

Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

Etude cytogénétique de *Lysimachia monelli*
(L.) U. Manns & Andreb. et *L. arvensis* (L.)
U. Manns & Andreb de la région de
Béjaïa

Présenté par :

Salhi Cylia & Toutaoui Inas

Soutenu le : 13 septembre 2022

Devant le jury composé de :

Mme Rahmani-Berboucha Meriem	MAA, UAM	Présidente
M Sahnoune Mohamed	Pr., UAM	Promoteur
Melle Benmouhoub Hassina	MAA, UAM	Co-promotrice
Mme Benmessaoud-Kartout Yasmine	MCB, UAM	Examinatrice

Année universitaire : 2021 / 2022

Dédicace

Je dédie ce travail à :

A ma chère mère, quoi que je fasse ou je dise ne saurai point te remercier comme il se doit, ton affection me couvre, ta bienveillance et ta présence à mes cotés a toujours été une source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père, tu es toujours à mes cotés pour me soutenir et m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mes très chères frères : Nadjib, Sofiane, Djaafar qui est en France depuis 5 ans, et à mon frère jumeau Houssam qui est en France lui aussi.

A mes belles sœurs : Sylia et Tafath

A mes tantes : Feroudja et Zahira

A mon binome Inas T

A mes grand parents maternelles, puisse dieu vous donner santé, bonheur et courage. Ainsi qu'à la mémoire de mes grands parents paternelles, que dieu les accueille dans son vaste paradis et que leur âmes repose en paix

A ma très chère amie depuis le lycée Asma S et A ma copine Manissa

A mon enseignant de l'école primaire Jamel Saou

A tous ceux et celles qui m'ont offert amitié et soutien de près ou de loin

Cydia

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui mon jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes chères sœurs

Rima & Nassima

Pour leur soutien moral et encouragement tous au long de mes études.

A mes chers ami (e)s

B. Abdennour, B. Soraya, T. Imane, T. Hanane, Z. Rahima

A mon binôme S. Cylia

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A mon cher oncle T. Ouahab

A tous ma famille

Et tous ceux qui m'aiment...

Remerciements

Nous remercions Dieu Tout Puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur M. Sahnoune Mohamed pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant nos préparations de ce mémoire et surtout pour avoir proposé ce sujet et de l'avoir pris en charge.

Nous remercions également notre Co-promotrice M^{lle} Benmouhoub Hassina pour son aide précieuse, ses conseils et ses orientations ainsi que sa disponibilité tout au long de ce travail.

Beaucoup de remerciements à M^{lle} Zemouri Tassadit et M. Zemouri Mourad pour leur soutien, leur disponibilité, leur aide et leurs encouragements, sans oublier les membres du laboratoire d'Ecologie et Environnement de nous avoir ouvert les portes et de nous avoir permis de faire notre stage pratique dans de bonnes conditions.

Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à M_m Olive L. pour sa disponibilité et ses orientations.

Nous remercions particulièrement les membres de jury, Madame Rahmani-Berboucha Meriem (Présidente de Jury, MAA) et Madame Benmessaoud-Kartout Yasmine (Examinatrice, MCB), qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail.

Sommaire

Liste des Tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction	1
I. Synthèse bibliographique	2
I.1. La famille des Primulaceae.....	2
I.2. Description morphologique du genre <i>Lysimachia</i>	2
I.2.1. Distribution et écologie du genre <i>Lysimachia</i>	2
I.2.2. Position systématique du genre <i>Lysimachia</i>	3
I.3. Le genre <i>Anagallis</i> et <i>Lysimachia</i> en Algérie	3
I.4. Nombres chromosomiques du genre <i>Lysimachia</i>	4
I.5. Description morphologique de <i>Lysimachia arvensis</i>	5
I.6. Description morphologique de <i>Lysimachia monelli</i>	6
I.7. Intérêt des deux espèces étudiées	6
I.8. Cytogénétique des espèces étudiées	7
I.9. Cytogénétique végétale	7
I.9.1. La méiose chez les plantes	8
I.9.1.1. La division réductionnelle	8
I.9.1.2. La division équationnelle.....	9
I.9.2. Les anomalies de la méiose	10
II. Matériel et méthodes	13
II. 1. Lieu et durée de stage pratique	13
II. 2. Zone d'échantillonnage	13
II.3. Réalisation des herbiers	14
II. 4. Etude de la méiose	16
II. 4. 1. Préparation des solutions.....	16
II. 4. 1. 1. Le fixateur	16
II. 4. 1. 2. Acide chlorhydrique (HCl 1N).....	16
II. 4. 1. 3. Orcéine lactopropionique	16
II. 4. 2. Étapes de la préparation des observations de la méiose	17

II. 4. 2. 1. Fixation.....	17
II. 4. 2. 2. Hydrolyse.....	17
II. 4. 2. 3. Coloration.....	17
II. 4. 2. 4. Observation.....	17
II. 4. 2. 5. Photographie des plaques	17
II. 5. Etude de la fertilité pollinique et la taille des grains de pollen	18
II. 5. 1. Préparation du colorant (bleu de coton)	18
II. 5. 2. Étapes de la préparation des observations des grains de pollen	18
II. 5. 3. Estimation de taux de fertilité pollinique	18
II. 5. 4. La taille des grains de pollen	19
II. 5. 4. 1. Mesure de la taille des grains de pollen	19
II. 5. 4. 2. Analyse statistique	19
III. Résultats	20
III.1. Dénombrements chromosomiques.....	20
III.1.1. <i>Lysimachia monelli</i>	20
III.1.2. <i>Lysimachia arvensis</i>	20
III.1.3. Résumé des résultats sur les dénombrements chromosomiques	24
III.2. Etude de la méiose	25
III.2.1. Phases de la méiose pollinique.....	25
III.2.2. Anomalies de la méiose	26
III.2.2. 1. Les anomalies observées chez <i>Lysimachia monelli</i>	26
III.2.2. 1. Les anomalies observées chez <i>Lysimachia arvensis</i>	27
III.2.3. Les différentes phases de la mitose des anthères observées chez <i>L. arvensis</i>	31
III.3. Etude de la fertilité pollinique et la taille des grains de pollen.....	31
III.3.1. Analyse de la fertilité pollinique	31
III.3.2. Taille des grains de pollen.....	34
IV. Discussion	38
IV.1. Dénombrements chromosomiques	38
IV.1. 1. <i>Lysimachia monelli</i>	38
IV.1. 2. <i>Lysimachia arvensis</i>	38
IV.2. Anomalies de la méiose pollinique.....	38

IV.3. La fertilité pollinique	40
IV.3.1. <i>Lysimachia monelli</i>	40
IV.3.2. <i>Lysimachia arvensis</i>	40
IV.4. La taille des grains de pollen	41
Conclusion	42
Références bibliographiques.....	44
Résumé	

