types (μm) des tailles des grains de pollen chez les populations de <i>Silene vulgaris</i> . Les valeurs désignées par la même lettre sont statistiquement identiques (Test Unequal N HSd, $p= 0.05$). Les grains de pollen de la population d'Akfadou sont plus grands que ceux des populations de Tazrout et Benidjellil. E: Axe équatorial; B: Axe polaire	28
VI	Moyennes et écarts types (μm) des tailles des grains de pollen chez les populations de <i>Silene patula</i> . Les valeurs désignées par la même lettre sont statistiquement identiques (Test Unequal N HSd, $p= 0.05$). Les grains de pollen de la population de Tazrout sont plus grands que ceux de la population d'Ivawalen. E: Axe équatorial; B: Axe polaire.	28
VII	Moyennes et écarts types (μm) des tailles des grains de pollen chez les populations de <i>Silene aristidis</i> . Les valeurs désignées par la même lettre sont statistiquement identiques (Test Unequal N HSd, $p= 0.05$). Les grains de pollen de la population d'Ifri n Ziri sont plus grands que ceux de la population des Gorges d'Ammal. E: Axe équatorial; B: Axe polaire.	28
VIII	Moyennes et écarts types (μm) des tailles des grains de pollen chez la population d'Ivawalen de <i>Silene gallica</i> . Une seule population a pu être étudiée pour cette espèce. E : Axe équatorial ; B : Axe polaire.	28
IX	Moyennes et écarts types (μm) des tailles des grains de pollen chez les espèces de <i>Silene</i> étudiées. Les valeurs désignées par la même lettre sont statistiquement identiques (Test Unequal N HSd, $p= 0.05$). Les grains de pollen sont en moyenne plus chez <i>S. vulgaris</i> et <i>S. gallica</i> , suivis de <i>S. aristidis</i> (intermédiaire), plus petits chez <i>S. patula</i> . Le test statistique a aussi montré que la largeur et longueur sont identiques (grains de pollen sphériques) pour toutes les espèces et toutes les populations). E : Axe équatorial; B : Axe polaire.	29
X	Dénombrements chromosomiques dans les populations de <i>Silene</i> étudiées.	30

Sommaire

Liste des tableaux	
Listes des figures	
Introduction.....	1
I: Synthèse bibliographique.....	2
I.1. La famille des Caryophyllacées.....	2
I.2. Le genre <i>Silene</i> dans le monde	2
I.2.1. Le genre <i>Silene</i> en Algérie.....	2
I.2.2. Morphologie du genre <i>Silene</i>	2
I.2.3. Histoire de la taxonomie du genre <i>Silene</i>	3
I.2.4. Nombres chromosomiques du genre <i>Silene</i>	3
I.3. Description morphologique et répartition des espèces étudiées.....	4
I.3.1. Morphologie.....	4
- <i>Silene gallica</i>	4
- <i>Silene vulgaris</i>	5
- <i>Silene patula</i>	5
- <i>Silene aristidis</i>	5
I.3.2. Répartition géographique.....	6
I.4. La cytogénétique.....	7
I.4.1. Les divisions cellulaires des plantes.....	7
I.4.1.1. La mitose	7
I.4.1.2. La méiose.....	8
I.4.2. Anomalies de la méiose.....	8
II: Matériels et méthodes.....	11
II.1. Echantillonnage.....	11
II.2. Analyses caryologiques.....	12
II.2.1. Préparation des solutions.....	12
II.2.2. Les différentes étapes de l'analyse de la mitose.....	13
II.2.3. Les différentes étapes de l'analyse de la méiose.....	15
II.3. Analyse de la fertilité pollinique.....	16
II.3.1. Technique de coloration des grains de pollen.....	16
II.3.2. Evaluation du taux de fertilité pollinique.....	16
II.4. Evaluation statistique des tailles des grains de pollen.....	16
III. Résultats et discussion.....	18
III.1. Dénombrements chromosomiques.....	18
III.1.1. <i>S. vulgaris</i>	18
III.1.2. <i>S. patula</i>	19
III.1.3. <i>S. gallica</i>	20

III.1.4. <i>S. aristidis</i>	21
III.2. Anomalies de la méiose.....	22
III.3. la fertilité pollinique.....	26
III.3.1. Analyse de la fertilité pollinique.....	26
III.3.2. La taille des grains de pollen.....	27
III.4. Discussion.....	30
III.4.1. Dénombrement chromosomique	30
III.4.2. Anomalies de la méiose.....	31
III.4.3. Analyse de la fertilité pollinique.....	33
III.4.4. La taille des grains de pollen.....	33
Conclusion et perspectives	35
Références bibliographiques.....	36
Annexes	
Résumés	

Introduction

Introduction

La flore algérienne est caractérisée par sa diversité floristique: méditerranéenne, saharienne et paléo-tropicale estimée à plus de 3000 espèces appartenant à plusieurs familles botaniques (Quézel et Santa, 1962-1963).

Parmi les familles qui se trouvent en Algérie, on compte la famille des Caryophyllacées qui comprend environ 88 genres (Rabeler et Hartman, 2005) dont le genre *Silene* comprenant environ 850 espèces dont la moitié se trouve en méditerranée (Jafari *et al.*, 2020). Le genre *Silene* présente la plus forte valeur patrimoniale dans la flore algérienne avec 71 taxa dont 25 endémiques et 15 rares (Quézel, 1957 *in* Mesbah *et al.*, 2021). Ses plantes sont généralement herbacées annuelles ou vivaces (Gholipour et Sheidai, 2010).

De nombreuses espèces du genre *Silene* ont fait l'objet d'études cytologiques. Ces études sont importantes pour comprendre et étudier les problèmes taxonomiques aux seins des taxa (Ghazanfar, 1983). Les premières études chromosomiques sur ce genre ont été menées par Blackburn (1928) principalement sur les espèces du Nord-Américain. D'autres études ont suivi sur les espèces *Silene* grecs par Damboldt et Phitos (1966), Bari (1973) sur les espèces européennes annuelles. Des analyses de caryotypes et de dénombrement de dix espèces ont été réalisées par Pohlman (1977) et (Ghazanfar, 1983). Ces dernières ont révélé que la majorité des espèces de *Silene* sont diploïdes avec un nombre chromosomique de $2n = 24$ (Blackburn, 1957; Bari, 1973).

Entre temps, en Algérie, uniquement les études de Boukhzar et Bouhedda (2018) sur six espèces, une autre par Nekaa et Ouali (2019) sur une espèce et par Mersel et Oucene (2020) sur quatre espèces qui ont été réalisées sur ce genre surtout sur le plan cytogénétique. De ce fait nous nous sommes intéressées à étudier quelques populations de 4 espèces : *Silene vulgaris* (Moench) Garcke (= *S. cucubalus* Wibel), *S. patula* Desf., *S. aristidis* Pomel et *S. gallica* L. Le travail consistera essentiellement à déterminer les nombres chromosomiques de ces populations en utilisant des préparations de méiose et de mitose tout en nous intéressant aux anomalies méiotiques et à la fertilité pollinique.

Le travail comporte trois parties. La première est consacrée à la synthèse bibliographique qui porte sur la description du genre et les espèces étudiées. Dans la deuxième partie, nous présentons le matériel végétal et les méthodes utilisées pour effectuer cette étude. Enfin, en troisième et dernière partie, nous exposons les résultats obtenus et la discussion pour terminer avec une conclusion générale et perspectives.

*I. Synthèse
bibliographique*

I. Synthèse bibliographique

I.1. La famille des Caryophyllacées

La famille des Caryophyllacées Juss., est cosmopolite et comprend un certain nombre de plantes ornementales communes. Elle est principalement holarctique, avec une diversité centrée dans les régions méditerranéennes et irano-turaniennes (Harbaugh, 2010). La classification la plus courante des Caryophyllacées comprend trois sous-familles se distinguant par les caractères des stipules, des pétales, des sépales et des fruits: Alsinoideae, Caryophylloideae et Paronychioideae (Pax et Hoffman 1934; Bittrich 1993 *in* Harbaugh, 2010).

Elle est composée de Plantes herbacées, à tiges à nœuds généralement enflés, parfois ligneuses à la base. Les feuilles sont simples, généralement opposées, rarement alternes ou opposées, avec ou sans stipules, scarieuses ou membraneuses. Les fleurs sont à symétrie radiaire, généralement hermaphrodites, rarement unisexuées. Le fruit est une capsule généralement à nombreuses graines, parfois un akène et rarement une baie (Leurquin, 2012).

I.2. Le genre *Silene* dans le monde

Le genre *Silene* L. est l'un des plus grands genres de la flore mondiale. Au sens large adopté ici, il comprend environ 850 espèces (Jafari *et al.*, 2020). La plupart de ses espèces sont hermaphrodites, bien que quelques-unes soient dioïques ou gynodioïques. Les espèces de ce genre sont principalement réparties dans l'hémisphère nord, en Europe, en Asie et en Afrique du nord, dont la moitié se trouve dans la région méditerranéenne (Greuter, 1995; Sheidai *et al.*, 2009)

I.2.1. Le genre *Silene* en Algérie

Le genre *Silene* est celui qui présente la plus forte valeur patrimoniale dans la flore algérienne avec 71 taxa dont 25 endémiques et 15 rares (Quézel, 1957 *in* Mesbah *et al.*, 2021).

I.2.2. La morphologie du genre *Silene*

Les espèces du genre *Silene* sont des herbes ou sous-arbustes dont les feuilles sont exstipulées (sans stipules), excepté les feuilles basales. Les inflorescences peuvent être

cymeuses, paniculées, épicées, agrégées-capitulées ou même réduites à une fleur solitaire; pas de bractées calycines. Le calice est tubulaire ou dilaté, 5 dents, 10 veines principales. 5 pétales, avec une longue griffe étroite et un membre entier ou généralement bilobé. 5 + 5 étamines chez les fleurs mâles ou hermaphrodites ou en nombre anormalement réduit. L'ovaire est formé de 3 à 5-loculaires au moins dans la partie inférieure mais généralement uniloculaire dans la partie supérieure; les styles sont de 2 à 5 mais généralement 3, filiformes. Les fruits sont des capsules déhiscentes, généralement par 3 ou 6, ornementées de dents ou valves. (Turrill, 1956).

I.2.3. Histoire de la taxonomie du genre *Silene*

- En 1753 Linné a décrit et classé le genre *Silene* dans la famille des Caryophyllacées et la sous famille des Silénoïdées (Rahou *et* Amsa, 2003).
- En 1824, Otth a classé 217 espèces du genre *Silene* en huit sections selon des caractéristiques telles que le type d'inflorescence, les pédoncules et la forme des calices (Jafri, 2020).
- En 1867, Boissier a permis de définir certains taxons infra-génériques du genre *Silene* et de répartir les espèces en 11 sections annuelles et 20 sections pérennes (Hoseini *et al.*, 2017).
- En 1868, Rohrbach a introduit 2 sous-genres, *Behen* et *Silene*, en utilisant une grande variété de caractères morphologiques tels que le nombre et le schéma de ramification des nerfs du calice en plus des caractéristiques des graines (Hoseini *et al.*, 2017).
- En 1957, Chowdhuri a classé 443 espèces du genre *Silene* en 44 sections (Hoseini *et al.*, 2017).
- En 1963, Maire, l'un des plus importants des auteurs du nord-africain a subdivisé le genre *Silene* en 3 sous genres et plusieurs sections en se basant sur des caractères morphologiques qui sont déterminants dans la systématique du genre.
- En 1996, Williams a révisé le genre *Silene* et a introduit trois sous genres: *Gastrosilene*, *Conosilene* et *Eusilene* (Hoseini *et al.*, 2017).

I.2.4. Nombres chromosomiques du genre *Silene*

La plupart des espèces du genre *Silene* sont diploïdes avec $2n = 2x = 24$ ou $2n = 2x = 20$, ou triploïdes à $2n = 3x = 30$ (Heaslip, 1951) ; certaines autres sont tétraploïdes ($2n = 4x = 48$)

ou hexaploïdes ($2n = 6x = 72$) ; quelques espèces montrent un niveau de polyploïdie plus élevé, par exemple $2n =$ environ 96, 120 et 192 (Bari, 1973) (Tableau I).

Tableau I : Nombres chromosomiques et niveaux de ploïdie de quelques espèces du genre *Silene*.

Espèce	Section	Nombre chromosomique	Ploïdie	Localisation	Référence
<i>S. vulgaris</i> (Moench) Garke(1869)	<i>Inflatae</i> (Rahou et Amssa, 2003)	$2n = 24$ $2n = 48$	$2x$ $4x$	Himalaya Inde	Kumar <i>et al.</i> , 2013
<i>S.patula</i> Desf. (1979)	<i>Siphonomorpha</i> (Rahou et Amssa, 2003)	$2n = 24$	$2x$	L'Afrique du nord	Naciri <i>et al.</i> , 2010
<i>S.gallica</i> Linné (1753)	<i>Silene</i> (Greuter, 1995)	$2n = 24$	$2x$	Espagne	Talavera et Boquet, 1976
<i>S.nocturna</i> Linné (1753)	<i>Scorpioideae</i>	$2n = 24$	$2x$	Italie	Peruzzi et Carta, 2013
<i>S. schimperiana</i> Boissier	<i>Selerocalycineae</i>	$2n = 24$	$2x$	Sinaï, Egypte	El-Ghamery <i>et al.</i> , 2016
<i>S.viscosa</i> (L.) Pers. 1805	<i>Chlorantae</i>	$2n = 24$	$2x$	Turquie	Yildiz, 2009
<i>S. apetala</i> Willd. (1799)	<i>Scorpioideae</i>	$2n = 24$	$2x$	Espagne	Talavera et Bocquet (1976)
<i>S. stricta</i> Linnée (1756)	<i>Behenantha</i>	$2n = 24$	$2x$	Espagne Bretagne	Talavera et Bocquet (1976) ; Bari, 1973.
<i>S. propinqua</i>	<i>Lasiostemones</i>	$2n = 48$	$4x$	Iran	Sheidai <i>et al.</i> , 2008
<i>S. aucheriana</i> Boissier	<i>Auriculatae</i>	$2n = 24$	$2x$	Iran	Sheidai <i>et al.</i> , 2011
		$2n = 48$	$4x$		
<i>S. parryi</i> (<i>S. Watson</i>) <i>C. L. Hitchc. et Maguire</i>		$2n = 48, 96$	$4x/ 8x$	Amérique du Nord	Kruckeberg, 1955
<i>S.hookeri</i> (Nutt.)		$2n = 72$	$6x$	Amérique du Nord	Kruckeberg, 1955

I.3. Description morphologique et répartition des espèces étudiées

I.3.1. Morphologie

- *S. gallica* (Figure 1A)

Plante velue de 15 à 30 cm à tige dressée, peu ramifiée et à feuilles opposées, étroites, lancéolées, velues. Les fleurs (12-14 mm), en grappes, sont généralement toutes tournées du même côté. Les pétales sont roses, parfois blancs, avec souvent une large tache rouge,

denticulés au sommet. Le calice, couvert de longs poils, est resserré au sommet après la floraison. Le fruit est une capsule ovoïde à 6 dents (Julve, 2020).

- *S. vulgaris* (Figure 1B)

Plante vivace de 20 à 70 cm à tige dressée et rameuse, glabre mais parfois pubescente en dessous. Feuilles opposées, vert-bleu, jusqu'à 12cm de long, étroites et pointues, les supérieures beaucoup plus petites. Fleurs blanches, rarement roses, d'environ 17 mm. Le calice renflé avec 20 nervures bien visibles. Graines brun foncé à rougeâtres, elles ressemblent à des ballons dégonflés très rugueux de 2 mm. Le fruit est une capsule de jusqu'à 14 mm de long, cachée dans le renflement formé par les sépales soudés persistant après la floraison. Racine épaisse et charnue (Julve, 2020).

- *S. patula* (Figure 1C)

C'est une plante vivace, velue, à souche rameuse, émettant plusieurs tiges. Les tiges sont de 20-60 cm, pleines, peu feuillées, un peu visqueuses au sommet. Les feuilles inférieures oblongues, les supérieures sublunaires. Fleurs blanches, dressées, en panicule lâche, étroite, peu fournie, à rameaux courts et à 3 fleurs. Bractées plus courtes que les pédicelles. Calice allongé en massue, ombiliqué, resserré au sommet et sous la capsule, à nervures ramifiées, pubescent, à dents ovales-obtuses. Pétales bipartites, à onglet saillant, auriculé, cilié vers le milieu. Capsule ovoïde-oblongue, égalant le carpophore pubescent (Julve, 2021).

- *S. aristidis* (Figure 1D)

C'est une souche robuste de 15 à 40 cm de haut et de 1-3 mm de diamètre, possédant une hampe dont la base porte de très nombreux entre-nœuds (7-13) progressivement plus allongés vers le haut. Pas de rosette basale définie. Les feuilles sont obovales atténuées, glabres sur les faces. Son inflorescence est plus ou moins resserrée, et parfois capitée. Les pédicules et les calices sont recouverts de poils longs, épais, pluricellulaires et glanduleux. Les calices sont très longs et plus ou moins tronqués à la base, avec des dents allongées, plutôt aigües et de largeur modeste (18-21 mm). Les pétales sont de couleur blanche et à limbe brièvement bilobé au sommet, avec des appendices ligulaires bien marqués, allongés et aigus. Le gonophore est plus court que la demi-longueur du calice. Le fruit est conique ne dépassant

pas le calice. Cette espèce se rencontre dans les gorges à environ 30 km de la mer (Jeanmonod, 1985).

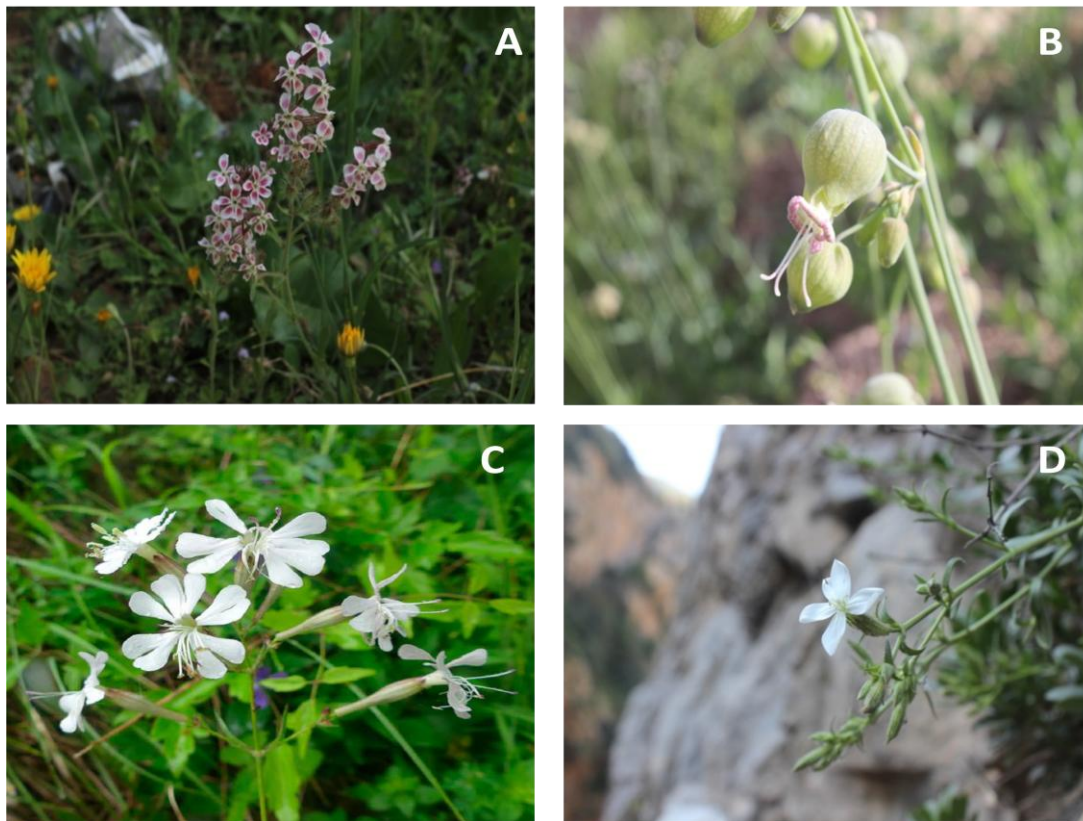


Figure 1: Morphologie des quatre espèces du genre *Silene* :
 A: *S. gallica*, B: *S. vulgaris*, C: *S. patula*, D: *S. aristidis*

I.3.2. Répartition géographique

Les espèces du genre *Silene* étudiées sont propagées un peu partout dans le monde, sauf *S. aristidis* qui est strictement endémique à l'Algérie.

Tableau II: Présentation des espèces du genre *Silene* étudiées et leurs distribution géographique (Rahou et Amssa, 2003; Greuter, 1995; Jeanmonod, 1984; Maire, 1963; Jeanmonod, 1985).

Espèces	Auteurs	Sections	Aire géographique
<i>S. vulgaris</i>	(Moench.) Garke (1869)	<i>Inflatae</i> (Boissier)	Europe et Asie extratropicale, Afrique du Nord et les îles de l'Atlantique
<i>S. patula</i>	Desfontaines (1779)	<i>Siphonomorpha</i> (Otth in DC)	Afrique du nord
<i>S. gallica</i>	Linné (1753)	<i>Silene</i> (Talavera et Garmendia)	Centrée sur l'Afrique du Nord-Ouest, s'étendant jusqu'en Macaronie-Asie et Pakistan.
<i>S. aristidis</i>	Pomel (1875)	<i>Siphonomorpha</i>	Endémique algérienne

I.4. La cytogénétique

La cytogénétique fait le lien entre la cytologie et la génétique. Elle est d'abord une science d'investigation. Elle a activement contribué à la compréhension des mécanismes héréditaires et la nouvelle classification du monde végétale (taxonomie et phylogénie). Son champ d'action est vaste et ses frontières ne sont pas clairement définies (Jahier, 1992).

Les méthodologies employées sont nombreuses. Elles concernent avant tout l'étude de chromosomes lors de la mitose et de la méiose. C'est aussi une des nombreuses disciplines sur lesquelles s'appuie l'amélioration des plantes. Elle participe à :

- la connaissance du matériel végétal utilisé: nombre de chromosomes, polyploïdie, allopoloïdie ...
- l'établissement de cartes génétiques grâce à la production et l'étude d'aneuploïdes (lignées monosomiques, télosomiques, et lignées d'addition...);
- l'exploitation de la variabilité intraspécifique, interspécifique ou induite.

La cytogénétique peut être impliquée au niveau même de la création variétale en participant à l'explication et la résolution de problèmes ponctuels rencontrés par les sélectionneurs: instabilité, stérilité... (Jahier, 1992).

I.4.1. Les divisions cellulaires des plantes

I.4.2.1. La mitose

La mitose est l'une des étapes bien particulières du cycle de vie des cellules eucaryotes. C'est l'étape de duplication de la cellule mère en deux cellules filles identiques. Elle se déroule en 4 phases : la prophase, la métaphase, l'anaphase et enfin la télophase. Lors de la mitose les chromosomes sont bien visibles (Cromer, 2013).

Les différentes étapes de la mitose végétale (Cromer, 2013).

La prophase: La condensation de la chromatine en structures très ordonnées et individualisées appelées chromosomes, suite à un enroulement accru de fibre chromatinienne qui semble se "condenser".

La métaphase: Un rassemblement de tous les chromosomes sur la plaque équatoriale. Le chromosome métaphasique est au maximum de sa condensation, et est constitué de deux chromatides reliés par un centromère.

L'anaphase: Les chromatides des chromosomes se séparent et migrent vers les pôles opposés de la cellule. C'est la phase la plus rapide de la mitose.

La télophase: Arrêt de migration des chromosomes regroupés en éventail aux pôles cellulaires. Les chromatides commencent à se décondenser. On y assiste à la reconstitution de l'enveloppe nucléaire, et la réapparition du nucléole.

I.4.2.2. La méiose

C'est une étape essentielle de la reproduction sexuée des organismes diploïdes. Au cours de cette division particulière, une cellule diploïde réduit son matériel chromosomique de moitié pour produire quatre cellules haploïdes. La méiose est un mécanisme de double division cellulaire (méiose I, réductionnelle; méiose II, équationnelle) (Horlow et Pascale, 2003). La première division permet la séparation des chromosomes homologues, la seconde permet la séparation des chromatides sœurs (Terret et Wassman, 2008).

I.4.2. Anomalies de la méiose

La méiose est un processus hautement cohérent et génétiquement programmé. Comme tout autre processus biologique, toutes les étapes séquentielles qui interviennent dans la méiose sont contrôlées par un large éventail de gènes (Pessim *et al.*, 2015). Les mutations de l'un de ces gènes qui régissent la micro- ou la mégasporogenèse depuis les événements pré-méiotiques jusqu'aux événements post-méiotiques peuvent conduire à de graves anomalies dans l'ensemble du processus (Pessim *et al.*, 2015). Toute anomalie dans le déroulement de la méiose entraîne la formation de gamètes stériles et un faible pourcentage de viabilité du pollen (Kaur et Singhal, 2019). Elle peut être causée par les agents chimiques tels que la colchicine, les herbicides, des facteurs physiologiques et environnementaux, les facteurs de stress et contrôle génétique...etc (Kaur et Singhal, 2019).

I.4.2.1. La cytomixie

Il existe plusieurs définitions de la cytomixie dans la littérature. La cytomixie est définie par Gates (1911) comme le processus d'extrusion de la chromatine du noyau d'une

cellule mère de pollen dans le cytoplasme de la cellule mère adjacente. Elle est définie aussi comme le transfert d'une goutte de chromatine non structurée d'une cellule à une autre (Kihara et Lilienfeld, 1934). Une autre définition a été donnée par Romanov et Orlova (1971) : C'est l'échange du cytoplasme incluant les organites cellulaires entre cellules adjacentes; dans le cas des microsporocytes, cette migration de cytoplasme entraîne un transfert de chromosomes ou fragments de chromosomes. Orlova (1994) définit la cytomixie comme un transfert du cytoplasme avec le noyau ou une partie de celui-ci à la cellule voisine (Papihinan et Yandovka, 2014).

Le rôle de la cytomixie dans l'évolution des plantes est considéré comme un mécanisme supplémentaire à l'origine de l'aneuploïdie et de la polyploïdie, la déviation du nombre de chromosomes affecte la fertilité du pollen (Paragliarini, 2000).

La raison du transfert de matériel nucléaire lors de la cytomixie est censée être le désordre du cytosquelette d'actine, puisque le transfert du contenu de la cellule à travers les canaux de la cellule peut être stoppé par la cytochalasine B, la substance qui empêche la croissance des fibres d'actine (Zhang *et al.*, 1985).

I.4.2.2. La ségrégation irrégulière des chromosomes

Elle est caractérisée par la présence d'une migration précoce des chromosomes vers les pôles ou de chromosomes retardataires et de bivalents non orientés au niveau de la plaque équatoriale. En général, ces chromosomes donnent lieu pendant la télophase à des micronoyaux qui persistent jusqu'au stade de la tétrade (Baptista-Giacomelli *et al.*, 2000).

I.4.2.3. Les micronoyaux

Les micronoyaux (MN) sont des corps extranucléaires qui contiennent des fragments de chromosomes endommagés et/ou des chromosomes entiers qui n'ont pas été incorporés dans le noyau après la division cellulaire (Luzhna *et al.*, 2013). Des irrégularités dans la ségrégation des chromosomes sont observées à l'anaphase des deux divisions méiotiques, donnant lieu à des micronoyaux dans les cellules mères de pollen aux stades dyade et tétrade. Il est démontré que la fréquence des micronoyaux dans les tétrades est corrélée à la fréquence des univalents en métaphase I, ce qui suggère que les micronoyaux proviennent en grande partie d'une mauvaise ségrégation (Khazanehdari et Jones, 1997). Les micronoyaux, qui se varient en nombre et en taille, résultent généralement des fragments de chromosomes ou des chromosomes retardataires (Grant, 1978).

I.4.3.4. Les univalents

Ils peuvent résulter d'une faible fréquence de chiasmas, d'une terminaison précoce du chiasma ou de la présence de gènes synaptiques ou désynaptiques dans la prophase I (Paragliarini, 2000). Les chromosomes univalents, en général, présentent une migration précoce vers les pôles et ne sont pas inclus dans le noyau. Dans ce cas, ils donnent lieu à des micronoyaux. Lorsque les deux univalents d'une paire de chromosomes migrent vers le même pôle, ils donnent naissance à des noyaux aneuploïdes ($n+1$ et $n-1$) et ils sont largement responsables de la stérilité du pollen (Baptista-Giacomelli *et al.*, 2000).

I.4.3.5. Les chromosomes retardataires

Un chromosome est considéré comme retardataire s'il est situé à la fin de l'anaphase, suffisamment loin derrière les chromosomes qui ségrégent correctement et qu'il ne se chevauche pas avec eux. Il est important de noter qu'il n'existe pas de définition standardisée d'anaphase tardive. Certains considèrent qu'un chromosome est un retardataire seulement s'il reste immobilisé dans l'interzone, sans être inclus dans l'un ou l'autre des noyaux filles, devenant ainsi un micronoyau. D'autres définissent un retardataire par sa position en anaphase par rapport aux chromosomes non-retardés, indépendamment de son sort final (Janicke *et al.*, 2007).

I.4.3.6. La viscosité des chromosomes

Le phénomène de collage des chromosomes causant l'agglutination ou l'apparence collante de ceux-ci a été signalé pour la première fois chez le maïs et attribué à une mutation causée par un gène récessif appelé sticky (st) (Kaur et Singhal, 2019). Elle est caractérisée par le regroupement des chromosomes à n'importe quelle phase du cycle cellulaire ; elle peut être causée par des facteurs génétiques ou environnementaux. Plusieurs agents ont été signalés comme pouvant provoquer une adhérence des chromosomes, notamment les rayons X, les rayons gamma, la température, les herbicides et certains produits chimiques présents dans le sol (Caetano-Pereira *et al.*, 1995). La forte adhérence de la chromatine a favorisé la formation de noyaux pycnotiques et la séparation retardée des bivalents à l'anaphase I ou II, des chromosomes retardataires et des ponts de chromatine, micronoyaux et, finalement, des grains de pollen stériles (Kaur et Singhal, 2019).

II. Matériel et Méthodes

II. Matériel et Méthodes

Ce travail est une étude des cellules en division (mitose et méiose) et la fertilité pollinique de quatre espèces du genre *Silene*. L'objectif principal est la détermination des nombres chromosomiques de ces espèces qui ne sont pas étudiées en Algérie du point de vue cytogénétique.

II.1. Echantillonnage

Le matériel végétal a été récolté dans différentes régions. Le tableau III montre l'origine géographique et les dates de récolte des boutons floraux en période de floraison et/ou des graines matures en fin de cette période.

Tableau III: Origine géographique et dates de récolte des graines et boutons floraux et/ou des graines des quatre espèces étudiées de *Silene*

Espèces	Origine géographique	Coordonnées GPS	Date de récolte des boutons floraux	Date de récolte des graines
<i>S. vulgaris</i>	Akfadou (Bejaia)	36°39'28.222''N 4°36'24.539''E	25/04/2021	
	Beni Djellil (Bejaia)	36°56'85.584''N 4°79'83.62''E	27/04/2021	
	Tazrout (Bejaia)	36°53'46.072''N 45°52'2.20''E	29/04/2021	
	Takliet (Bejaia)	36°44'99.95''N 5°2'76.41''E	01/05/2021	
	Tibane (Bejaia)	36°36'48.887''N 4°39'93.63''E	30/04/2021	
	Université de Bouira	36°22'44.78''N 3°52'31.48''E		19/02/2017
	Allessa Bouira	36°19'38.50''N 4°04'54.97''E		06/2017
<i>S. patula</i>	Tazrout (Bejaia)	36°53'60.72''N 4°55'22.20''E	29/04/2021 à 17:30 h 07/05/2021 à 15h	14/07/2017
	Ivaoualen (Bejaia)	36°53'55.25''N 4°46'83.50''E	12/04/2021 à 14h	22/07/2017
	Alma (Alger)	36°31'24.385''N 4°31'75.11''E	22/04/2017	
<i>S. gallica</i>	Ivaoualen (Bejaia)	36°53'55.25''N 4°46'83.50''E		
	Ammal (Boumerdas)	36°38'0055''N 3°35'28691''E		26/04/2017
<i>S. aristidis</i>	Gorges d'Ammal (Boumerdas)	36°61'10.68''N 3°58'28.52''E	22/04/2017	14/08/2017
	Ifri N' Ziri (Boumerdas)	36°60'60.025''N 3°56'28.702''E	22/04/2017	

II.2. Analyse caryologique

II.2.1. Préparations des solutions

- **8-Hydroxyquinoléine**

On dissout 0,03 g de la poudre de 8-hydroxyquinoléine dans 100 ml d'eau distillée pour une solution de 0,002 M. Le prétraitement permet de contracter les chromosomes et bloquer les divisions en métaphase, ce qui facilitera leur individualisation et augmentera le nombre de plaques métaphasiques.

- **Le Fixateur**

Le fixateur assure non seulement la fixation mais aussi un mordantage de la préparation. Ce fixateur peut être suivi d'une hydrolyse appropriée (Farmer et Moore, 1905). Le but de cette étape est de détruire toute vie cellulaire, bloquer les divisions cellulaires en conservant l'intégrité structurale des chromosomes et protéger les chromosomes de l'action de l'agent mitoclasique de prétraitement.

Le fixateur utilisé pour les racines et le carnoy I préparé comme suit :

- ✓ 3 volumes d'éthanol,
- ✓ 1 volume d'acide acétique glacial.

Le fixateur utilisé pour la conservation des boutons floraux est le carnoy II composé de:

- ✓ 6 Volumes d'éthanol,
- ✓ 3 Volumes de chloroforme,
- ✓ 1Volume d'acide acétique.

- **HCl 1N**

Pour un volume de 500 ml d'HCl 1N, nous avons utilisé 44,5 ml de HCl fumant. Verser d'abord une bonne part des 500 ml de l'eau distillée puis ajouter HCL fumant puis affiner l'ajustement à 500 ml.

- **Le colorant à l'orcéine lactopropionique**

L'orcéine est un colorant de couleur rouge violet qui est extrait sous forme naturelle de divers lichens. Cette technique de coloration facilite l'observation des différentes phases des chromosomes dans la division cellulaire. Ce colorant est préparé comme suit: Dans un grand

erlenmeyer, on dissout 2 g d'orcéine dans 23 ml d'acide propionique et 23 ml d'acide lactique, ensuite on ajoute de l'eau distillée jusqu'à 100 ml et on agite bien la solution puis on filtre. La solution d'orcéine ainsi obtenue se conserve longtemps dans un flacon en verre fumé.