Liste des Tableaux

Liste des tableaux	Page
Tableau I : Les nombres chromosomiques de quelques espèces du genre <i>Lysimachia</i> .	4
Tableau II : Localisation géographique, types et dates de récolte du matériel végétal.	13
Tableau III : Résultats des dénombrements chromosomiques des 21 populations de <i>Lysimachia arvensis</i> et des 4 populations de <i>L. monelli</i> .	24
Tableau IV : Taux de fertilité pollinique (%) chez l'espèce <i>L. arvensis</i> à grandes fleurs bleues.	32
Tableau V : Taux de fertilité pollinique (%) chez l'espèce <i>L. arvensis</i> fleurs bleues moyennes.	32
Tableau VI : Taux de fertilité pollinique (%) chez l'espèce <i>L. arvensis</i> petites fleurs bleues.	33
Tableau VII : Taux de fertilité pollinique (%) chez l'espèce <i>L. arvensis</i> petites fleurs oranges.	33
Tableau VIII : Taux de fertilité pollinique (%) chez l'espèce <i>L. arvensis</i> petites fleurs blanches.	33
Tableau IX : Taux de fertilité pollinique (%) chez l'espèce <i>L. monelli</i> fleurs bleues.	33
Tableau X : Taux de fertilité pollinique (%) chez l'espèce <i>L. monelli</i> fleurs rosâtres.	34
Tableau XII : Tailles des grains de pollen chez les populations de <i>L. arvensis</i> et <i>L. monelli</i> étudiées.	34

Liste des Figures

Liste des Figures	Page
Figure 01 : Morphologie de <i>L. arvensis</i>	5
Figure 02 : Morphologie de <i>L. monelli</i> .	6
Figure 03 : Caryotype des deux taxons	7
Figure 04 : Les phases de la méiose : la division réductionnelle (Laberche, 2010).	9
Figure 05 : Les phases de la méiose : la division équationnelle (Laberche, 2010).	9
Figure 06 : Individu complet de <i>L. monelli</i> récolté à Beni mouheli.	15
Figure 07 : Individu complet de <i>L. arvensis</i> à fleurs bleues. a : <i>L. arvensis</i> à grandes fleurs bleues à deux faces (Bordj Mira) b : <i>L. arvensis</i> à petites fleurs bleues (Beni Hafed).	15
Figure 08 : Individu complet de <i>L. arvensis</i> . a : petites fleurs orange (Thisselli) b : petites fleurs blanches (Targa ouzemour).	16
Figure 09 : Dénombrement chromosomique en métaphase de <i>L. monelli</i> avec n= 10.	20
Figure 10 : Dénombrement chromosomique de <i>L. arvensis</i> GFB avec n= 10.	21
Figure 11 : Dénombrement chromosomique de <i>L. arvensis</i> à petites fleurs oranges avec n= 20.	22
Figure 12 : Dénombrement chromosomique de <i>L. arvensis</i> à fleurs bleues de taille moyenne.	23
Figure 13 : Dénombrement chromosomique de <i>L. arvensis</i> à petites fleurs bleues avec n = 10 et n = 20.	23
Figure 14 : Dénombrement chromosomique de <i>L. arvensis</i> à petites fleurs bleues avec n= 20.	24
Figure 15 : stades de la division méiotique des cellules mères polliniques de <i>L. arvensis</i> .	25
Figure 16 : Plaques méiotiques des cellules mères polliniques de <i>L. monelli</i> présentant des cytomixies.	26
Figure 17 : Photographies des triades chez <i>L. monelli</i> .	26
Figure 18 : Photographies des dyades chez <i>L. monelli</i> .	27
Figure 19 : Types de cytomixies dans les cellules méiotiques de <i>L. arvensis</i>	27
Figure 20 : Cellules mères polliniques en métaphase II de <i>L. arvensis</i> présentant des divisions asynchrones.	28
Figure 21 : Cellules mères polliniques en métaphase II de <i>L. arvensis</i> présentant des fuseaux irréguliers.	28
Figure 22 : Télophase II avec trois pôles nucléaires chez <i>L. arvensis</i> .	29
Figure 23 : Photographies des triades chez <i>L. arvensis</i>	29
Figure 24 : Photographies des dyades chez <i>L. arvensis</i>	30
Figure 25 : Les différentes anomalies chromosomiques rencontrées chez <i>L. arvensis</i> .	30
Figure 26 : Les différents stades de mitose chez <i>L. arvensis</i> .	31
Figure 27 : Aspects des grains de pollen fertiles (bleue foncé) et stériles (transparent).	32
Figure 28 : Nuage de points donné par ACP pour 21 populations de <i>L. arvensis</i> et 4 populations de <i>L. monelli</i> .	37

Liste des abréviations

PFB : Petite fleur bleue

GFB : Grande fleur bleue

FBM : Fleur bleue moyenne

PFO : Petite fleur orange

PF blanche : Petite fleur blanche

FR : Fleur rouge

FB : fleur bleue

GP : grains de pollen

INTRODUCTION

Introduction

Les Primulaceae, également connues sous le nom de famille des primevères, est une famille de l'ordre des Ericales. Elle regroupe des plantes herbacées réparties en 22 genres et 1000 espèces différentes. Les Primulaceae sont distribuées dans les régions tempérées de l'hémisphère nord ; certaines de ces espèces sont cultivées comme plantes ornementales (Bai *et al.*, 2020).

Le genre *Lysimachia* comprend 180 espèces dont la plupart sont distribuées en Chine et quelques-unes en Afrique, l'Amérique du sud et l'Australie (Liu *et al.*, 2014). Ce genre est caractérisé par une certaine hétérogénéité en termes de morphologie et il regroupe plusieurs espèces issues de différents genres (Anderberg *et al.*, 2007) dont le genre *Anagallis*. Ce dernier comprend 20-25 espèces réparties en Europe, Amérique du Sud et l'Afrique (<https://en.wikipedia.org/wiki/Anagallis>). Les espèces de ce genre présentes en Algérie sont : *A. crassiolia* Thore, *A. tenella* L., *A. arvensis* L., *A. monelli* L. (Quézel et Santa, 1963).

Les travaux de Manns et Anderberg (2005, 2009), basés sur la phylogénie moléculaire, indiquent que le genre *Anagallis* dans sa circonscription actuelle est un genre paraphylétique et doit donc aussi inclure dans son clade les petits genres *Asterolinon* et *Pelletiera*, ainsi que deux espèces de *Lysimachia* (*Lysimachia nemorum* et *L. serpyllifolia*). Le nom retenu pour ce nouveau taxon de rang générique est *Lysimachia*.

Ces espèces sont plus étudiées un peu partout dans le monde d'un point de vue phytochimique, morphologique et cytogénétique mais peu de travaux ont été effectués sur ce sujet en Algérie, d'où l'intérêt de notre étude.

Le présent travail porte sur l'étude cytogénétique de *Lysimachia monelli* (= *Anagallis monelli*) et *Lysimachia arvensis* (= *Anagallis arvensis*) récoltés dans différentes localités de Béjaïa et de Sétif. L'objectif est de déterminer les nombres chromosomiques dans différentes populations de ces deux espèces, à la fois sur les méioses et les mitoses, tout en nous intéressant au déroulement de ces deux divisions cellulaires, les anomalies méiotiques et la fertilité pollinique. La variabilité de la taille des grains de pollen en fonction du nombre chromosomique, de la couleur et de la taille des fleurs sera aussi abordée.

I- SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

I. Synthèse bibliographique

I.1. La famille des Primulaceae

Les Primulaceae, la famille des primevères, sont une grande famille d'angiospermes. Elle est composée de 22 genres et de près de 1000 espèces principalement réparties dans les hautes montagnes de la zone tempérée nord. Ce sont des herbes annuelles ou vivaces, dont beaucoup sont cultivées comme plantes ornementales (Bai *et al.*, 2020). Les Primulaceae sont l'une des six familles de plantes à fleurs qui se caractérisent par la présence généralisée plutôt qu'occasionnelle d'une auto-incompatibilité hétéromorphe (Talavera *et al.*, 2001). Les espèces à auto-incompatibilité hétéromorphe ont leurs anthères et stigmates positionnés à différents niveaux dans la fleur.

I.2. Description morphologique du genre *Lysimachia*

Le genre *Lysimachia* comprend environ 150 à 180 espèces. Ce sont des plantes vivaces, annuelles ou rarement arbustives, à fleurs solitaires à l'aisselle des feuilles supérieures, en panicules ou en racèmes, parfois en forme de tête. La corolle est généralement blanche ou jaune et rarement rose, rouge, bleue ou verdâtre, composé de cinq lobes (rarement 3 ou 6-9). Le Calice est composé de 5 lobes profondément lobés. Les étamines sont avec des filaments d'anthères libres ou connotés en un anneau ou un tube à la base et \pm adnés au tube de la corolle. Les anthères sont basifixes, dorsifixes ou polyvalentes s'ouvrant par des pores apicaux ou par des fentes latérales. Les feuilles sont alternes, opposées, ou parfois verticales, entières. La Capsule est subglobuleuse, s'ouvrant par des valves unies ou se séparant, ou par un couvercle, rarement désintégrant ou indéhiscence (Manns *et al.*, 2009).

I.2.1. Distribution et écologie du genre *Lysimachia*

Les espèces du genre *Lysimachia* sont distribuées dans les zones tempérées et subtropicales de l'hémisphère nord, ainsi que dans certaines régions montagneuses tropicales. La majorité des espèces de ce genre poussent en Chine mais avec quelques espèces en Afrique, Australie et Amérique du Sud (Liu *et al.*, 2014).

On les rencontre dans différents habitats comme les bords des rivières, les terrains marécageux, lieux humides, dans les forêts et sur les bords de routes (Baskose *et al.*, 2016).

I.2.2. Position systématique du genre *Lysimachia*

Les analyses phylogénétiques récentes basées sur l'étude morphologique et moléculaire, ont abouti au transfert de la tribu Lysimachieae dans la famille des Myrsinaceae (APG II 2003), mais dans la nouvelle classification APG III (2009), le genre *Lysimachia* est incorporé dans la famille des Primulaceae.

D'après les analyses phylogénétiques récentes basées sur l'étude morphologique et moléculaire, le genre *Anagallis* est à incorporer dans le genre *Lysimachia*. (Manns et Anderberg, 2005 ; Anderberg *et al.*, 2007 ; 2009).

I.3. Le genre *Anagallis* et *Lysimachia* en Algérie

D'après Dobignard (2013), les espèces des genres *Anagallis* et *Lysimachia* en Algérie sont les suivantes :

- 1) *Anagallis monelli* L. = *Lysimachia monelli* (L.) U. Manns & Anderb
Sp *A. collina* Schousb
Sp *A. linifolia* L.
- 2) *Anagallis arvensis* L. = *Lysimachia arvensis* (L.) U. Manns & Anderb
Sp *A. parviflora* (Hoffmanns. & Link) Arcang
Sp *A. latipholia* L.
Sp *A. platyphylla* Baudo
Sp *A. caerulea* L.
Sp *A. phoenicea* Gouan
- 3) *Anagallis tenella* (L.) L. = *Lysimachia tenella* L.
- 4) *Anagallis minima* (L.) E.H.L. Krause = *Lysimachia minima* (L.) U. Manns & Anderb
- 5) *Lysimachia cousiniana* Coss.
- 6) *Lysimachia vulgaris* L.
- 7) *Lysimachia linum-stellatum*
- 8) *Lysimachia tyrrhenia* U. Manns & Anderb. = *Anagallis crassifolia* Thore

I.4. Nombres chromosomiques du genre *Lysimachia*

Les nombres chromosomiques de quelques espèces du genre *Lysimachia* sont résumés dans le Tableau I ci-dessous.

Tableau I: Nombres chromosomiques de quelques espèces du genre *Lysimachia*.

Espèces	Nombre de chromosomes	Références
<i>L. linum-stellatum</i> L.	2n= 20; n= 10	(Rice <i>et al.</i> , 2014)
<i>L. vulgaris</i> L.	2n= 42, 56 et 84	(Ferguson, 1972)
<i>L. tenella</i> L.	2n= 22; n= 11	(Bedini, 2007)
<i>L. minima</i> (L.) E.H.L Krause)	2n= 22; n= 11	(Rice <i>et al.</i> , 2014)
<i>L. monelli</i> (L.) Manns & Andreb	2n= 20; n= 10	(Sverepova, 1968)
<i>A. collina</i> Schousb. Maire	2n= 40; n= 20	(Sverepova, 1968)
<i>A. linifolia</i> (L.) Jahand & Maire	2n= 20; n= 10	(Sverepova, 1968, 1970)
<i>L. arvensis</i> (L.) Manns & Andreb	2n= 40; n= 20	(Sverepova, 1968, 1970)
<i>A. parviflora</i> Hoffmanns & Link	2n= 20; n= 10	(Sverepova, 1968, 1970)

I.5. Description morphologique de *Lysimachia arvensis*

Lysimachia arvensis est connue sous les noms de mouron des champs, mouron rouge, mouron écarlate Morgeline, Lêwid lehmar, Âïn El-Fellous (López *et al.*, 2011 ; Roche, 2012 ; Fennane *et al.*, 1999).

C'est une espèce méditerranéenne, annuelle et auto-compatible qui s'autopollinise automatiquement avec la fermeture nyctémérale de leurs pétales (Talavera *et al.*, 2001; Francisco *et al.*, 2022). Elle est caractérisée par une tige de 10-30 cm de haut, quadrangulaire, courte, ailée sur les crêtes, généralement ramifiée à partir de la base, et une racine fibreuse. Les feuilles sont opposées, parfois en verticilles de trois, sessiles, ovales à étroitement ovales, apex obtus ou aigu, base sub-arrondie. Fleur : Pédicelle recourbé dans le fruit, 2-3 cm, lobes du calice linéaires-lancéolés. La corolle est de couleur bleue ou rouge, bord entier à denticulé. Le fruit est une capsule de taille d'environ 3,5 mm (Xu *et al.*, 2017) (Fig. 1).