- **Bleu de méthylène**

Nous avons utilisé le bleu de méthylène déjà préparé dans la coloration de quelques méristèmes racinaires et anthères au lieu de l'orcéine lactopropionique en suivant la même méthode. Le bleu de méthylène est généralement utilisé pour des tests de viabilité cellulaire. Il se fixe essentiellement sur le noyau, plus exactement sur les éléments réfringents qui constituent la chromatine du noyau. La chromatine qui réagit avec le bleu de méthylène basique est donc une substance basophile (bio-top.net, modifié 2017).

- **Bleu de coton**

Il met en évidence l'ornementation sporale. Il est utilisé aussi pour garder la préparation ou prendre des photographies, il présente 3 avantages: un indice de réfraction supérieur (les contours sont mieux définis); une viscosité plus importante qui limite fortement l'évaporation du milieu de montage et la présence de phénol qui permet de tuer les micro-organismes éventuellement présents et provoque la désactivation de l'activité lytique des enzymes cellulaires ce qui permet une conservation beaucoup plus longue de la préparation (www.afl-lichenologie.fr).

Le colorant est préparé selon le protocole de Mertens et Hamnersmith (1998). Il est composé de :

- ✓ 8 volumes de glycérine,
- ✓ 4 volumes d'acide lactique à 85%,
- ✓ 4 volumes d'un mélange de cristaux de phénol (1 g de phénol + 4 ml d'eau distillée),
- ✓ 2 volumes d'eau distillée,
- ✓ 1 volume de bleu d'aniline à 1% (0.05 ml + 100 ml d'eau distillée).

II.2.2. Les différentes étapes de l'analyse de la mitose

- **Mise en germination des graines**

Les graines de chaque espèce sont étalées sur du papier absorbant coupé aux mêmes dimensions que la base de la boîte de pétri. Les graines sont humidifiées avec l'eau du robinet

et mises à germer à l'obscurité dans des conditions d'humidité et de température ambiantes. Dans chaque boîte de pétri comportant les graines est placée une étiquette portant le nom de l'espèce, nom de la station et la date de mise à germination.

- **Prétraitement à la 8-hydroxyquinoléine**

A partir des graines germées, nous avons prélevé avec des pinces propres les pointes des racines d'environ 1cm, ensuite nous les avons plongées dans une solution de 8-hydroxyquinoléine 0.002 M pendant 3h.

- **Fixation**

Après prétraitement, les pointes des racines sont plongées dans le fixateur carnoy I pendant une nuit.

- **Hydrolyse à l'acide chlore-hydrique normal**

Les pointes racinaires sont hydrolysées dans une solution d'HCl (1N) dans un bain marie à 60°C pendant 8-10 min. Cette étape a pour but de ramollir les parois cellulaires, et faciliter l'étalement et l'éclaircissement des cellules.

- **Coloration**

Afin de mettre en évidence les zones méristématiques et améliorer la visibilité des chromosomes lors de leur observation, les racines hydrolysées sont mises dans une boîte de pétri en verre contenant l'orcéine lactopropionique ou bien bleu de méthylène, puis transférées dans le bain marie pendant 10 min.

- **Préparation des lames**

Sous une loupe binoculaire, avec une pince propre, nous prenons une racine et nous la mettons sur une lame de microscope. A l'aide d'une aiguille, nous coupons l'extrémité de la racine colorée en noir. Nous ajoutons une goutte du colorant, puis nous la recouvrons avec une lamelle. Après avoir éliminé le surplus de colorant à l'aide du papier absorbant, nous écrasons avec une tige en bois, en prenant soin de ne pas faire bouger la lamelle.

- **Observation**

Cette étape consiste à passer la préparation au microscope optique pour observer des cellules en mitose. L'observation des chromosomes est obtenue par un grossissement(x100) à immersion.

- **Photographie**

Les préparations réussies sont photographiées à l'aide d'un microscope OPTIKA B-305 sur lequel est montée une caméra numérique (Grossissement x100). Les lames sont conservées pendant quelques jours en les lutant avec du vernis à ongles transparent.

II.2.3. Les différentes étapes de l'analyse de la méiose

- **Récupération des anthères**

Sous une loupe binoculaire, à l'aide d'une pince et une aiguille, nous prenons une fleur et nous la mettons sur une lame, puis nous ajoutons une goutte d'eau, ensuite nous faisons sortir les dix anthères pour ensuite les répartir sur deux lames différentes.

- **Hydrolyse**

Cette étape a pour but de ramollir les cellules et éclaircir le cytoplasme. Elle consiste à transférer les fleurs des boutons floraux fixés dans du HCL (1N) pendant 4-5 min dans le bain marie à 60° C.

- **Coloration**

Après avoir préparé les deux lames contenant les anthères, nous avons ajouté une goutte du colorant (orcéine lactopropionique ou bleu de méthylène), puis nous les avons mises dans le bain marie pendant 3-4 min à 60°C.

Nous avons couvert les lames préparées par des lamelles. Nous avons mis du papier filtre sur la lamelle pour éliminer l'excès du colorant et on exerce une légère pression avec le pouce pour étaler les anthères et libérer les cellules mères polliniques.

- **Observation**

Après la coloration, on passe la préparation au microscope photonique pour observer les cellules en méiose. Les cellules mères polliniques sont repérées facilement à l'aide d'un objectif de grossissement ($G = 10$ ou $G = 40$). L'observation des chromosomes est obtenue par un grossissement supérieur, le plus souvent avec le grossissement ($G = 100$). Pour pouvoir compter les chromosomes, on doit chercher des divisions cellulaires au stade métaphasique où les chromosomes sont plus ou moins contractés, ce qui facilite leur individualisation ; les lames sont conservées pendant quelques jours en les lutant avec du vernis à ongles transparent.

- **Photographie**

Les bonnes préparations sont photographiées à l'aide d'un microscope trinoculaire OPTIKA-B350 équipé d'un appareil à photos numérique adapté (Grossissement x100).

II.3. Analyse de la fertilité pollinique

La technique utilisée pour étudier la fertilité pollinique a été inspirée du protocole de Mertens et Hamnersmith (1998).

II.3.1. Technique de coloration des grains de pollen

Sous la loupe binoculaire, sur une lame de microscope dans une goutte d'eau, nous avons isolé les anthères à l'aide de deux aiguilles, puis nous avons écrasé les anthères afin de récupérer le maximum de grains de pollen. Nous avons éliminé les débris des anthères vides, ensuite nous avons laissé sécher la goutte d'eau contenant les grains de pollen à l'air libre (une plaque chauffante peut être utilisée pour accélérer le séchage). Nous avons ajouté une petite goutte de bleu de coton sur les grains de pollen et nous avons recouvert d'une lamelle. Nous avons laissé agir le colorant pendant au moins 10min et on passe à l'observation au microscope photonique.

II.3.2. Evaluation du taux de fertilité pollinique

Nous avons compté 700 ou quelque fois plus de grains de pollen par fleur. Les grains de pollen colorés uniformément d'un bleu foncé sont considérés viables et fertiles, alors que ceux de forme et de tailles anormales et non uniformément colorés sont considérés non viables et stériles. Le taux de fertilité pollinique est le rapport de la somme des grains de pollen fertiles sur la somme des grains de pollen fertiles et non fertiles (stériles).

La formule: $TF = n / N * 100$

TF = Taux de fertilité pollinique;

n = Nombre de grains de pollen normaux (fertiles).

N = Nombre total de grains de pollen ; normaux (fertiles) et anormaux (stériles).

II.4. Evaluation statistique des tailles des grains de pollen

Après avoir mesuré les tailles des grains de pollens (environ 50 grains de pollen par population), les moyennes pour chaque population et pour chaque espèce ont été calculées, puis le test statistique ANOVA suivi du test post-hoc Unequal N HSD ((Honestly Significant

Difference) de Tukey (= Différence significative honnête pour des effectifs inégaux de Tukey) a été réalisée. (P = 0.05).

III. Résultats et discussion

III. Résultats et discussion

III.1. Dénombrements chromosomiques

L'observation des chromosomes en division méiotique et mitotique a été effectuée au niveau des cellules mères polliniques (Anthères des boutons floraux) et des cellules méristématiques de la racine respectivement. Les résultats obtenus sont illustrés dans les Figures 2, 3, 4 et 5.

III.1.1 *Silene vulgaris*

Le nombre chromosomique compté chez les populations de Beni Djellil et Akfadou en métaphase II durant la méiose et chez les populations de l'université de Bouira et Allessa en mitose sont présentés dans la figure 2. On en déduit que les populations de Beni Djellil, Akfadou et Allessa sont diploïdes à $2n = 2x = 24$, quant à la population de l'université de Bouira, on y a compté jusqu'à 40 chromosomes, il s'agit probablement d'un tétraploïde $2n = 4x = 48$ où tous les chromosomes ne sont pas visibles.

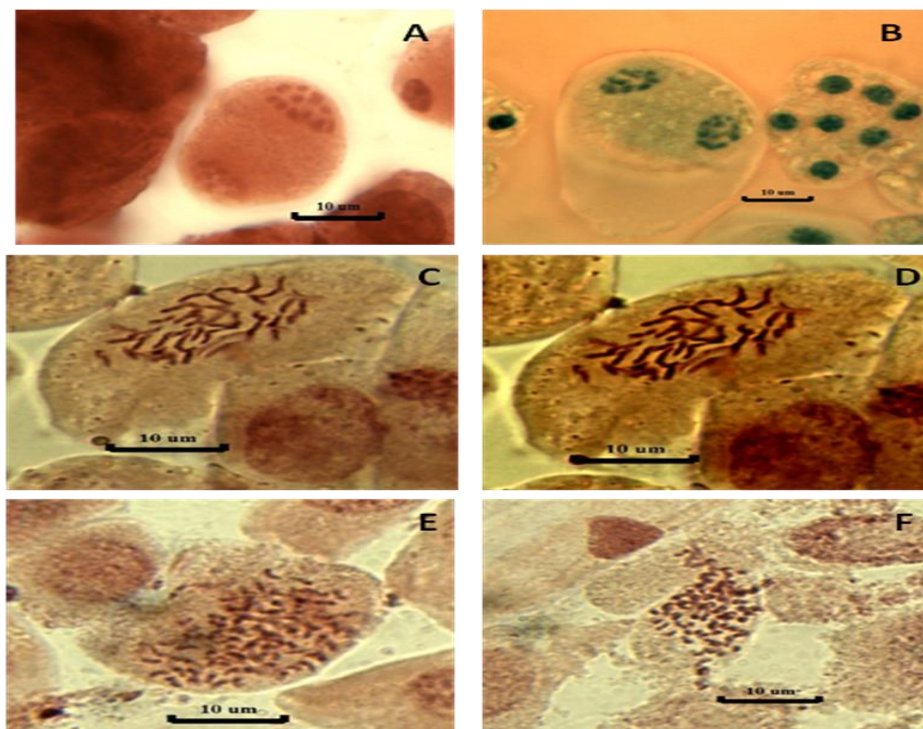


Figure 2: Dénombrements chromosomiques de *Silene vulgaris* (Grossissement x100).

- A, B:** Cellules mères polliniques en méiose avec $n = 12$ (Populations de Beni Djellil et Akfadou).
- C, D:** Cellules méristématiques racinaires en mitose avec $2n = 24$ (Population de Allessa Bouira).
- E, F:** Cellules méristématiques racinaires avec jusqu'à 40 chromosomes (Population de l'université de Bouira).

III.1.2. *Silene patula*

Nous avons compté 12 bivalents en métaphase II en méiose et $2n = 24$ en mitose chez la population de Tazrout en dessous de la route (Figure 3 A et B, E et F) comme nous avons compté 12 chromosomes en métaphase II chez la population d'Alma (Figure 3 C et D). Il s'agit donc d'un diploïde à $2n = 2x = 24$. Pour certains échantillons récoltés en dessus de la route à Tazrout, des cellules à $n = 6$ ont été observées suggérant l'existence d'un $2n = 12$ ($x = 6$) chez *S. patula* (Figure 3 G et H).

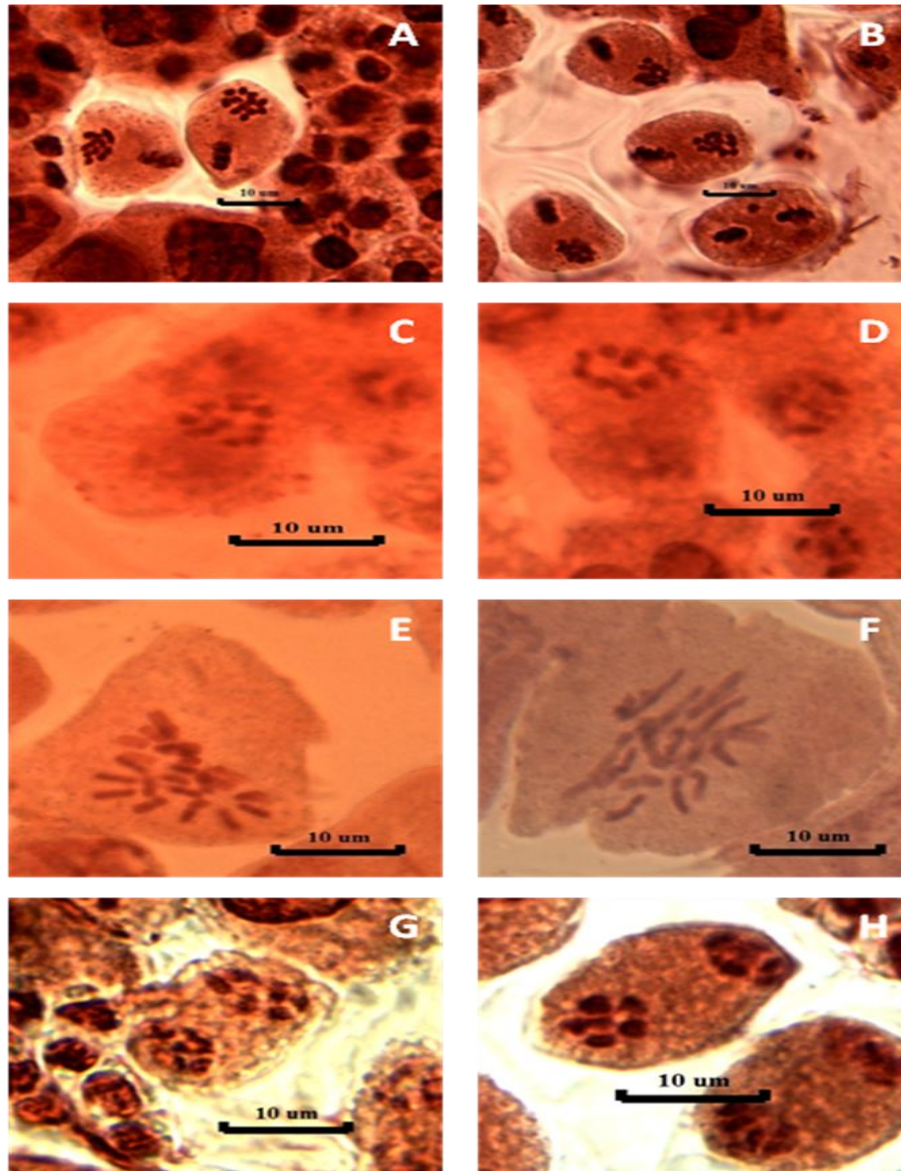


Figure 3: Dénombrements chromosomiques de *Silene patula* de Tazrout et Alma. (Grossissement x100).

- A, B:** Cellules mères polliniques en méiose en métaphase II avec $n = 12$.
- C, D:** Cellules mères pollinique en métaphase II avec $n = 12$.
- E, F:** Cellules méristématiques racinaires en métaphase avec $2n = 24$.
- G, H:** Cellules mères polliniques en méiose en métaphase II avec $n = 6$.

III.1.3. *Silene gallica*

Le nombre chromosomique observé durant la métaphase II chez les populations Ivaoualen (division méiotique) et Ammal (division mitotique) est présenté dans la figure 4. Les résultats montrent que toutes les deux populations sont à $2n = 2x = 24$.