Figure 1 : Morphologie de *Lysimachia arvensis*. **a** : Fleur et feuille de *L. arvensis* ; **b** : Stade de floraison chez *L. arvensis* **c** : Tige et pédicelle quadrangulaires de *L. arvensis* (Xu *et al.*, 2017).

I.6. Description morphologique de *Lysimachia monelli*

Lysimachia monelli ou le mouron bleu est une plante vivace, éphémère à tige ramifiée, dressée. Ses feuilles sont opposées ou verticillées, étroitement lancéolées. Les fleurs sont actinomorphes, pentamères axillaires et solitaires, elles sont caractérisées par leur mouvement de nyctinastie. Le pédicelle est plus long que les feuilles, patents à l'anthèse, courbés à la fructification. Le calice est composé de cinq sépales soudés à la base. La corolle est de 15-25 mm de diamètre, rayonnante, bleuâtre, parfois rougeâtre ; le fruit est une pyxide de 4-6 mm de diamètre. *L. monelli* est cultivée comme ornementale, annuelle, elle est auto incompatible où la pollinisation chez cette espèce et assurée par des visiteurs pollinisateurs (Blanca *et al.*, 2009 ; Talavera *et al.*, 2001; Freyre, 2007) (Fig. 2).

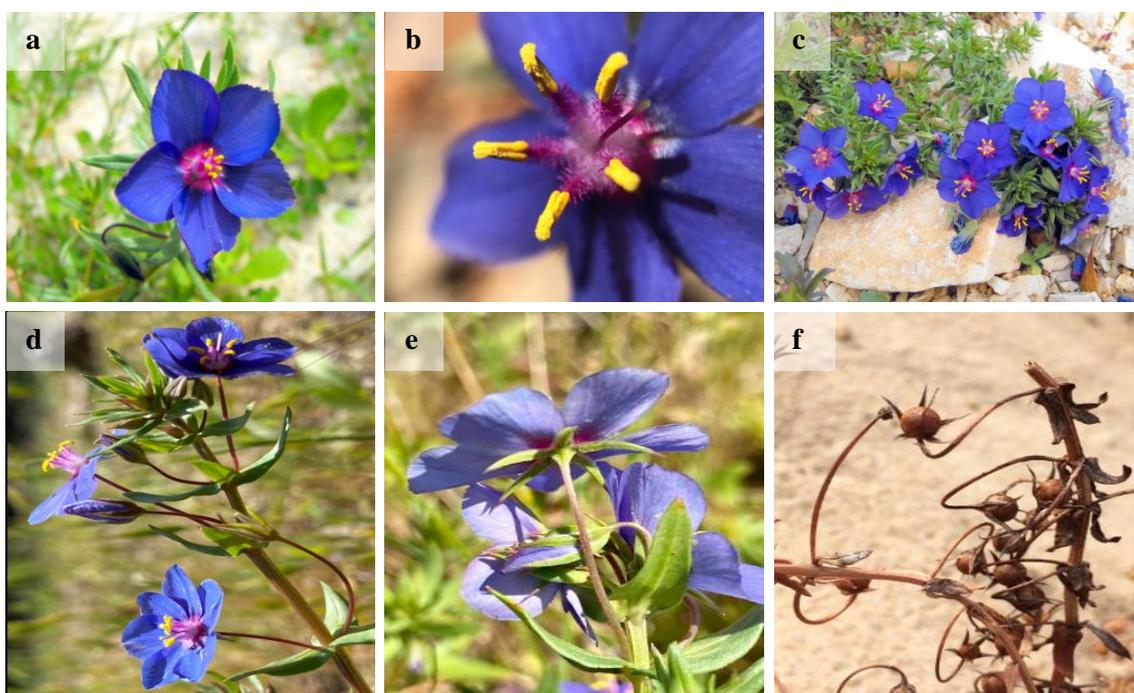


Figure 2 : Morphologie de *Lysimachia monelli*. **a:** Forme de la fleur ; **b:** Les anthères et le style ; **c:** Individu en fleurs ; **d:** Forme de la tige et les feuilles ; **e:** Forme des sépales ; **f:** Forme des fruits murs. (https://www.naturalista.mx/taxa/707889-Lysimachia-monelli/browse_photos, 13-08-2022).

I.7. Intérêt des deux espèces étudiées

Des études ont rapporté que *L. monelli* et *L. arvensis* synthétisent des composants actifs qui peuvent être utilisés à des fins biomédicales. Les deux espèces ont un potentiel anti bactérien, fongicide, anti viral, antioxydant, anti inflammatoire et anti-cancéreux (Dridi, 2022; Lopez *et al.*, 2011; Sood *et al.*, 2022).

Lysimachia monelli possède aussi un potentiel commercial grâce à sa floraison abondante et à la belle couleur bleue de ses fleurs (Freyre, 2007).

I.8. Cytogénétique des espèces étudiées

Lysimachia arvensis est une espèce tétraploïde avec un nombre de chromosomes de $2n = 4x = 40$ ($x = 10$) (Malallah *et al.*, 2001; Sverepova, 1970). Selon Sverepova (1968), les chromosomes de cette espèce sont relativement petits, métacentriques et ont un caractère primitif du point de vue phylogénétique. La taille des chromosomes de *L. arvensis* sont courts (1,4898-1,525um); la position du centromère varie de métacentrique chez *L. arvensis* écarlate à submétacentrique chez *L. arvensis* bleue (Abdel Moneim *et al.*, 2003) (Fig. 3).

Lysimachia monelli à été signalé comme étant une espèce diploïde à $2n = 2x = 20$ ($x = 10$) (Sverepova, 1968 ; 1970; Freyre *et al.*, 2004; Talavera *et al.*, 2001; Quintana, 2008).

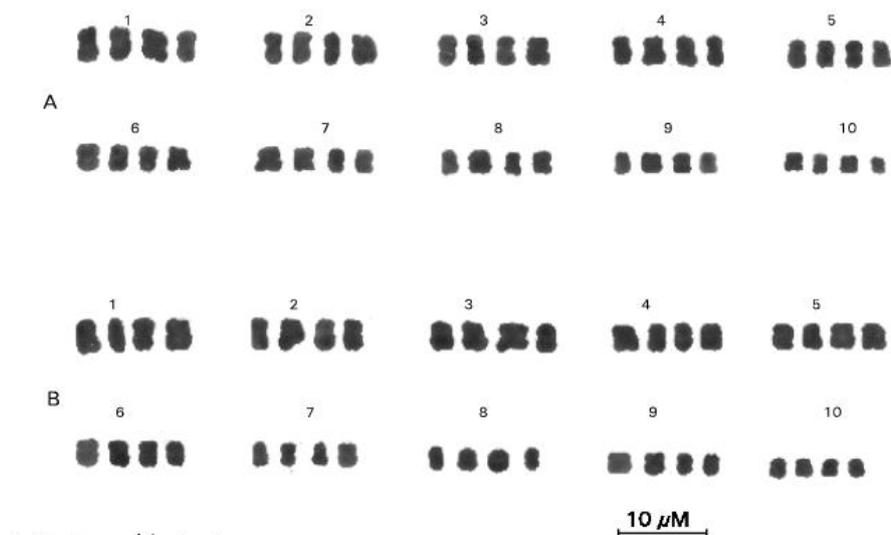


Figure 3 : Caryotype des deux taxons du genre *Lysimachia* étudiés. **A:** *L. arvensis* (fleur écarlate), **B:** *L. arvensis* (fleur bleue) (Abdel Moneim *et al.*, 2003).