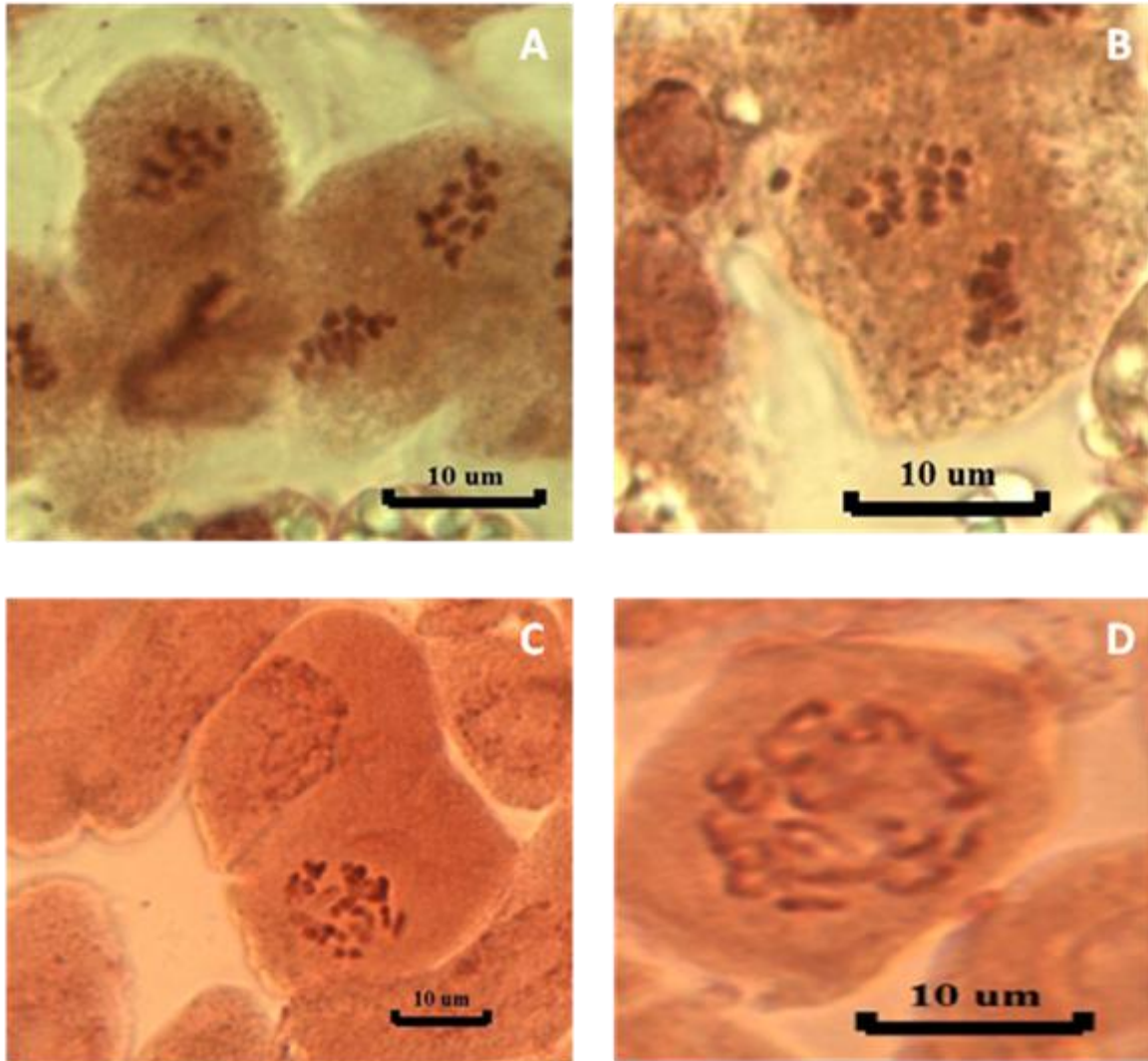


Figure 4: Dénombrements chromosomiques de *Silene gallica* (Grossissement x100).
A, B: Cellules mères polliniques en méiose en métaphase II avec $n = 12$ (Ivaoualen)
C, D: Cellules méristématiques racinaires en métaphase avec $2n = 24$ (Ammal).

III.1.4. *Silene aristidis*

Nous avons observé en méiose 12 bivalents en métaphase I (Figure 5, A) et 12 chromosomes en métaphase II (Figure 5, B) et 24 chromosomes en métaphase de la mitose chez la population des Gorges d'Ammal. Les résultats sont présentés dans la figure 5. Toutes les observations concordent pour un $2n = 2x = 24$.

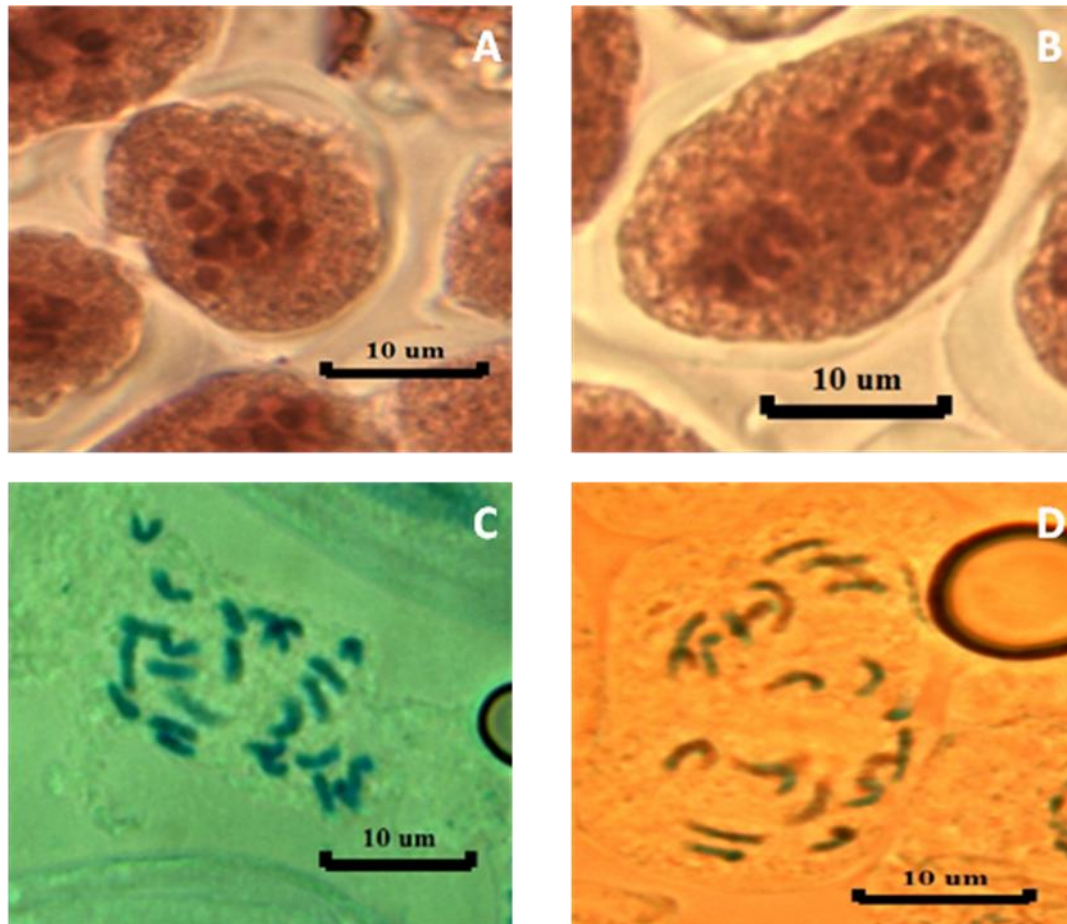


Figure 5: Dénombrements chromosomiques de *Silene aristidis* (Gorges d'Ammal) (Grossissement x100).

A: Cellules mères polliniques en méiose en métaphase I avec $n = 12$.

B: Cellules mères polliniques en méiose en métaphase II méiotique $n = 12$.

C, D: Cellules méristématiques racinaires en métaphase avec $2n = 24$.

III.2. Anomalies de la méiose

Pendant la division méiotique, nous avons observé la présence de plusieurs anomalies dont la cytomixie, télophases anormales (chromosomes retardataires, ponts chromatiques, et tétrade (micronoyaux, dyades, pentades, hexades)).

- **Cytomixie**

Au cours de l'analyse des cellules mères pollinique des différentes espèces étudiées, nous avons observé des migrations anormales (cytomixie) entre 2 ou plusieurs cellules (Figure 6).

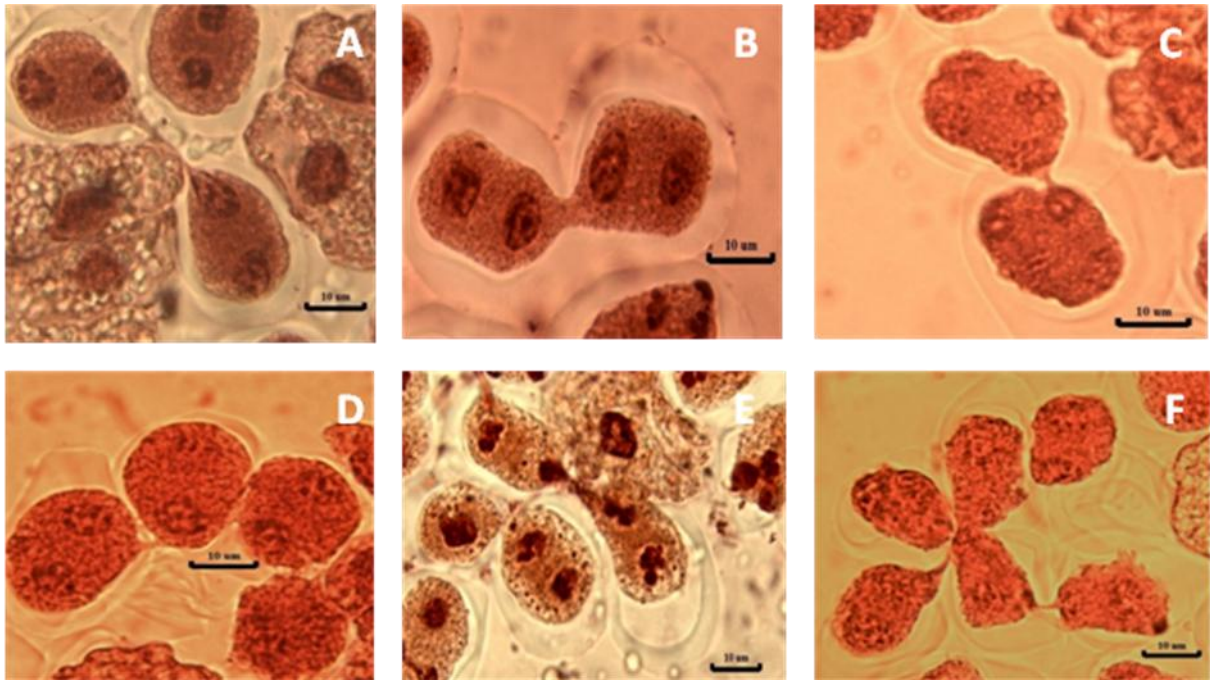


Figure 6: Types de cytomixie dans les cellules mères pollinique de *Silene* (Grossissement x100): **A**, **B**: Cytomixie entre deux cellules en métaphase II; **C**: Cytomixie entre deux cellules en télophase II; **D**: Cytomixie entre quatre cellules en métaphase II; **E**: Cytomixie entre trois cellules en métaphase II; **F**: Cytomixie entre cinq cellules.

- **Télophases anormales**

Nous avons observé une anomalie au niveau du stade télophase consistant en des cellules mères polliniques avec un nombre de noyaux variables et la présence des micronoyaux (Figure 7).

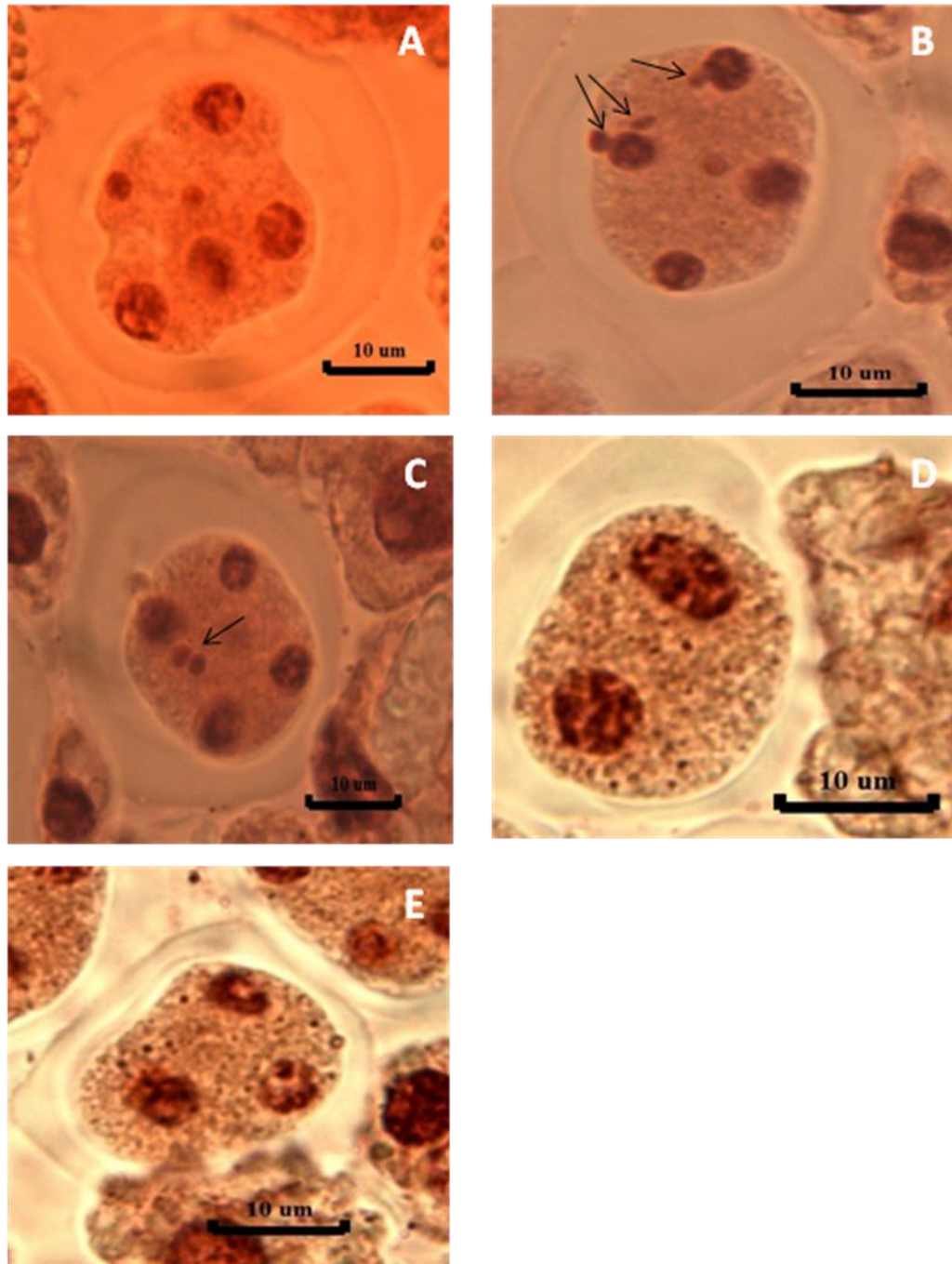


Figure 7: Cellules mères polliniques en phase télophase II anormale avec (Grossissement x100): **A:** 2 micronoyaux; **B:** 4 micronoyaux; **C:** 5 noyaux et 2 micronoyaux; **D:** 2 noyaux; **E:** 3 noyaux.

• **Tétrades anormales**

C'est l'anomalie la plus fréquente que nous avons observée chez les espèces étudiées. Elle est caractérisée par une différence de taille et de nombre des cellules filles (Figure 8).

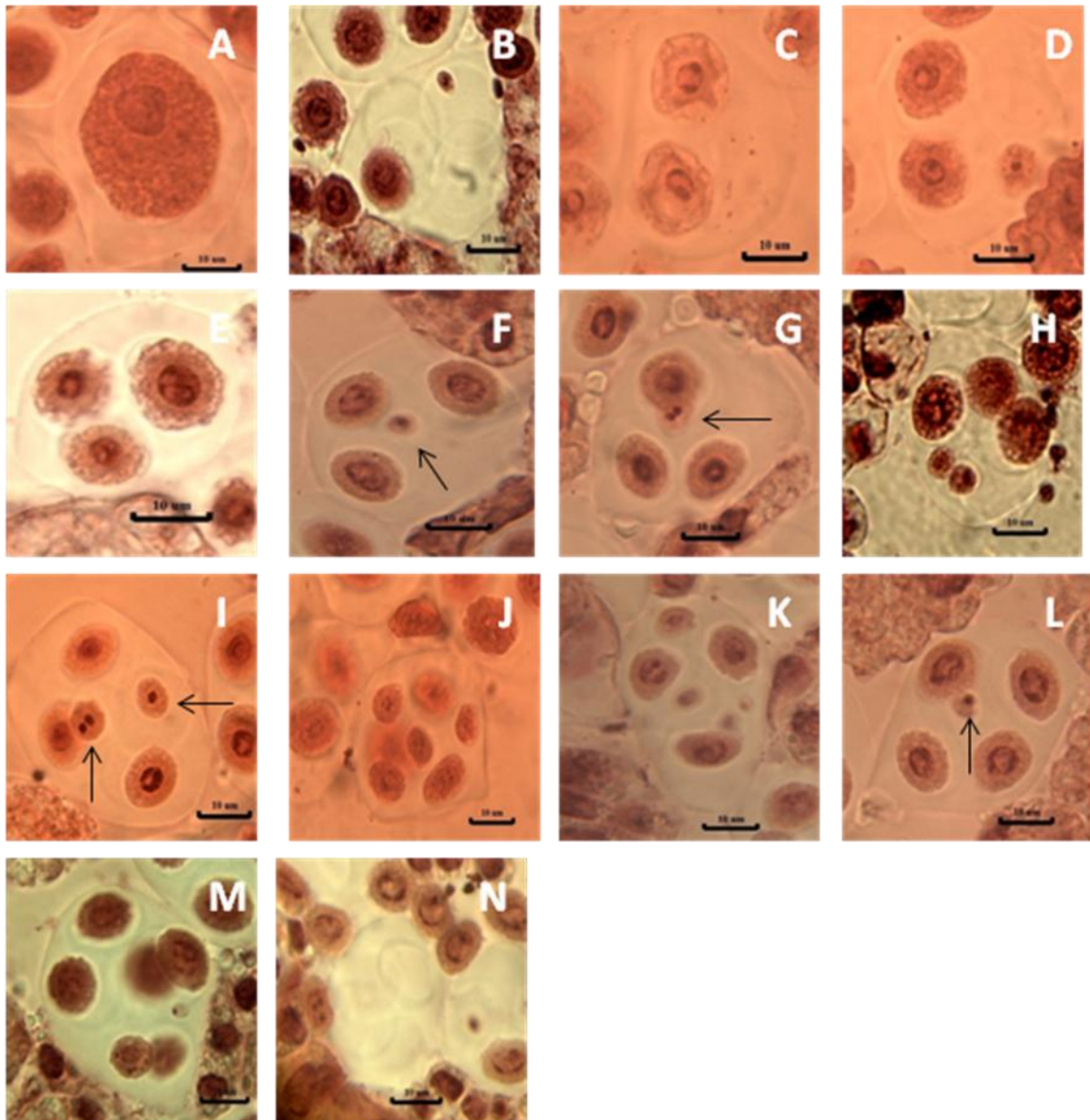


Figure 8: Tétrades anormales (Grossissement x100): **A:** Monade; **B:** Monade avec 2 micronoyaux; **C:** Dyade; **D:** Dyade avec 1 micronoyau; **E:** Triade; **F:** Triade avec 1 micronoyau; **G:** Triade avec 1 micronoyau dédoublé; **H:** Triade avec 2 micronoyaux; **I:** Triade avec 2 micronoyaux dont un est dédoublé; **J:** Heptade; **K:** Tétrade avec 2 micronoyaux; **L:** Tétrade avec 1 micronoyau; **M:** Hexade; **N:** Tétrade vide.

- **Autres anomalies**

Nous avons observé aussi d'autres types d'anomalies pendant l'analyse de la méiose aux stades télophase et métaphase I et II (Figure 9).

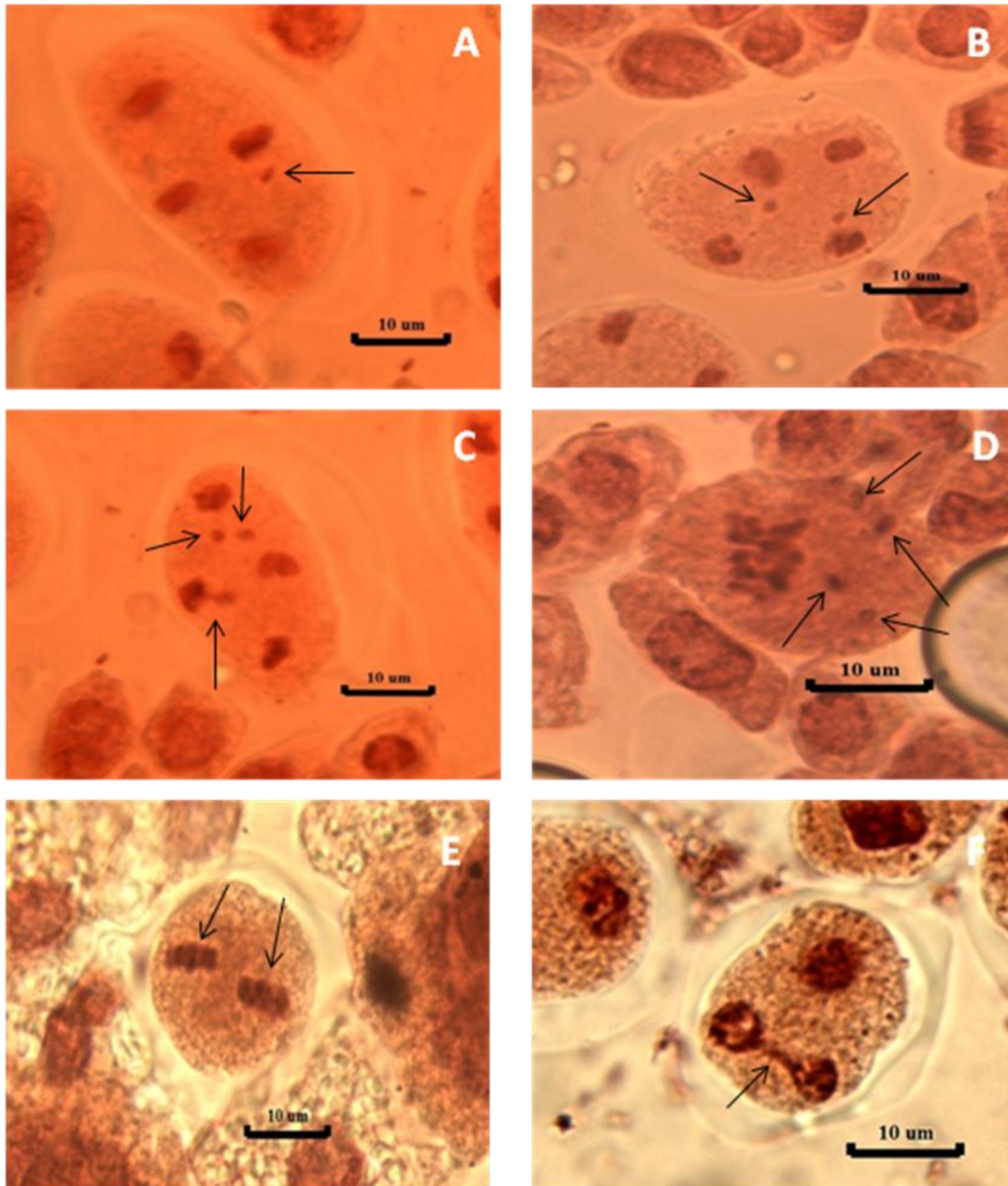


Figure 9: Autres anomalies de la méiosis (Grossissement x100): **A, B, C:** Télophase avec chromosomes retardataires; **D:** Métaphase I avec chromosomes retardataires (monovalents); **E:** Chromosomes agglutinés; **F:** Pont chromatique.

III.3. La fertilité pollinique

III.3.1. Analyse de la fertilité pollinique

Les taux de fertilités polliniques sont estimés sur un nombre différent de fleurs (maximum 15 entre des fleurs médianes et latérales) choisis au hasard pour chaque population. La figure 10 montre les grains de pollen fertiles et stériles des populations étudiées. Les grains de pollen fertiles ont une forme régulière et sont bien colorés. Alors que les grains de pollen non fertiles (stériles) présentent une forme et couleur irrégulière.

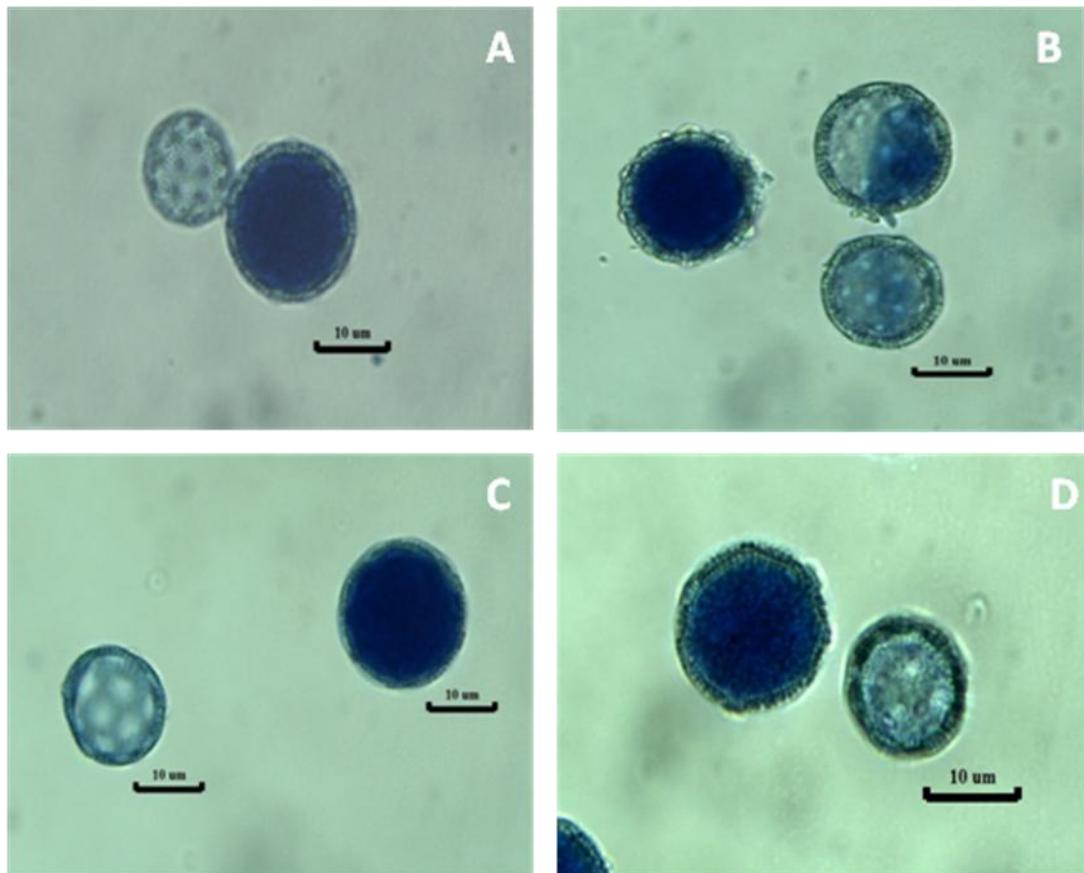


Figure 10: Photographies des grains de pollen fertiles (Bleu foncé) et stériles (Bleu clair) des espèces étudiées (Grossissement x100): **A:** *Silene gallica*; **B:** *Silene vulgaris*; **C:** *Silene aristidis* **D:** *Silene patula*.

Les taux de fertilité pollinique des populations des espèces étudiées sont présentés par le tableau IV.

Tableau IV: Fertilités polliniques des populations étudiées.

Espèces	Populations	Fleurs Axiales	Fleurs latérales
<i>S. vulgaris</i>	Tazrout	25,39%	0,17%
	Beni Djellil	40,94%	0,31%
	Akfadou	20,08%	0,71%
<i>S. patula</i>	Tazrout	82,45%	0,37%
	Ivaoualen	27,45%	0,29%
	Alma	0%	0%
<i>S. gallica</i>	Ivaoualen	93,20%	/
<i>S. aristidis</i>	Ifri N° Ziri	96,39%	0,13%
	Gorge d'Ammal	36%	/

Après avoir analysé la fertilité pollinique des 4 espèces du genre *Silene* Tableau IV, nous avons observé:

- Une différence entre les fleurs axiales et les fleurs latérales:

L'analyse de la fertilité pollinique des espèces étudiées a montré que les fleurs latérales présentent un taux très faible (presque nul) par rapport aux fleurs axiales.

- Une variabilité au niveau des taux de fertilité pollinique:

Nous avons remarqué chez *S. vulgaris* un taux de fertilité pollinique d'une moyenne variant entre 20% à 41% toutes populations confondues (Tazrout (25,39%), Beni Djellil (40,94%) et Akfadou (20,08%)). Chez *S. patula*, le taux de fertilité pollinique est plus élevé pour la population de Tazrout (82.45%) que pour la population d'Ivaoualen (27.80%) alors que la population d'Alma est totalement stérile (0%). Le taux de fertilité de la population d'Ivaoualen de *Silene gallica* est très élevé (93.20%). Pour *S. aristidis*, le taux de fertilité pollinique est de loin plus élevé pour la population Ifri N°Ziri (96.39%) que pour la population des Gorges d'Ammal (36%).

III.3.2. La taille des grains de pollen

Les résultats de la comparaison des tailles des grains de pollen sont présentés dans les tableaux (V à VIII). Le tableau IX présente les moyennes calculées pour les quatre espèces étudiées.

Tableau V: Moyennes et écarts types (μm) des tailles des grains de pollen chez les populations de *Silene vulgaris*. Les valeurs désignées par la même lettre sont statistiquement identiques (Test Unequal N HSd, $p = 0.05$). Les grains de pollen de la population d'Akfadou sont plus grands que ceux des populations de Tazrout et Beni Djellil. E: Axe équatorial; P: Axe polaire.

Espèce	<i>Silene vulgaris</i>					
	Akfadou		Tazrout		Beni Djellil	
Population	E	P	E	P	E	P
Moyenne	48.72 B	49.19 b	45.39 A	46.14 a	45.33 A	45.03 a
Ecart-type	2.33	2.66	2.86	2.82	3.49	3.45

Tableau VI: Moyennes et écarts types (μm) des tailles des grains de pollen chez les populations de *Silene patula*. Les valeurs désignées par la même lettre sont statistiquement identiques (Test Unequal N HSd, $p = 0.05$). Les grains de pollen de la population de Tazrout sont plus grands que ceux de la population d'Ivaoualen. E: Axe équatorial; P: Axe polaire.

Espèce	<i>Silene patula</i>			
	Ivaoualen		Tazrout	
Population	E	P	E	P
Moyenne	35.60 A	34.64 a	40.47 B	39.25 b
Ecart-type	1.53	1.72	1.49	1.48

Tableau VII: Moyennes et écarts types (μm) des tailles des grains de pollen chez les populations de *Silene aristidis*. Les valeurs désignées par la même lettre sont statistiquement identiques (Test Unequal N HSd, $p = 0.05$). Les grains de pollen de la population d'Ifri N' Ziri sont plus grands que ceux de la population des Gorges d'Ammal. E: Axe équatorial; P: Axe polaire.

Espèce	<i>Silene aristidis</i>			
	Ifri N' Ziri		Gorges d'Ammal	
Population	E	P	E	P
Moyenne	46.53 B	45.10 b	38.05 A	37.15 a
Ecart type	2.63	2.82	2.13	1.98

Tableau VIII: Moyennes et écarts types (μm) des tailles des grains de pollen chez la population d'Ivaoualen de *Silene gallica*. Une seule population a pu être étudiée pour cette espèce. E: Axe équatorial; P: Axe polaire.

Espèce	<i>Silene gallica</i>	
	Ivaoualen	
Population	E	P
Moyenne	48.04	47.08
Ecart-type	2.54	2.71

Tableau IX: Moyennes et écarts types (μm) des tailles des grains de pollen chez les espèces de *Silene* étudiées. Les valeurs désignées par la même lettre sont statistiquement identiques (Test Unequal N HSd, $p=0.05$). Les grains de pollen sont en moyenne plus chez *S. vulgaris* et *S. gallica*, suivis de *S. aristidis* (intermédiaire), plus petits chez *S. patula*. Le test statistique a aussi montré que la largeur et longueur sont identiques (grains de pollen sphériques) pour toutes les espèces et toutes les populations). E: Axe équatorial; P: Axe polaire.

	<i>S. vulgaris</i>		<i>S. patula</i>		<i>S. aristidis</i>		<i>S. gallica</i>	
	E	P	E	P	E	P	E	P
Moyenne	46,51 C	46,83 c	37,85 A	36,77 a	42,41 B	41,24 b	48,04 C	47,05 c
Écarts-types	3,33	3,47	2,87	2,81	4,88	4,68	2,54	2,71

D'après les résultats obtenus, les moyennes des tailles des grains de pollen sont significativement variables:

La taille des grains de pollen de la population d'Akfadou de *S. vulgaris* est plus grande (E = $48,72 \pm 2.33 \mu\text{m}$; P = $49,19 \pm 2.66 \mu\text{m}$) en comparaison avec celles des deux autres populations [Beni Djellil (E = $45,33 \pm 3.49 \mu\text{m}$; P = $45,04 \pm 3.45 \mu\text{m}$) et Tazrout (E = $45,34 \pm 2.86 \mu\text{m}$; P = $46,14 \pm 2.82 \mu\text{m}$)] qui sont statistiquement identiques (Tab. V). Les deux populations étudiées de *S. patula* présentent des tailles différentes (Tazrout: E = $40,47 \pm 1.49 \mu\text{m}$; P = $39,25 \pm 1.48 \mu\text{m}$; Ivaoualen : E = $35,60 \pm 1.53 \mu\text{m}$; P = $34,64 \pm 1.72 \mu\text{m}$) (Tab. VI). La population d'Ifri N' Ziri de *S. aristidis* présente une taille plus grande (E = $45,53 \pm 2,63 \mu\text{m}$; P = $45,11 \pm 2,824 \mu\text{m}$) que la population des Gorges d'Ammal (E = $38,05 \pm 2,13 \mu\text{m}$; P = $37,15 \pm 1,98 \mu\text{m}$) (Tab. VIII).

Les grains de pollen de *S. vulgaris* (E = $46,51 \pm 3.33 \mu\text{m}$, P = $3,33 \pm 3.47 \mu\text{m}$) et *S. gallica* (E = $48,04 \pm 2,54 \mu\text{m}$; P = $47,05 \pm 2,71 \mu\text{m}$) sont identiques et plus grands, suivis de *S. aristidis* (E = $42,41 \pm 4,88 \mu\text{m}$; P = $41,24 \pm 4,68 \mu\text{m}$) avec des tailles intermédiaires, puis de *S. patula* (E = $37,85 \pm 2,87 \mu\text{m}$; P = $36,77 \pm 2,81 \mu\text{m}$) avec des tailles plus petites (Tableau IX).

Les rapports entre l'axe équatorial (E) et l'axe polaire (P) des grains de pollen sont proches de 1 pour toutes les populations et toutes étudiées. Pour toutes les espèces confondues, il est de $1.01 \pm 0,05$.

III.4. Discussion

III.4.1. Dénombrements chromosomiques

Les résultats du dénombrement chromosomiques des espèces étudiés sont répertoriés dans le Tableau X ci-dessous. Ces résultats révèlent que les populations étudiées sont diploïdes avec $2n = 2x = 24$ ($x = 12$), sauf *Silene vulgaris* population de l’université de Bouira où nous avons compté plus de 40 chromosomes correspondant probablement à un tétraploïde à $2n = 4x = 48$. Aussi pour *S. patula* de Tazrout des $2n = 2x = 12$ ($x = 6$) semblent être présents en plus des $2n = 2x = 24$ ($x = 12$), plus fréquents que les $2n = 12$.

Tableau X: Dénombrements chromosomiques dans les populations de *Silene* étudiées.