I.9. Cytogénétique végétale

La cytogénétique fait le lien entre la cytologie et la génétique, son domaine est très vaste. Elle consiste avant tout à l'étude des chromosomes au cours de la mitose et de la méiose par des techniques classiques mais aussi par des techniques plus récentes (FISH et GISH) (Jahier *et al.*, 1992).

L'analyse d'événements méiotiques nous fournit des informations détaillées sur le comportement chromosomique et la fertilité d'une espèce ainsi que des informations qui aident pour réaliser l'hybridation inter et intra-spécifique (Lavinsky, 2017). La cytogénétique contribue à la compréhension des mécanismes héréditaires ainsi que la phylogénie et la taxonomie des espèces (Jahier *et al.*, 1992).

I.9.1. La méiose chez les plantes

La méiose est une étape essentielle chez les espèces à reproduction sexuelle. Ce phénomène comporte une foule d'évènements hautement conservés qui assurent la viabilité des gamètes. Dans la méiose, toutes les étapes sont contrôlées par des gènes spécifiques qui opèrent les différents processus pour que la méiose se produise régulièrement (Pagliarini, 2000). La méiose comprend deux phases successives :

I.9.1.1. La division réductionnelle

Cette première division permet de répartir les $2n$ chromosomes dans deux cellules-filles (n chromosomes dans chacune), Ainsi, le nombre des chromosomes est réduit de moitié et passe de $2n$ à n . Il est maintenant bien établi que cette division 1 se passe en quatre phases (Laberche, 2010) (Fig. 4):

- **Prophase 1** : Durant cette phase, des remaniements chromosomiques se produisent. Au tout début, les $2n$ chromosomes clivés en deux chromatides s'individualisent progressivement (stade leptotène), puis les deux chromosomes analogues se rapprochent, s'apparient (stade zygotène) et se condensent (stade pachytène). Après, ils commencent à s'écarter (stade diplotène) tout en laissant des zones de contact (les chiasmas) où se produisent des échanges de matériel génétique (crossing-over). La condensation s'accroît et la cellule passe progressivement au dernier stade de cette prophase 1 (la diacinèse), les chromosomes homologues ne sont plus reliés que par les chiasmas. L'enveloppe nucléaire disparaît.
- **Métaphase 1** : Les chromosomes homologues de chaque paire se placent de part et d'autre du plan équatorial.
- **Anaphase 1** : Les chromosomes de chaque paire s'éloignent et se dirigent vers les pôles de la cellule. Contrairement à la mitose, il n'y a pas de séparation des chromatides du chromosome au niveau du centromère. C'est le chromosome entier avec ses deux

chromatides qui se déplace. En fin d'anaphase, à chaque pôle, on trouve n chromosomes ayant chacun deux chromatides.

- **Télophase 1** : Elle est identique à celle de la mitose, elle aboutit à la formation de deux cellules à n chromosomes.

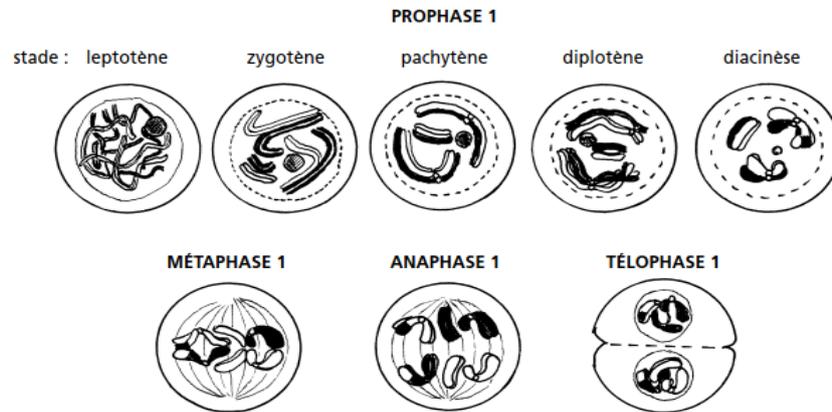


Figure 4 : Les phases de la méiose : la division réductionnelle (Laberche, 2010).

I.9.1.2. La division équationnelle

Cette seconde division, ou division équationnelle, et ses différentes phases sont très semblables à celle d'une mitose classique, mais elle ne fait intervenir que n chromosomes. A la fin de cette division, il y a quatre cellules haploïdes génétiquement recombinaées (Laberche, 2010) (Fig. 5).

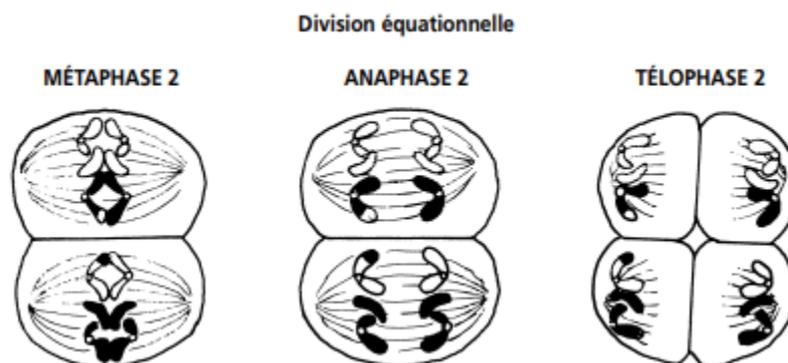


Figure 5 : Les phases de la méiose : la division équationnelle (Laberche, 2010).

I.9.2. Les anomalies de la méiose

L'étude des différents stades de la méiose fournit des informations détaillées sur le comportement chromosomique et la fertilité d'une espèce. Les facteurs environnementaux et épigénétiques peuvent influencer le déroulement du processus méiotique en modifiant les gènes qui contrôlent les différents événements méiotiques. Il en résulte des irrégularités qui peuvent altérer le cours normal de la méiose et conduire à une diminution de la fertilité des gamètes donc la stérilité de la plante (Lavinsky *et al.*, 2017). Les principales irrégularités (anomalies) de la méiose rencontrées chez les plantes sont :

- **Cytomixie**

La cytomixie est une anomalie identifiée dans la microsporogénèse ; elle est définie par une migration des chromosomes ou chromatine entre les méiocytes via les canaux cytoplasmiques (Aksic *et al.*, 2016). Ce phénomène joue un rôle dans la variabilité génétique des plantes ainsi que dans l'évolution, il est considéré comme un mécanisme supplémentaire pour l'origine de l'aneuploïdie et de la polyploïdie (Kim *et al.*, 2009).

- **Fuseaux irréguliers**

Le fuseau tripolaire appelé aussi fuseau convergent ou fuseau en V est une organisation irrégulière des fuseaux due à une mutation au niveau du gène qui contrôle la division méiotique. Cette aberration peut entraîner la fusion de deux noyaux proches donnant naissance à la fin de la méiose à des triades au lieu des tétrades, avec un noyau non réduit ($2n$) (Zhang., 1988; Godoy *et al.*, 2012 ; Damiao do nascimento *et al.*, 2014).

- **La division asynchrone**

Cette anomalie a comme origine une perturbation qui touche un seul pôle nucléaire. La division méiotique se bloque dans un pôle et se poursuit dans l'autre. Elle provoque la formation des triades (Zhang *et al.*, 1988).

- **Micronoyaux**

La ségrégation irrégulière des chromosomes lors de la division cellulaire est la cause de la formation des micronoyaux, qui sont issus soit de fragments de chromatide/chromosomes acentriques retardataires ou des chromosomes entiers qui ne sont pas attachés aux fuseaux lors de l'anaphase suite au dysfonctionnement d'un fuseau ou d'un

gène de point de contrôle de l'anaphase. Des micronoyaux peuvent aussi être formés suite à la condensation de chromosomes retardataires et la condensation du matériel génétique issu de la cytomixie (Kiihl *et al.*, 2011; fenech *et al.*, 2011).

- **Ponts chromatiques**

La séparation des chromosomes collés est irrégulière lors du passage à l'anaphase I. Dans certains cas, la séparation non correcte des chromosomes provoque des fragmentations de ponts (Kiihl *et al.*, 2011).

Le regroupement de chromosomes au cours de la métaphase I et de l'anaphase I conduit à la formation de ponts chromosomiques collants en télophase I. L'occurrence de la non-terminalisation du chiasma ou la présence de collage chromosomique est un facteur qui entre en compétition pour la formation de ponts chromosomiques qui peuvent persister jusqu'à la télophase ou se rompre, formant des micronoyaux (Godoy *et al.*, 2012).

- **Chromosomes retardataires**

Singhal et Kumar (2008) ont expliqué ce phénomène comme étant une conséquence de la cytomixie. Le phénomène a été aussi observé par de Godoyl (2012). Les chromosomes retardataires peuvent être causés par les facteurs environnementaux tels que les rayons X, la température et les éléments du sol. Ce phénomène peut être dû à la présence de gènes mutants ou des facteurs abiotiques tels que des températures élevées. Ces chromosomes non orientés résultent d'un défaut de liaison des fibres du fuseau aux kinétochores des chromosomes (Pagliarini, 2000 ; Kiihl *et al.*, 2011).

- **Chromosomes précoces**

La migration précoce des chromosomes en métaphase I a été observée chez les individus où certains chromosomes homologues se sont séparés et ont migré précocement vers les pôles opposés. D'après Kiihl *et al* (2010), la migration précoce vers les pôles peut être due à l'absence ou à la terminaison précoce des chiasmas. Les chiasmas sont formés après croisement pendant la prophase I, ayant pour fonction de maintenir les chromosomes homologues ensemble jusqu'au début de l'anaphase I. Pagliarini (2000) a suggéré qu'une migration précoce des chromosomes aux pôles peut être due à la présence de gènes asynaptiques et désynaptiques (Damião, 2014).

- **Triades**

La présence de fuseaux tripolaires pendant la métaphase II et l'anaphase II aboutit à la fusion des noyaux en télophase II, il peut également être appelé fuseau convergent ou fuseau en V et, cette irrégularité peut entraîner la fusion de deux noyaux proches, donnant naissance, à la fin de la méiose, à des triades au lieu de tétrades. Le phénomène de la convergence de deux fuseaux en un seul pôle cellulaire aboutit ainsi à la formation de seulement trois noyaux en télophase II, l'un d'eux étant à $2n$ et les deux autres à n , formant des triades (Godoy et al., 2012).

- **Dyades**

La connexion entre les méiocytes se fait par des ponts cytoplasmiques dont le nombre varie, ce qui aboutit à la formation d'une dyade durant la polymérisation. Plutôt que de s'organiser de manière parallèle, les zones s'organisent de manière transversale ou convergente. Le fuseau en forme de V qui en résulte peut conduire à la convergence des noyaux en télophase qui peuvent ensuite fusionner générant deux noyaux à $2n$ chromosomes (Damião, 2014).

II- MATÉRIEL ET MÉTHODES

II. Matériel et Méthodes

II. 1. Lieu et durée de stage pratique

Cette étude a été réalisée au niveau du Laboratoire d'Ecologie et Environnement à l'université Abderrahmane Mira à Béjaïa. Ce travail est réalisé durant 3 mois.

II. 2. Zone d'échantillonnage

Le matériel végétal (boutons floraux) est collecté dans différentes régions des deux localités Bejaïa et Sétif. Le tableau ci-dessous présente les populations, la date et le lieu de récolte.

Tableau II: Localisation géographique, types et dates de récolte du matériel végétal.

Espèce	Localisation géographique	Caractéristiques	Date de récolte	Coordonnées GPS
<i>Lysimachia arvensis</i> L.	Bordj Mira (Béjaïa)	Grande fleur bleue à 2 faces	22/03/2022	36°32'49.0"N 5°16'31.0"E
	Lota ouzemour (Béjaïa)	Grande fleur bleue à 2 faces	26/03/2022	36°33'47.0"N 5°18'27.2"E
	Saadane (Béjaïa)	Grande fleur bleue à 2 faces	26/03/2022	36°33'48.0"N 5°18'27.2"E
	Darguina centre (Béjaïa)	Grande fleur bleue à 2 faces	26/03/2022	36°35'19.0"N 5°20'22.0"E
	Beni Hafed (Sétif)	Petite fleur bleue	26/03/2022	36°23'08.31"N 4°49'15.21"E
	Amizour (Béjaïa)	Petite fleur orange	26/03/2022	36°39'47.36"N 4°54'52.85"E
		Petite fleur bleue		
	Oued Ghir (Béjaïa)	Grande fleur bleue	23/04/2022	36°42'30"N 4°57'35"E
	Aboudaou (Béjaïa)	Petite fleur orange	06/04/2022	36°32'55.02"N 5°40'13.17"E
		Petite fleur bleue		
	Targa ouzemour (Béjaïa)	Grande fleur bleue	27/04/2022	36°42'14.09"N 5°26'29"E
		Petite fleur orange et blanche		
		Petite fleur bleue		
	Alma (Msossa, Béjaïa)	Grande fleur bleue	23/04/2022	36° 31' 05'' N, 4° 32' 12'' E
	Tazrout (Béjaïa)	Grande fleur bleue	23/04/2022	36° 31' 43'' N, 4° 32' 39'' E
	Azekri (Béjaïa)	Petite fleur bleue	24/04/2022	36°31'53.77"N 4°35'16.15"E
	Taghzouyith (Béjaïa)	Fleur bleue moyenne	09/04/2022	36° 45' 14.62"N 5° 1' 23.16"E
Petite fleur bleue				
El kseur (Béjaïa)	Grande fleur bleue	26/04/2022	36° 40' 06'' N, 4° 51' 06 E 36° 40' 06'' N, 4° 51' 06 E	
	Fleur bleue moyenne			
Thisselli (Béjaïa)	Petite fleur orange	03/04/2022	36°32'53.61"N 4°33'44.51"E	
Ighvane (Béjaïa)	Grande fleur bleue	03/04/2022	36°33'29.60"N 4°32'53.75"E	