Espèce	Population	X	Ploïdie	n	2n
<i>S. vulgaris</i>	Akfadou	12	2x	12	
	Beni Djellil	12	2x	12	
	Allessa Bouira	12	2x		24
	Université de Bouira	Plus de 40 chromosomes			
<i>S. patula</i>	Tazrout1	6	2x	6	
	Tazrout2	12	2x	12	24
	Alma	12	2x	12	
<i>S. gallica</i>	Ivaoualen	12	2x	12	
	Ammal	12	2x		24
<i>S. aristidis</i>	Gorges d’Ammal	12	2x	12	24

Silene vulgaris

Les populations d’Akfadou, Beni Djellil et Allessa Bouira sont de cytotype $2n = 2x = 24$, par contre la population de l’université de Bouira est d’un cytotype différent puisque nous avons compté plus de 40 chromosomes en mitose dans les cellules du méristème racinaire. D’après la littérature plusieurs populations dans l’Inde et l’Himalaya sont de cytotype $2n = 2x = 24$ par contre d’autres populations telles que Bhagaynimata et Malana du même pays sont tétraploïdes $2n = 4x = 48$ (Kumar *et al.*, 2014), ce dernier a été aussi signalé par Boukhzar et Bouhedda (2018). Des diploïdes avec $2n = 2x = 12$ ont été mentionnés pour *S. vulgaris* en Crète (Miège et Greuter, 1973) et dans l’Est de la Sibérie sous le nom de *Oberna behen* (L.) Ikonn (= *S. vulgaris*) (Krivenko *et al.*, 2011).

Silene patula

Les populations de Tazrout 2(mitose et méiose) et d'Alma sont de cytotype diploïde avec $2n = 2x = 24$ avec $x = 12$ comme nombre de base. Ce résultat a été déjà signalé par Blackburn (1928), et par Löve (1942) en Portugal et par Jeanmonod (1984,1985) en nord d'Afrique. Le $2n = 2x = 12$ (à confirmer sur des mitoses racinaires) que nous avons observé sur des méioses n'a jamais été signalé pour *S. patula*.

Silene gallica

Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par Blackburn (1928), Favarger (1946), Blackburn et Morton (1957), par Larsen (1960) et par Damboldt et Phitos (1968) dans leurs études effectuées sur des populations du Canada, l'Afrique du sud et la Grande Bretagne. C'est aussi celui trouvé par Mersel et Ouacene (2020) pour une population de *S. gallica* de Jijel (Algérie).

Silene aristidis

Cette espèce est une endémique algérienne stricte. Nous avons compté 12 bivalents en méiose et 24 chromosomes en mitose d'où on déduit qu'il s'agit d'un diploïde à $2n = 2x = 24$ ($x = 12$). D'après le Chromosome Counts Database Server, Guittonneau (1978) aurait compté $2n = 24$, mais quand on consulte le détail de la publication, on constate qu'il s'agit de *S. nemorosa* de Tchécoslovaquie.

III.4.2. Anomalies de la méiose

Lors de cette étude, nous avons observé plusieurs anomalies quasiment chez toutes les populations des espèces étudiées:

- Des micronoyaux surtout au stade tétrade chez toutes les espèces étudiées. D'après Baptista-Giacomelli (2000), ils peuvent provenir d'univalents ou bivalents qui migrent vers les pôles et qui ne sont pas inclus dans le noyau.
- Des chromosomes retardataires chez *S. vulgaris* population d'Akfadou et *S. patula* population d'Alma. Ils ont été mentionnés par Bellucci *et al.* (2003) et Godoy *et al.* (2012). D'après Mendes-Bonato (2001), les chromosomes retardataires sont liés à la ségrégation irrégulière, et selon Sanghal et Kumar (2008) et Reis *et al.* (2015), ils peuvent être la conséquence de la cytomixie.
- Des chromosomes agglutinés en métaphase II et anaphase chez *S. aristidis*. Ils ont été signalés par Beadle (1932) et par Pagliarini (2000). D'après cette dernière référence,

ce phénomène peut être dû à des facteurs génétiques et environnementaux. D'après Gaulden (1987), ils peuvent être causés par un dysfonctionnement de deux types de protéines non-histones (ADN topoisomérase II et des protéines périphériques) qui sont nécessaires à la séparation et la ségrégation chromosomique. L'adhérence des chromosomes est considérée comme une cause de la stérilité des pollens.

- Les tétrades anormales: c'est l'anomalie la plus rencontrée dans nos préparations chez toutes les populations des espèces étudiées. D'après Soodan et Waffai (1987), les tétrades aberrantes peuvent être le résultat de la cytomixie. La stérilité mâle et femelle est associée à la déviation du nombre et de la taille des microspores au stade tétrade selon Horlow et doutriaux (2003). Et nous avons aussi remarqué des cellules en télophase avec un nombre de noyaux différent (avec deux noyaux, trois noyaux). Selon Pagliarini *et al.* (1992), cela est dû à une irrégularité du fuseau achromatique (le phénomène de convergence de deux fuseaux en un seul pôle cellulaire).
- La cytomixie chez toutes les espèces étudiées généralement en métaphase. Ce phénomène a été signalé par Gates (1911) et par Schnack et Fehleisen (1957) et plusieurs autres chercheurs par ensuite. Selon Soodan et Waffai (1987), la persistance de canaux cytoplasmiques entre des cellules adjacentes empêche leur arrondissement et le développement d'une paroi cellulaire. Cela créerait les conditions pour le déplacement de la chromatine d'une cellule à une autre. Bahl et Tyagi (1988) aussi ont rapporté l'apparition des canaux cytoplasmiques chez *Papaver dubium*. Ces canaux ont probablement pris naissance sous la forme de petites projections qui, en s'allongeant, toucheraient une autre cellule. La paroi cellulaire peut se dissoudre au point de contact formant un passage pour la chromatine. Et d'après les études faites par Caetano-Pereira et Pagliarini (1997), il y aurait une implication génotypique dans l'apparition de la cytomixie; il y suggéré aussi que la cytomixie peut être causée par un système génétique déséquilibré en réponse aux fluctuations environnementales et cela a été proposé avant par Basaviaiah et Murthy (1987), Nirmala et Kaul (1994) et Soodan et Waffai (1987). Kaur et Singhal (2019) ont mentionné que la cytomixie peut être due à l'action des agents chimiques tels que les colchicines et l'usage des herbicides. Au cours de la microsporogénèse, cette anomalie peut causer diverses anomalies méiotiques et une réduction de la viabilité des grains de pollen et hétérogénéité de leurs tailles (Guan *et al.*, 2012).

III.4.3. Analyse de la fertilité pollinique

- Une différence entre les fleurs axiales et les fleurs latérales:

Cette différence peut avoir la même explication que celle de Mahdjoub *et al.*, 2018 sur *Salvia jaminiana*. Selon ces auteurs, la fertilité pollinique plus élevée dans les fleurs médianes que dans les fleurs latérales peut être due à une différence dans l'alimentation et l'exposition au stress. La fleur médiane représente l'axe principal avec une dominance de croissance apicale (McIntyre, 1964; Dun *et al.*, 2006) et donc favorisée au détriment des fleurs latérales réduites à jouer un rôle plutôt protecteur contre les facteurs environnementaux (tels que la chaleur, le froid, l'herbivorie) connus pour diminuer la fertilité du pollen par l'induction d'anomalies de la méiose, notamment la cytomixie.

- La variabilité au niveau des taux de fertilité pollinique:

Le taux faible et moyen de la fertilité pollinique des populations et des espèces pourrait être dû aux anomalies méiotiques plus précisément la cytomixie et les facteurs environnementaux (température, composition du sol, sécheresse, etc.) (Soodan et Waffai; 1987; Pagliarini, 2000; Bellucci *et al.*, 2003; Guan *et al.*, 2012; Reis *et al.*, 2015).

III.4.4. La taille des grains de pollen

La différence de la taille des grains du pollen entre les populations et les espèces étudiées observées dans nos résultats ne peut pas être due aux anomalies méiotiques car nous avons mesuré la taille des grains de pollen normaux supposés de ne pas avoir subi d'anomalies.

D'après Lee (1978), les gros grains de pollen peuvent être associés à un épaissement accru de la paroi externe, probablement pour maintenir leur intégrité structurelle. Muller (1979) a mentionné que la taille des grains de pollen et le nombre d'ouvertures où toute augmentation de taille est susceptible d'être limitée par la flexibilité de l'exine et le besoin d'absorption d'eau pour germer.

Selon Lamborn (2002), une partie de la variation de la taille du pollen est attribuable à des facteurs environnementaux spécifiques, comme la nutrition du sol, les conditions climatiques et le stress causé par l'herbivorie ou la compétition pour la lumière et l'espace.

D'autres hypothèses peuvent être émises pour expliquer cette variabilité de la taille des grains de pollen:

Le nombre chromosomique compté en méiose est le même chez les populations et les espèces étudiées donc on suppose que la taille variable des grains de pollen pourrait être dû à la différence dans la quantité de la chromatine et/ou du cytoplasme et des organites cellulaires.

On suppose que les différences inter-populations et interspécifiques sont le fruit de la microévolution en cours résultant du jeu des mutations et de la sélection naturelle.

Conclusion

Conclusion

Le présent travail consiste en une étude cytogénétique de quatre espèces: *Silene vulgaris* (Moench) Garcke (*S. cucubalus* Wibel), *S. patula* Desf., *S. aristidis* Pomel et *S. gallica* L.

Les mitoses racinaires ont permis de compter, dans la plupart des cas, un nombre chromosomique diploïde à $2n = 2x = 24$ pour toutes les espèces. En plus des diploïdes à $2n = 24$ des populations d'Akfadou et de Beni Djellil de *S. vulgaris*, la population de l'Université de Bouira de ce dernier a montré un nombre chromosomique de plus de 40, correspondant probablement au tétraploïde à $2n = 4x = 48$, déjà connu pour cette espèce. Aussi, en plus des diploïdes à $2n = 24$ des populations d'Alma et Tazrout, des méioses à $n = 6$ ($2n = 12$), jamais signalé, ont été observées pour la population de Tazrout (A confirmer sur des mitoses). Les principales anomalies méiotiques observées sont la cytomixie, les chromosomes retardataires, les chromosomes agglutinés, les micronoyaux et des télophases et tétrades anormales.

Les résultats obtenus ont révélé une variabilité des taux de fertilité entre les fleurs axiales et les latérales. Les fleurs latérales peuvent être totalement stériles à très peu fertiles (taux de fertilité allant de 0 à 0,71%). Les taux de fertilité des fleurs axiales vont de 0 à 96,39%. Les populations des espèces étudiées peuvent être réparties en trois catégories. Celles qui présentent un taux élevé: la population d'Ifri N' Ziri de *S. aristidis* (96,39%), la population d'Ivaoualen de *S. gallica* (93,20%) et la population de Tazrout de *S. patula* (82,45%); celles à un taux de fertilité faible: population de Beni Djellil de *S. vulgaris* (40, 94%) et la population des Gorges d'Ammal de *S. aristidis* (36%). Le reste des populations a un taux très faible (27,45% ; 25,39% ; 20, 08%) respectivement chez *S. patula* population d'Ivaoualen, *S. vulgaris* population de Tazrout et population d'Akfadou de la même espèce. La population d'Alma de *S. patula* est complètement stérile.

La comparaison des tailles des grains de pollen a révélé une variabilité à la fois inter-populationnelle et interspécifique de celles-ci. Les plus petits grains de pollen sont ceux de *S. Patula* ($\emptyset = 36-38 \mu\text{m}$), suivi de *S. aristidis* ($\emptyset = 41-43 \mu\text{m}$), puis de *S. vulgaris* et *S. gallica* ($\emptyset = 46-48 \mu\text{m}$).

En perspectives, une étude plus large et approfondie sur ces populations et d'autres est nécessaire a fin de mettre en évidence l'impact de l'environnement sur la méiose et l'induction des anomalies et pour confirmer nos résultats sur la fertilité pollinique et la taille de pollen et chercher les causes de cette variabilité.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- **Bahl J. R. and Tyagi B. R.**, 1988. Cytomixis in pollen mother cells of *Papaver dubium* L. *Cytologia*53: 771–775.
- **Baptista-Giacomelli F. R., Pagliarini M. S. and Almeida J. L. de**, 2000. Meiotic behavior in several Brazilian oat cultivars (*Avena sativa* L.). *Cytologia* 65(4): 371–378.
- **Bari E.A.**, 1973. Cytological studies in the genus *Silene* L. *New phytol.* 72: 833-838.
- **Basavaiah A. & Murthy T. C. S.**, 1987. Cytomixis in pollen mother cells of *Urochloa panicoides* P. Beauv. (Poaceae). *Cytologia* 52: 69-74.
- **Beadle G.W.**, 1932. A gene in *Zea mays* for failure of cytokinesis during meiosis. *Cytologia* 3:142 p.
- **Belarbi-Amar N.**, 2019/2020. Cours de Cytologie des étudiants de 1ère année de Médecine. *Université Oran 1 Ahmed Benbella , Faculté de Médecine, Département de Médecine.*
- **Bellucci M., Roscini C., Mariani A.**, 2003. Cytomixis in pollen mother cells of *Medicago sativa* L. *Journal of Heredity* 94: 512–516.
- **Blackburn K.**, 1928. Chromosome numbers in *Silene* and the neighbouring genera. *Z. induct. Abstamm. Vererblehre, Suppl.*439.
- **Blackburn K. B. & Morton J. K.**, 1957. The incidence of polyploidy in the Caryophyllaceae of Britain and Portugal. *New phytologist* 56 (3): 344-351.
- **Boukhzar S. & Bouhedda L.**, 2018. Analyse cytogénétique de quelques espèces du genre *Silene* L. (Caryophyllacées) dans le Nord-est algérien. *Master en Génétique Fondamentale et Appliquée, FSNV, Université de Bejaia, Algérie.* 42p.
- **Caetano-Pereira C. M., Pagliarini M. S., Brasil E.M., Martins E. N.**, 1995. Influence of aluminium in causing chromosome stickiness in maize microsporocytes. *Maydica* 40:325–30.
- **Caetano-Pereira C. M. & Pagliarini, M. S.**, 1997. Cytomixis in maize microsporocytes. *Cytologia* 62 (4): 351–355.
- **Cromer L.** (2013). Etude de deux régulateurs de l'APC/C et de leurs rôles dans le contrôle du cycle cellulaire et de la cohésion lors de la méiose chez *Arabidopsis thaliana*. *Thèse pour obtenir le grade de docteur en Sciences. Université Paris- Sud XI : Ecole doctorale science du végétal.*
- **Damboldt J. and Phitos D.**, 1968. Ein Beitrag zur Cytotoxonomie der Gattung *Silene* L. *Griechenland. Oesterr. Bot. Zeits.* 113: 169-175.
- **El-Ghamery Abbas A., Morsy M. M. & Abu-Shahba M. S.**, 2016. Chromosome count and karyotype study on the endemic species *Silene schimperiana* Boiss. (Caryophyllaceae), Sinai, Egypt. *Taekholmia* 36: 102-114.
- **Farmer J.B. & Moore J. E. S.**, 1905. On the meiotic phase (reduction divisions) in animals and plants. *Quart. J. Microscop. Sci.* 48:489–557.

- **Favarger C.**, 1946. Recherches caryologiques sur la sous-famille des Silénoïdes. *Ber. Schweiz. Bot. Ges.* 56: 365.
- **Gates R. R.**, 1911. Pollen formation in *Oenothera gigas* colchicine and EMS seed. *Ann. Bot.* 25: 909-940.
- **Gaulden M. E.**, 1987. Hypothesis: some mutagens directly alter specific chromosomal proteins (DNA topoisomerase II and peripheral proteins) to produce chromosome stickiness, which causes chromosome aberrations. *Mutagenesis* 2 (5): 357-365.
- **Ghazanfar S. A.**, 1983. Cytological studies in the genus *Silene* L. *New Phytologist* 93(1): 123–127. doi:10.1111/j.1469-8137.1983.tb02697.
- **Gholipour A. & Sheidai M.**, 2010. Karyotype analysis and new chromosome number reports in *Silene* species (sect. *Auriculatae*, Caryophyllaceae). *Biologia* 65 (1): 23-27. doi:10.2478/s11756-009-0215-3
- **Greuter W.**, 1995. *Silene* (Caryophyllaceae) in Greece: A subgeneric and sectional classification. *Taxon* 44 (4): 543-581.
- **Guan J.-Z., Wang J.-J., Cheng Z.-H, Liu Y. & Li Z.-Y.**, 2012. Cytomixis and meiotic abnormalities during microsporogenesis are responsible for male sterility and chromosome variations in *Houttuynia cordata*. *Genet. Mol. Res.* 11 (1): 121-130.
- **Harbaugh D. T., Nepokroeff M., Rabeler R. K., McNeill J., Zimmer E. A. & Wagner W. L.**, 2010. A new lineage-based tribal classification of the family Caryophyllaceae. *International Journal of Plant Sciences* 171(2): 185–198.
- **Heaslip M. B.**, 1951. Some cytoecological aspects in the evolution of certain species of the plant genus *Silene*. *The Ohio Journal of Science* 51(2): 62-70.
- **Horlow C. & Doutriaux M. P.**, 2003. Les mécanismes moléculaires de la méiose chez les plantes. *Médecine/Sciences* 19 (6-7): 717-723.
- **Hoseini E., Ghahremaninejad F., Assadi M., Edalatiyan M.**, 2017. Seed micromorphology and its implication in subgeneric classification of *Silene* (Caryophyllaceae, Sileneae). *Flora* 228:31-38.
- **Jafari F., Zarre S., Gholipour A., Eggens F., Rabeler R. K., & Oxelman B.**, 2020. A new taxonomic backbone for the infrageneric classification of the species-rich genus *Silene* (Caryophyllaceae). *Taxon* 69 (2): 337-368.
- **Jahier J.** (1992). Techniques de cytogénétique végétale : *INRA, Paris*. 183p.
- **Janicke M. A., Lasko L., Oldenbourg R., & LaFountain, J. R.**, 2007. Chromosome Malorientations after Meiosis II Arrest Cause Nondisjunction. *Molecular Biology of the Cell*, 18 (5): 1645–1656.
- **Jeanmonod, D.**, 1984. Revision de la section Siphonomorpha Otth du genre *Silene* L. (Caryophyllaceae) en Méditerranée occidentale. III: aggrégat italica et espèces affines. *Candollea* 39: 549–639.

- **Jeanmonod D.**, 1985. Révision de la section Siphonomorpha Otth du genre *Silene* L. (Caryophyllaceae) en Méditerranée occidentale V: Synthèse. *Candollea* 40:35-55.
- **Julve Ph.**, 2020 ff. – Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. Version: 27 avril 2020. <https://www.tela-botanica.org/projets/phytosociologie>.
- **Julve Ph.**, 2021 ff. - Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. Version: 27 avril 2021. <https://www.tela-botanica.org/projets/phytosociologie>
- **Kaur D. & Singhal V. K.**, 2019. Meiotic abnormalities affect genetic constitution and pollen viability in dicots from Indian cold deserts. *BMC Plant Biology* 19 (10). <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1596-7>
- **Khazanehdari K.A. & Jones G.H.**, 1997. The causes and consequences of meiotic irregularity in the leek (*Allium ampeloprasum* spp. *porrum*); implications for fertility, quality and uniformity. *Euphytica* 93: 313-319.
- **Krivenko D. A., Violetta Kotseruba V., Kazanovsky S. G., Verkhozina A. V., Stepanov A. V.**, 2011: *Obernabehen*. In: IAPT/IOPB chromosome data 11, K. Marhold & I. Breitwieser (Ed.), *Taxon* 60 (4): 12-22.
- **Kruckeberg A. R.**, 1955. Interspecific hybridizations of *Silene*. *American Journal of Botany* 42(4): 373-278.
- **Kumar P., Rana P.K., Himshikha et al.**, 2014. Cytogeography and phenomenon of cytomixis in *Silene vulgaris* from cold regions of Northwest Himalayas (India). *Plant Syst E vol* 300: 831–842. <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0922-7>.
- **Lamborn E.**, 2002. The evolution of pollen grain size variation in *Mimulus* (Scrophulariaceae). *Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Biological sciences, University of Exeter*. <https://www.researchgate.net/publication/257526301>.
- **Larsen K.**, 1960. Cytological and experimental studies on the flowering plants of the Canary Islands. Edité par København: Ejnar Munksgaard.
- **Lee S.**, 1978. A factor analysis study of the functional significance of Angiosperm pollen. *Systematic Botany* 3(1): 1-19.
- **Leurquin J.**, 2012. Etude des Caryophyllacées de Belgique et des régions voisines. *Lotissement Coputienne* 10 - 6920 Wellin. 168p.
- **Löve D.**, 1942. Some contribution to the cytology of silenoideae. *Svensk bot. Tidskr.* 36: 262.
- **Luzhna L., Kathiria P. & Kovalchuk O.**, 2013. Micronuclei genotoxicity assessment: from genetics to epigenetics and beyond. *Frontiers in Genetics* 4: 131. doi: 10.3389/fgene.2013.00131. eCollection 2013.
- **Mahdjoub M. M., Zemouri T, Benmouhoub H, Sahnoune M.** (2018). Morphological, karyological and biogeographical study of the Algerian endemic species *Salvia jaminiana* de Noé (Lamiaceae), with taxonomic and evolutionary interpretations. Bejaia, Algeria. *Flora* 242: 102–119.
- **Maire R.**, 1963. Flore de l'Afrique du nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Tripolitaine, Cyrénaïque et Sahara). Volume 10, Ed. Paul Lechevalier., Paris, 229 p.

- **Mersel F. & Ouacene K.**, 2020. Nombres chromosomiques chez quatre espèces du genre *Silene* L. (Caryophyllacées). *Master en Génétique Fondamentale et Appliquée, FSNV, Université de Bejaia, Algérie*. 30p.
- **Mertens T. R. & Hamnersmith R. L.**, 1998. Genetic laboratory investigations. Eleventh edition. *Prentice hall Inc; Upper Saddle River, New Jersey*, 275 p.
- **Mesbah M., Bekdouche F., Laidi K., Véla E. and Sahnoune M.**, 2021. Enjeux de conservation des endémiques chasmophytes de basse altitude en Méditerranée : cas du genre *Silene* section *Siphonomorpha* (Caryophyllaceae) en Algérie. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège* 90:101 – 124.
- **Miège J. & Greuter W.**, 1973. Nombres chromosomiques de quelques plantes récoltées en Crète. *Ann. Mus. Goulandris* 1: 105-111.
- **Muller J.**, 1979. Form and function in Angiosperm pollen. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 66 (4):593-632.
- **Naciri Y., Cavat F., and Jeanmonod D.**, 2010. *Silene patula* (Siphonomorpha, Caryophyllaceae) in North Africa: A test of colonisation routes using chloroplast markers. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 54 (3): 922–932.
- **Nirmala C. & Kaul M. L. H.**, 1994. Male sterility in pea. VI. Gene action duplicity. *Cytologia* 59: 195-201.
- **Quézel P. & Santa S.**, 1962, 1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. *Paris: CNRS*. 2 Volume. 1170 p.
- **Pagliarini M. S.**, 2000. Meiotic behavior of economically important plant species: the relationship between fertility and male sterility. *Genetics and Molecular Biology* 23 (4): 997–1002.
- **Pagliarini M. S., Martinez M., & Silva I.**, 1992. Some observations on the cytology in *Ochna* sp. (Ochnaceae). *Cytologia* 57(2): 237–240.
- **Papihin R.V. & Yandovka L.F.**, 2014. Cytomixis during microsporogenesis in *Cerasus fruticosa* Pall. *Biomedical & Pharmacology Journal* 7(2): 473-479.
- **Peruzzi L. & Carta A.**, 2013. A taxonomic revision of *Silene nocturna* species complex (Caryophyllaceae) in Italy. *Phytotaxa* 88 (3):38-48. doi:10.11646/phytotaxa.88.3.1.
- **Pessim C., Pagliarini M.S., Silva N. & Jank L.**, 2015. Chromosome stickiness impairs meiosis and influences reproductive success in *Panicum maximum* (Poacea) hybrid plants. *Genet. Mol. Res.* 14 (2): 4195-4202.
- **Rabeler R. K. & Hartman R. L.**, 2005 Caryophyllaceae. In *Flora of North America* Editorial Committee, eds. *Flora of North America North of Mexico. Vol 5, Pages 3–8. Oxford University Press, New York*.
- **Rahou A. & Amssa M.**, 2003. Essai d'une synthèse d'affinité des espèces du genre *Silene* L. au Maroc. *Bulletin de l'Institut Scientifique* (25): 43-51
- **Reis A. C., Sousa S. M. & Viccini L. F.**, 2016. High frequency of cytomixis observed at zygotene in tetraploid *Lippia alba*. *Plant Syst. E* vol 302: 121-127.

- **Schnack B. &Fehleisen S.**, 1957. Cytomixis in *Bouchea fluminensis* (Velloso) Moldenke. (Verbenaceae). *Darwiniana* 11: 244-255.
- **Sheidai M., Bahmani F., Enayatkhani M., &Gholipour A.**, 2009. Contribution to cytotaxonomy of *Silene*: chromosome pairing and unreduced pollen grain formation in sect. Sclerocalycinae. *Acta Biologica Szegediensis* 53(2): 87-92.
- **Sheidai M., Koohdar F., Tabaripoor R., Karapetian J., Gholipoor A., and Noormohammadi Z.**, 2011. Cytology in *Silene*: From population diversity to section classification. *Acta Biologica Szegediensis* 55 (1): 27-39
- **Sheidai M., Nikoo M. &Gholipour A.**, 2008. Cytogenetic variability and new chromosome number reports in *Silene* L. species (Sect. Lasiostemones, Caryophyllaceae). *Acta Biologica Szegediensis* 52 (2): 313-319.
- **Singhal V. K. &Kuamr P.**, 2008. Impact of cytomixis on meiosis, pollen viability and pollen size in wild populations of Himalayan poppy (*Meconopsis aculeata* Royle); *J. Biosci* 33 (3): 371–380.
- **Soodan A. S. &Wafai B. A.**, 1987. Spontaneous occurrence of cytomixis during microsporogenesis in Almond (*Prunus amygdalus* Batsch) and Peach (*P. persica* Batsch). *Cytologia* 52: 361-364.
- **Talavera S. & Bocquet G.**, 1976. Notas sobre el genero *silene* L. en Espana. II. Numeros cromosomicos de lase species espanolas (excepto sect. scorpioideae (Rohrb.) Chowdhuri YS. *Vulgaris* (Moench) Gark). *Lagascalia* 6 (1): 101-116.
- **Terret E. M. and Wassmann K.**, 2008. Le point faible méiotique : la première division. *Médecine/sciences* 24(2): 197–204.
- **Turill W. B.**, 1956. Flora of Tropical East Africa: Caryophyllaceae. *Royal Botanic Gardens, Kew*. 38 p.
- **Yildiz K., Minareci E. and Çirpici A.**, 2009. Karyological studies in some species of the genus *Silene* (Caryophyllaceae). *Cytologia* 74 (3): 245–252.
- **Zhang W.C., Yan W.M. & Lou C. H.**, 1985, Mechanism of intercellular movement of protoplasm in wheat nucellus. *Sci. China* 28: 1175-1183.
- www.afl-lichenologie.fr/Afl/Chimie_fichiers/Pd_chimiq_02d.htm.
- www.bio-top.net/Microbio/Colorants.htm#colorants.

Annexes

Annexes

Annexe 1: Taux de fertilité de 5 fleurs axiales de la population d'Ivaoualen de *S. gallica*.

Espèce	<i>Silene gallica</i>				
Population	Ivaoualen				
Fleur	Fleur 1	Fleur 2	Fleur 3	Fleur 4	Fleur 5
		93%	85%	97%	98%
Moyenne	93.2%				

Annexe 2: Taux de fertilité des populations de Gorges d'Amal et d'Ifri N Ziri de *S. aristidis*.

Espèce	<i>Silene aristidis</i>										
Population	Gorges d'Amal							Ifri N Ziri			
Fleur	/							Fleurs axiales		Fleurs latérales	
	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	F 1	F 2	F1 A	F1 B
		53%	53%	15.14%	15.92%	0%	54.88%	57.52%	96.32%	96.47%	0.13%
Moyenne	35.63%							96.39%		0.13%	

Annexe 3: Taux de fertilité de la population des fleurs axiales et latérales de Tazrout de *S. patula*.

Espèce	<i>Silene patula</i>															
Population	Tazrout															
Fleur	Fleurs axiales					Fleurs latérales										
	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 1 A	F 1 B	F 2 A	F 2 B	F 3 A	F 3 B	F 4 A	F 4 B	F 5 A	F 5 B	
		94.2%	62.24%	70%	93%	92.84%	0%	0%	0.4%	0.7%	0%	0%	0.1%	0%	0.7%	1.8%
Moyenne	82.45%					0.37%										

Annexe 4: Taux de fertilité des fleurs axiales et latérales de *S. patula* chez la population d'Ivaoualen.

Espèce	<i>Silene patula</i>															
Population	Ivaoualen															
Fleur	Fleurs axiales						Fleurs latérales									
	1	2	3	4	5	6	1 A	1 B	2 A	2 B	3 A	3 B	4 A	4 B	5 A	5 B
		7.32%	69.2%	6.43%	64.3%	13.9%	5.68%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.7%	0.4%	1.56%
Moyenne	27.80%						0.29%									

Annexe 5: Taux de fertilité des fleurs axiales et latérales chez la population d'Alma de *S. patula*.

Espèce	<i>Silene patula</i>							
Population	Alma							
Fleur	Fleurs axiales						Fleurs latérales	
	Fleur 1	Fleur 2	Fleur 3	Fleur 4	Fleur 5	Fleur 6	F 1 A	F 2 A
		0%	0%	0%	0%	0.12%	0.14%	0%
Moyenne	0.04%						0%	

Annexe 6: Taux de fertilité pollinique des fleurs axiales et latérales de la population de Tazrout de *S. vulgaris*.

Espèce	<i>Silene vulgaris</i>										
Population	Tazrout										
Fleur	Fleurs axiales					Fleurs latérales					
	Fleur 1	Fleur 2	Fleur 3	Fleur 4	Fleur 5	F 1 A	F 1 B	F 2 A	F 3 A	F 3 B	
		20.53%	9.44%	17.35%	79.5%	0.14%	0.52%	0.1%	0%	0.23%	0%
Moyenne	25.39%					0.17%					

Annexe 7: Taux de fertilité des fleurs axiales et latérales chez la population de Beni Djellil de *S. vulgaris*.

Espèce	<i>Silene vulgaris</i>													
Population	Beni Djellil													
Fleur	Fleurs axiales							Fleurs latérales						
	1	2	3	4	5	6	7	1 A	1 B	2 A	2 B	3 A	5 A	7 A
	78.04 %	72 %	71 %	0.85 %	0.28 %	63.38 %	1.08 %	0.56 %	0.14 %	0 %	0 %	0.13 %	1.40 %	0 %
Moyenne	40.94%							0.31%						

Annexe 8: Taux de fertilité pollinique de la population d'Akfadou de *S. vulgaris*.

Espèce	<i>Silene vulgaris</i>				
Population	Akfadou				
Fleur	Fleurs axiales				Fleur latérale
	Fleur 1	Fleur 2	Fleur 3	Fleur 4	Fleur 1 A
	78.92%	1.13%	0.14%	0.14%	0.71%
Moyenne	20.08%				0.71%

Annexe 9: Taille des grains de pollen chez les populations d'Akfadou, Tazrout et Beni Djellil de *S. vulgaris*.

Espèce	<i>Silene vulgaris</i>					
Population	Akfadou		Tazrout		Beni Djellil	
	Largeur	Longueur	Largeur	Longueur	Largeur	Longueur
1	49,57	51,09	43,049999	43,049999	41,740002	41,740002
2	49,349998	51,52	43,91	43,48	45,650002	42,830002
3	48,049999	50,220001	43,919998	43,049999	37,389999	41,75
4	43,48	44,349998	42,610001	45,869999	40,869999	40,439999
5	52,389999	48,48	42,18	45,220001	40,43	41,740002
6	46,09	43,48	43,91	46,09	43,91	41,75
7	45,43	46,740002	48,91	48,91	46,740002	47,389999
8	48,91	48,040001	38,919998	39,57	41,299999	39,130001
9	49,779999	54,130001	44,57	44,349998	40	41,310001
10	47,169998	48,049999	47,18	45	47,389999	51,52
11	49,349998	47,830002	47,389999	44,779999	40,869999	41,299999
12	49,779999	50,220001	42,18	48,259998	53,259998	52,389999
13	50,220001	51,959999	46,959999	39,130001	42,630001	44,790001
14	54,130001	50,650002	39,130001	42,619999	42,189999	40,880001
15	48,049999	45,220001	41,310001	47,389999	45	45,009998
16	46,740002	43,48	48,049999	49,349998	50,220001	46,52
17	52,830002	51,299999	49,779999	48,91	51,52	50,220001
18	46,310001	48,27	46,310001	46,740002	40,439999	41,310001
19	47,610001	50,220001	46,09	47,41	49,130001	49,779999
20	49,349998	50,880001	47,389999	50	48,040001	49,130001
21	51,09	52,830002	47,830002	50,220001	49,349998	46,310001
22	48,48	46,959999	48,490002	49,779999	51,959999	45,450001
23	48,049999	50,869999	49,360001	43,040001	48,700001	48,91
24	50,650002	49,790001	45,23	44,790001	45,650002	46,09
25	52,389999	56,09	43,049999	50,220001	46,52	46,740002
26	45,869999	48,48	45,439999	44,130001	46,310001	47,84
27	46,529999	51,09	42,610001	46,09	45,869999	46,959999
28	49,349998	50	43,919998	50,220001	43,919998	42,610001
29	43,259998	47,619999	49,349998	43,5	43,049999	48,48
30	49,779999	48,700001	43,91	45,439999	43,919998	48,48
31	48,48	47,18	45,23	50,439999	44,349998	45,220001
32	46,959999	48,48	48,049999	49,130001	48,049999	46,09
33	49,150002	48,709999	48,48	44,349998	45,869999	43,630001

34	49,360001	49,779999	49,130001	43,48	47,400002	46,32
35	49,779999	51,52	43,700001	46,310001	42,23	40,869999
36	49,790001	50,700001	49,360001	42,610001	45,650002	43,48
37	44,349998	46,77	43,48	47,18	41,299999	43,48
38	48,700001	51,970001	45,23	43,919998	42,169998	41,52
39	50,650002	47,18	41,75	46,52	40,869999	37,830002
40	49,130001	49,57	45,869999	44,57	41,740002	40
41	45,43	53,700001	43,700001	44,349998	43,48	39,779999
42	49,57	48,490002	44,349998	49,779999	45,650002	44,360001
43	45,869999	48,91	51,52	45,650002	44,349998	43,97
44	50,220001	45,869999	44,450001	46,740002	46,52	48,919998
45	46,34	47,18	42,189999	48,48	46,299999	44,349998
46	51,959999	51,52	49,360001	43,91	45,220001	44,779999
47	51,959999	53,700001	46,09	51,990002	47,630001	48,060001
48	51,52	50,220001	47,169998	46,52	47,610001	46,299999
49	51,09	49,790001	44,349998	47,400002	51,09	48,709999
50	46,52	47,610001	43,919998	47,830002	50	46,09
51	47,830002	46,09	42,209999	45,43	48,049999	50,450001
52	48,259998	51,09			48,049999	46,52
53	49,349998	49,349998			44,790001	47,630001
54	47,389999	46,099998				
55	50,220001	45,220001				
Moyenne	48,73	49,19	45,39	46,14	45,33	45.026
Ecart type	2,33	2,66	2,86	2,82	3,49	3.453

Annexe 10: Taille des grains de pollen chez la population des grains de pollen chez les populations d'Ivaoualen et Tazrouts de *S. patula*.