	Thikhrivine (Béjaia)	Fleur bleue moyenne	24/04/2022	36°31'54.37"N 4°35'37.13"E
	Beni ourtilane (Sétif)	Petite fleur orange	13/05/2022	36°25'47.69"N 4°52'48.90"E
		Petite fleur bleue		
	Seddouk (Béjaia)	Petite fleur bleue	09/05/2022	36°32'55.02"N 4°40'13.17"E Alt : 336m
	Beni Mouhli (Sétif)	Petite fleur bleue	23/04/2022	36°30'42"N 4°55'1"E
	Aith Mbarek (Béjaia)	Petite fleur orange	08/05/2022	36°32'23.0"N 5°16'30.0"E
Grande fleur bleue				
Izabouchine (Béjaia)	Petite fleur orange	07/05/2022	36°32'41.0"N 5°16'27.0"E	
<i>Lysimachia monelli</i> L.	Tizi Marghlez (Béjaia)	Fleur bleue	02/04/2022	36° 32' 40'' N, 4° 32' 23'' E
			09/04/2022	
			23/04/2022	
	Piste Ighil- Alma (Msosssa, Béjaia)	Fleur bleue	09/04/2022	36°31'3.54"N 4°32'20.25"E
Piste Tizi-Ivawalen	Fleur bleue	09/04/2022	36°32'11.38"N 4°31'53.54"E	
Beni Ourtilane (Sétif)	Fleur bleue	13/05/2022	36°25'47.69"N 4°52'48.90"E	

II.3. Réalisation des herbiers

Les plantes récoltées lors de notre stage pratique dans les deux localités, Béjaïa et Sétif, sont mises en herbier dans du papier journal.

Quelques semaines plus tard, nous avons obtenu des plantes séchées et aplaties. Sur du papier blanc (A4, A3), les plantes ont été collées avec un scotch blanc à une seule face. Chaque plante est étiquetée en mettant le nom scientifique de la plante, la date et le lieu de récolte, la description de la plante et le nom de récolteur. Tous les herbiers réalisés ont été scannés avec un scanner EPSON GT-2000.

Nous avons réalisé environ 163 herbiers de plantes entières avec racines, tiges, feuilles, fleurs. L'ensemble des herbiers réalisés sont déposés dans le laboratoire de Recherche d'Écologie et Environnement. Les Figures 6-8 en montrent quelques exemples.

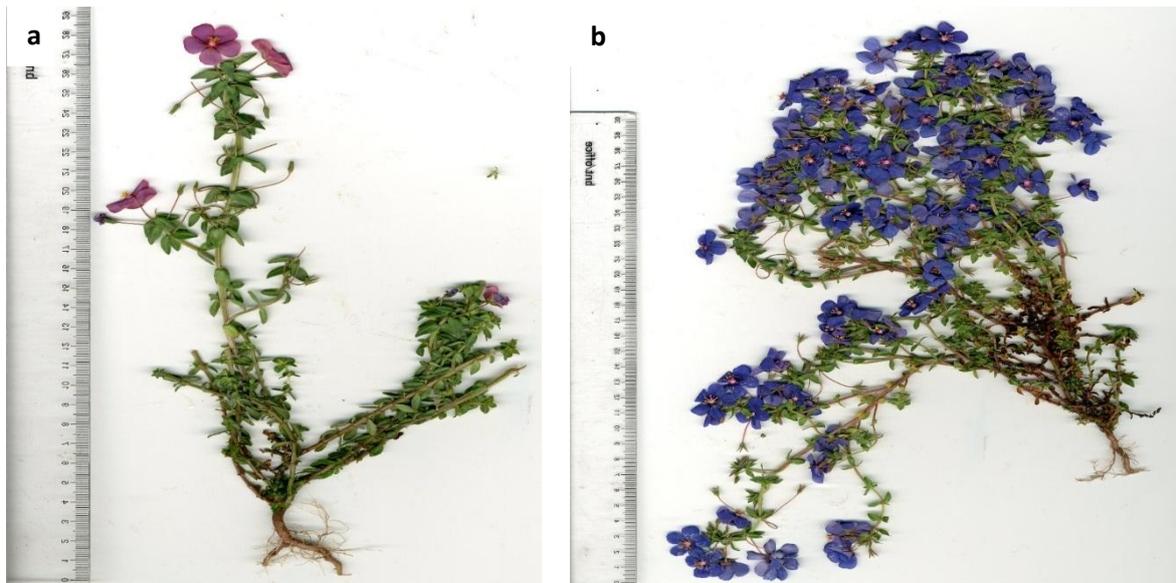


Figure 6 : Individu complet de *Lysimachia monelli* récolté à Beni Mouheli. **a :** *L. monelli* à fleurs rouges et **b :** *L. monelli* à fleurs bleues.

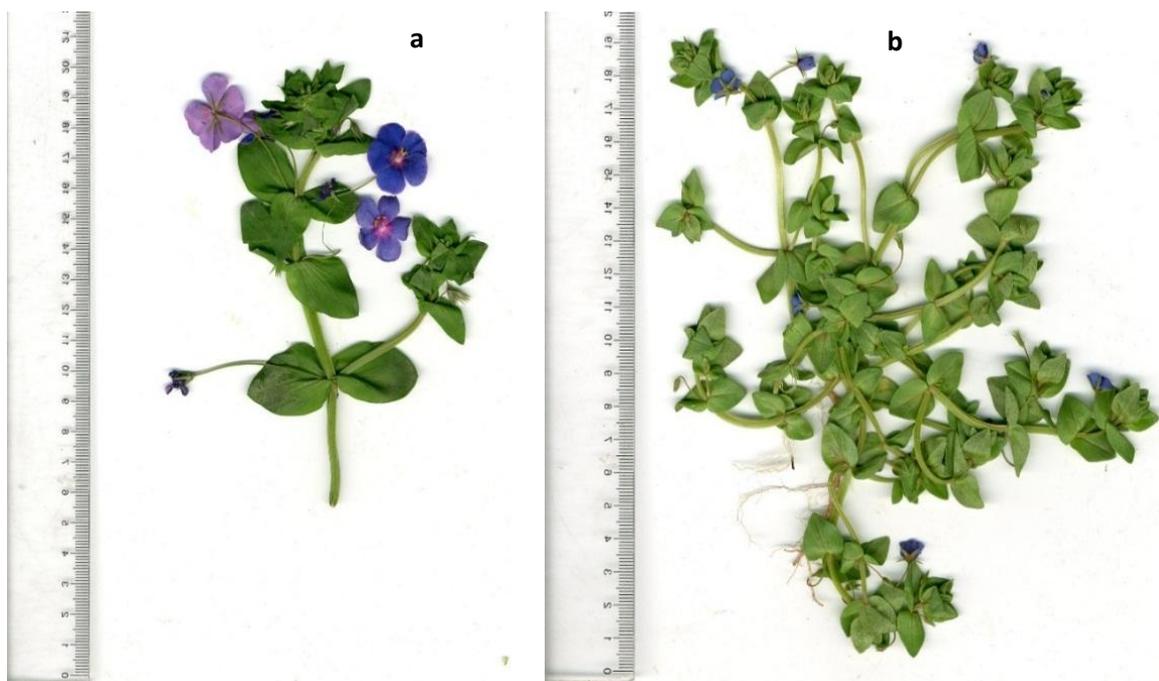


Figure 7 : Individu complet de *Lysimachia arvensis* à fleurs bleues. **a :** *L. arvensis* à grandes fleurs bleues à deux faces (Bordj Mira) ; **b :** *L. arvensis* à petites fleurs bleues (Beni Hafed).