Espèce population	<i>silene patula</i>			
	Ivaoualen		Tazrout	
	Largeur	Longueur	Largeur	Longueur
1	36,349998	36,799999	40,220001	39,139999
2	34,57	36,52	41,540001	38,279999
3	36,759998	35,939999	37,919998	38,279999
4	36,32	35,439999	38,279999	36,959999
5	35,02	35,009998	40,459999	40,259998
6	34,580002	31,549999	39,790001	39,18
7	35	31,530001	40,459999	37,900002
8	34,169998	34,580002	39,799999	38,5
9	32,830002	34,580002	41,599998	36,540001
10	33,700001	30,65	40,43	37,610001
11	35,880001	34,610001	39,650002	38,919998
12	37,389999	35,869999	40,299999	38,91
13	37,450001	36,349998	41,110001	38,919998
14	34,599998	32,389999	40,240002	37,630001
15	34,349998	31,969999	41,759998	40,889999
16	35,880001	34,130001	41,110001	41,529999
17	35,68	35,869999	39,139999	36,57
18	35,459999	33,700001	39,779999	38,48
19	37,41	35,689999	40,259998	39,139999
20	37,66	35,459999	39,150002	39,599998
21	38,259998	36,299999	42,169998	37,880001
22	34,400002	32,389999	39,580002	37,900002
23	33,77	33,939999	39,57	37,630001
24	35,75	35,240002	39,18	39,82
25	36,98	37,830002	41,529999	40,43
26	35,709999	35,240002	40,869999	39,130001
27	34,610001	35,220001	42,169998	40,240002

28	37,830002	35,919998	39,799999	40,240002
29	36,52	36,540001	42,189999	38,91
30	35,889999	35,220001	40,869999	40,220001
31	35,880001	34,59	40,240002	40,240002
32	35,889999	33,32	40,220001	40,259998
33	35,880001	34,57	36,98	36,330002
34	34,57	33,939999	40,439999	39,59
35	32,700001	30,68	38,52	37,880001
36	35,869999	35,240002	38,279999	38,310001
37	38,919998	35,869999	40,889999	39,610001
38	36,529999	35,220001	37,610001	40,439999
39	35,68	35,27	42,25	40,52
40	37,169998	34,59	40,869999	39,869999
41	35,220001	32,830002	40,43	38,27
42	37,18	35,869999	41,09	39,82
43	34,720001	37,610001	39,82	38,91
44	33,32	34,009998	42,389999	38,91
45	37,880001	34,009998	41,09	42,240002
46	33,919998	35,869999	39,799999	39,130001
47	33,93	35,240002	43,5	42,389999
48	37,23	33,290001	41,57	39,57
49	32,610001	33,259998	41,09	41,52
50	35,220001	33,259998	45,450001	43,040001
51	35,869999	38,48		
52	36,52	35,889999		
53	38,279999	36,52		
54	35,869999	35,220001		
55	31,959999	31,370001		
56	34,57	33,290001		
57	35,220001	33,32		
58	35,220001	33,929998		
Moyenne	35,596	34,638	40,469	39,249
Ecart types	1,534	1,723	1,493	1,479

Annexe 11: Taille des grains de pollen chez la population d'Ifri N Ziri et Gorges d'Ammal de *S. aristidis*.

Espèce population	<i>Silene aristidis</i>			
	Ifri N Ziri		Gorge d'Ammal	
	Largeur	Longueur	Largeur	Longueur
1	46,740002	45,450001	35,869999	35,68
2	45,450001	44,779999	38,919998	36,310001
3	49,360001	51,369999	37,610001	37,610001
4	46,110001	46,740002	36,560001	39,200001
5	40,220001	41,560001	41,52	40,889999
6	42,169998	43,48	36,529999	36,299999
7	44,799999	42,400002	38,549999	38,279999
8	44,790001	44,130001	35,27	37,169998
9	50	46,110001	37,169998	33,290001
10	49,130001	48,790001	35,689999	32,610001
11	48,099998	49,169998	42,439999	37,18
12	48,049999	46,77	35,220001	35,869999
13	44,790001	43,48	31,959999	34,349998
14	46,740002	45,43	36,02	37,610001
15	44,139999	43,48	34,009998	35,869999
16	46,740002	41,779999	37,18	35,220001
17	47,400002	48,48	35	34,57
18	43,48	43,040001	38,919998	35,959999

19	44,779999	41,57	37,630001	38,959999
20	49,799999	48,099998	37,27	35,220001
21	42,220001	42,18	37,18	35,880001
22	44,779999	42,169998	39,790001	36,540001
23	48,040001	46,09	38,259998	36,98
24	47,41	45,43	38,48	37,849998
25	47,18	44,139999	40,25	36,299999
26	46,09	44,139999	37,880001	34,369999
27	49,790001	47,389999	42,189999	41,740002
28	40,869999	41,09	37,830002	39,139999
29	46,779999	46,529999	37,630001	39,139999
30	51,490002	50,669998	37,200001	37,630001
31	49,150002	48,040001	36,610001	35,240002
32	42,860001	44,830002	37,18	35,240002
33	49,349998	46,130001	39,150002	39,59
34	47,18	47,84	37,18	36,52
35	47,41	42,169998	37,610001	37,169998
36	47,389999	45,240002	37,630001	37,200001
37	42,220001	39,57	35,880001	37,73
38	44,830002	42,169998	37,830002	36,540001
39	49,130001	49,799999	40,91	37,830002
40	46,09	42,279999	36,299999	37,830002
41	46,740002	44,779999	40,259998	42,18
42	46,740002	42,849998	39,779999	38,91
43	46,560001	44,150002	40,919998	39,599998
44	42,830002	42,18	39,59	40,459999
45	44,779999	41,779999	37,169998	35
46	51,759998	48,049999	39,139999	37,84
47	48,110001	48,110001	37,849998	36,610001
48	48,700001	48,52	39,779999	37,169998
49	48,77	48,48	39,57	37,610001
50	51,119999	49,130001	40,869999	37,009998
51	45,439999	44,799999	41,740002	39,139999
52	48,700001	42,830002	39,830002	35,880001
53	46,779999	42,889999		
54	45,869999	41,529999		
55	43,48	46,740002		
Moyenne	46,535	45,105	38,054	37,154
Ecart type	2,634	2,824	2,131	1,984

Annexe 12 : Taille des grains de pollen chez la population d'Ivaoualen de *S. gallica*.

Espèce	<i>Silenegallica</i>	
Population	Ivaoualen	
	Largeur	Longueur
1	53,049999	53,049999
2	50	49,799999
3	50,490002	51,119999
4	47,830002	48,099998
5	49,790001	47,389999
6	49,41	47,830002
7	51,759998	47,209999
8	51,959999	51,779999
9	49,41	47,830002
10	48,709999	49,130001
11	53,950001	49,790001
12	55,669998	55,029999
13	51,099998	51,759998

14	49,779999	49,130001
15	46,09	47,189999
16	45,450001	43,040001
17	48,700001	46,779999
18	42,84	43,040001
19	44,139999	44,860001
20	46,740002	44,779999
21	44,139999	43,060001
22	46,09	44,169998
23	47,400002	46,740002
24	46,09	48,700001
25	46,52	44,25
26	46,740002	44,799999
27	47,169998	46,740002
28	46,09	45,43
29	47,389999	47,400002
30	48,060001	47,18
31	50,040001	50,43
32	49,349998	47,41
33	49,130001	47,389999
34	49,419998	49,849998
35	47,169998	47,43
36	47,41	46,529999
37	44,799999	41,540001
38	46,759998	47,209999
39	46,740002	45,450001
41	48,48	45,450001
42	50,650002	48,709999
43	45,439999	44,150002
44	45,48	46,200001
45	46,130001	47,830002
46	45,48	43,48
47	48,700001	45,869999
48	45,439999	43,48
49	46,75	46,759998
50	46,779999	44,779999
51	48,48	46,099998
52	48,080002	47,84
53	48,700001	45,5
Moyenne	48,037	47,084
Ecart type	2,541	2,715

Annexe 13 : La comparaison des moyennes de largeur des grains de pollen entre les populations de *S. vulgaris*. G= 1 Akfadou, G= 2 Tazrout, G= 3 Beni Djellil. (Test Unequal N HSD p= 0.05).

Unequal N HSD; variable Larg (Vulgaris) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 8,5670, df = 156,00

	G	Larg - Mean	1	2
3	3	45,32717	****	
2	2	45,34373	****	
1	1	48,72582		****

Annexe 14: Comparaison entre les moyennes des longueurs des grains de pollen chez les populations de *S. vulgaris*. G= 1, Akfadou, G= 2, Tazrout, G= 3 Beni Djellil (Test Unequal N HSD p= 0.05).

Unequal N HSD; variable Long (Vulgaris) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 8,9746, df = 156,00

	G	Long - Mean	1	2
3	3	45,04075	****	
2	2	46,14118	****	
1	1	49,18655		****

Annexe 15 : Le rapport entre la largeur et la longueur des grains de pollen chez les populations G=1 Akfadou, G= 2 Tazrout, G= 3 Benjellil (Test Unequal N HSD p = 0.05).

Unequal N HSD; variable R (Vulgaris) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00409, df = 156,00

	G	R - Mean	1
2	2	0,986029	****
1	1	0,992265	****
3	3	1,007655	****

Annexe 16: Comparaison des largeurs des grains de pollen entre les populations G1 = Ivaoualen, G2 = Tazrout (Test Unequal N HSD p = 0.05).

Unequal N HSD; variable Larg (Patula) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2,2977, df = 106,00

	G	Larg - Mean	1	2
1	1	35,59672	****	
2	2	40,46920		****

Annexe 17 : Comparaison des longueurs des grains de pollen entre les populations G1 = Ivaoualen, G2 = Tazrout (Test Unequal N HSD p = 0.05).

Unequal N HSD; variable Long (Patula) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 2,6102, df = 106,00

	G	Long - Mean	1	2
1	1	34,63862	****	
2	2	39,24980		****

Annexe 18: Comparaison des moyennes largeurs des grains de pollens entre les populations étudiées de *S. aristidis*. G1 = Ifri n Ziri, G2 = Gorges d' Ammal (Test Unequal N HSD p = 0.05).

Unequal N HSD; variable Larg (Aristidis) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 5,7771, df = 105,00

	G	Larg - Mean	1	2
2	2	38,05404	****	
1	1	46,53509		****

Annexe 19 : Comparaison des moyennes des longueurs des grains de pollen entre les populations de *S. aristidis*. G1 = IfriN Ziri, G2 = Gorges d'Ammal de *S. aristidis* (Test Unequal N HSD $p=0.05$).

Unequal N HSD; variable Long (Aristidis) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 6,0177, df = 105,00

	G	Long - Mean	1	2
2	2	37,15423	****	
1	1	45,10600		****

Annexe 20 : Les rapports entre l'axe équatorial (E) et l'axe polaire (P) des grains de pollen chez les populations de *S.aristidis* (Test Unequal N HSD $p = 0.05$).

Unequal N HSD; variable R (Aristidis) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00241, df = 105,00

	G	R - Mean	1
2	2	1,025402	****
1	1	1,032965	****

Annexe 21: Comparaison les moyennes des largeurs des grains de pollen entre les 4 espèces étudiées. G1= *S. vulgaris*, G2 = *S. patula*, G3 = *S. aristidis*, G4 = *S. gallica* (Test Unequal N HSD $p = 0.05$).

Unequal N HSD; variable Larg (Espèces) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 13,756, df = 392,00

	G	Larg - Mean	1	2	3
2	2	37,85250		****	
3	3	42,41346			****
1	1	46,50811	****		
4	4	48,95909	****		

Annexe 22: Comparaison les moyennes des longueurs des grains de pollen entre les 4 espèces étudiées. G1= *S. vulgaris*, G2 = *S. patula*, G3 = *S. aristidis*, G4 = *S. gallica* (Test Unequal N HSD $p = 0.05$).

Unequal N HSD; variable Long (Espèces) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 13,527, df = 392,00

	G	Long - Mean	1	2	3
2	2	36,77343		****	
3	3	41,24159			****
1	1	46,82780	****		
4	4	47,99409	****		

Etude cytogénétique de *Silene vulgaris*, *S. patula*, *S. gallica*, *S. aristidis* (Caryophyllacées)

Résumé : Une étude cytogénétique a été réalisée sur quatorze populations de quatre espèces du genre *Silene* : *S. patula*, *S. vulgaris*, *S. gallica* et *S. aristidis*. L'étude a inclus l'analyse méiotique et mitotique, les anomalies méiotiques et la fertilité pollinique. Les résultats obtenus ont révélé que la plupart des populations des espèces sont diploïdes avec $2n = 2x = 24$. En plus des diploïdes à $2n = 24$, un tétraploïde à $2n = c. 40$ (probablement 48) a été observé pour *S. vulgaris*, et un $2n = 12$ pour *S. patula*. Les principales anomalies méiotiques observées sont la cytomixie, les micronoyaux, les tétrades anormales, les chromosomes retardataires et les chromosomes agglutinés. Les fleurs latérales des triplets des inflorescences sont très peu fertiles (0-0.71%). Sur les fleurs axiales, les taux de fertilité sont plus élevés, ils vont de 0 à 96,39%. Il y a une variabilité à la fois inter-populationnelle et interspécifique de la taille des grains de pollen. Les plus petits grains de pollen sont ceux de *S. patula* ($\emptyset = 36-38 \mu\text{m}$), suivi de *S. aristidis* ($\emptyset = 41-43 \mu\text{m}$), puis de *S. vulgaris* et *S. gallica* ($\emptyset = 46-48 \mu\text{m}$).

Mots-clés : *Silene*, nombres chromosomiques, anomalies méiotiques, pollen, Algérie

Cytogenetic study of *Silene vulgaris*, *S. patula*, *S. gallica*, *S. aristidis* (Caryophyllaceae)

Abstract: A cytogenetic study was performed on fourteen populations of four species of the genus *Silene*: *S. patula*, *S. vulgaris*, *S. gallica* and *S. aristidis*. The study included meiotic and mitotic analyses, meiotic abnormalities, and pollen fertility. The results obtained revealed that most populations of the four species are diploid with $2n = 2x = 24$. In addition to diploids $2n = 24$, a tetraploid of $2n = c. 40$ (probably 48) was observed for *S. vulgaris*, and a $2n = 12$ for *S. patula*. The main meiotic abnormalities observed are cytomixis, micronuclei, abnormal tetrads, lagging chromosomes and clumped chromosomes. The lateral flowers of the inflorescence triplets are of very low fertility (0-0.71%). On axial flowers, fertility rates are higher, ranging from 0 to 96.39%. There is both inter-population and inter-specific variability in pollen grain size. The smallest pollen grains are those of *S. patula* ($\emptyset = 36-38 \mu\text{m}$), followed by *S. aristidis* ($\emptyset = 41-43 \mu\text{m}$), then by *S. vulgaris* and *S. gallica* ($\emptyset = 46-48 \mu\text{m}$).

Keywords: *Silene*, chromosome numbers, meiotic abnormalities, pollen, Algeria

دراسة وراثية خلوية لـ: *Silene vulgaris* و *S. patula* و *S. gallica* و *S. aristidis* (Caryophyllaceae)

ملخص: أجريت دراسة وراثية خلوية على أربعة عشر عشيرة من أربعة أنواع من جنس *Silene*: *S. patula* و *S. vulgaris* و *S. gallica* و *S. aristidis*. تضمنت الدراسة التحليل الانتصافي والانقسام، والتشوهات الانتصافية، وخصوبة حبوب اللقاح. أوضحت النتائج المتحصل عليها أن معظم تجمعات الأنواع ثنائية الصيغة الصبغية مع $2n = 2x = 24$. بالإضافة إلى ثنائيات الصيغة الصبغية عند $2n = 24$ ، فإن رباعي الصيغة الصبغية عند $2n = c. 40$ (ربما 48) لوحظ في *S. vulgaris*، و $2n = 12$ في *S. patula*. التشوذة الانتصافية الرئيسية الذي لوحظ هو الاختلاط الخلوي، النوى الصغيرة، الرباعي غير الطبيعي، الكروموسومات المثبطة والكروموسومات المتكتلة. الأزهار الجانبية لتوائم الإزهار عقيمة جدا (0-0.71%) على الأزهار المحورية، تكون معدلات الخصوبة أعلى وتتراوح من 0 إلى 96.39%. هناك تباين بين السكان ومتباين في حجم حبوب اللقاح. أصغر حبوب اللقاح هو ذلك من *S. patula* (ميكرومتر $\emptyset = 36-38$)، تليها (ميكرومتر $\emptyset = 41-43$) *S. aristidis*، ثم *S. vulgaris* و *S. gallica* (ميكرومتر $\emptyset = 46-48$).

الكلمات المفتاحية: أعداد الكروموسومات، التشوهات الانتصافية، حبوب اللقاح، الجزائر، *Silene*