Figure 8 : Individu complet de *Lysimachia arvensis*. **a :** Plante à petites fleurs orange (Thisselli) ; **b :** Plante à petites fleurs blanches (Targa ouzamour).

II. 4. Etude de la méiose

Nous avons cherché à identifier les anomalies méiotiques et à déterminer le nombre chromosomique, de ce fait nous avons effectué une étude au niveau des cellules mères des grains de pollen. Le protocole complet comprend la fixation, l'hydrolyse, la coloration et l'observation.

II. 4. 1. Préparation des solutions

II. 4. 1. 1. Le fixateur

Le fixateur utilisé est le Carnoy II composé de 6 volumes d'éthanol absolu, 3 volumes de chloroforme et 1 volume d'acide acétique absolu (Jahier *et al.*, 1992). Il est préparé sous une hotte aspirante.

II. 4. 1. 2. Acide chlorhydrique (HCl 1N)

Pour préparer la solution d'HCL 1N, on mélange 90 ml d'HCl fumant (35 %, d=1.17) puis ajuster avec de l'eau distillée jusqu'à 1 L. Pour éviter l'explosion, toujours verser l'eau distillée en premier puis ajouter la quantité d'HCl.

II. 4. 1. 3. Orcéine lactopropionique

Le colorant est préparé selon Dyer (1963) modifié selon Löve and Löve (1975). Dans un grand erlenmeyer, nous avons dissout 2 g d'orcéine dans 23 ml d'acide propionique et 23

ml d'acide lactique, puis nous avons complété avec de l'eau distillée. Cette solution obtenue est conservée dans un flacon en verre fumé après filtration.

II. 4. 2. Étapes de la préparation des observations de méiose

II. 4. 2. 1. Fixation

Nous avons récolté les boutons floraux pendant la matinée d'une journée bien ensoleillée, où le taux de l'activité méiotique est très élevé. Les boutons floraux à différents stades de développement sont fixés in situ dans la solution de Carnoy II (éthanol-Chloroforme-Ac. Acétique 6:3:1) et conservés à 4°C jusqu'à utilisation.

II. 4. 2. 2. Hydrolyse

Les plus jeunes boutons floraux sont disséqués sous une loupe binoculaire. Nous avons recueilli les 5 anthères sur une lame bien propre dans une goutte d'eau. Nous ajoutons une goutte d'HCl 1N et nous laissons à 60°C pendant t4 mn. L'hydrolyse est appliquée dans le but de ramollir les cellules.

II. 4. 2. 3. Coloration

Cette étape consiste à appliquer une goutte de colorant sur la lame déjà préparée (d'abord sécher l'excès d'HCl afin d'éviter la dilution du colorant) et laisser réagir pendant 5 min à 60°C. Puis on recouvre la lame d'une lamelle et on écrase délicatement avec le doigt en interposant un papier absorbant entre le doigt et la lamelle pour éponger le surplus de colorant.

II. 4. 2. 4. Observation

L'observation a été effectuée par un microscope photonique OPTIKA-B350 équipé d'un appareil photographique. Nous avons observé au grossissement x10 et x40 pour sélectionner les bonnes préparations et les fixer avec du vernis transparent.

II. 4. 2. 5. Photographie des plaques

Au grossissement x100, ajouter une goutte d'huile à immersion, photographier les différents stades de division méiotique et précisément au stade métaphasique où les chromosomes sont individualisés et bien répartis sur le plan équatorial (pour dénombrer les chromosomes). On photographie ainsi les différents stades de la méiose où l'on peut identifier aussi les anomalies méiotiques.

II. 5. Etude de la fertilité pollinique et la taille des grains de pollen

L'analyse de la fertilité pollinique a été réalisée sur les boutons floraux récoltés avant l'anthèse.

II. 5. 1. Préparation du colorant (bleu de coton)

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

- 8 volumes de glycérine,
- 4 volumes d'acide lactique à 85%,
- 4 volumes de solution de phénol (1g de cristaux 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. 5. 2. Étapes de la préparation des observations des grains de pollen

Sous une loupe binoculaire et à l'aide d'une pince et d'une aiguille, nous récupérons les 5 anthères de la fleur. Les anthères sont ensuite disséquées avec des aiguilles de libérer le maximum de grains de pollen sur lesquels notre étude s'effectue. Nous débarrassons les débris des anthères et nous ajoutons une goutte de bleu de coton, puis nous recouvrons par une lamelle. Nous laissons agir pendant environ 15 à 30 min à température ambiante pour assurer une bonne coloration. L'observation est faite par un microscope photonique au grossissement x10.

II. 5. 3. Estimation du taux de fertilité pollinique

Nous avons compté les grains de pollen à l'aide d'un microscope photonique (x10), l'observation a porté sur 500 à 600 grains de pollen par fleur. Les grains de pollen colorés uniformément en bleu foncé sont considérés fertiles alors que ceux de forme anormale, taille réduite et non ou mal colorés sont considérés non fertiles.

Le taux de la fertilité pollinique est calculé selon la formule suivante :

$$\mathbf{TF = n / N * 100}$$

Sachant que :

TF = Taux de fertilité pollinique (en %).

n = Nombre de grains de pollen normaux (fertiles)

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

II. 5. 4. La taille des grains de pollen

II. 5. 4. 1. Mesure de la taille des grains de pollen

Nous avons cherché si la taille des grains de pollen varie entre les différentes populations étudiées ou pas. C'est pourquoi, nous avons mesuré les dimensions du pollen sur 50 grains par population, par une observation directe sous microscope optique (Grossissement x40).

II. 5. 4. 2. Analyse statistique

Les données sur tailles des grains de pollen ont été analysées une ANOVA et une ACP en utilisant les programmes de Statistica 8.0 (StatSoft, 2007).

III- RÉSULTATS

III.1. Dénombrement chromosomique

Le dénombrement chromosomique en division méiotique a été effectué sur les cellules mères polliniques.

III.1.1. *Lysimachia monelli*

L'observation des plaques métaphasiques de la méiose de *L. monelli* nous a montré un seul nombre chromosomique $n = 10$, observé en métaphase I (Figure 9 a-b) et en métaphase II (Figure 9 c-h) pour toutes les populations.

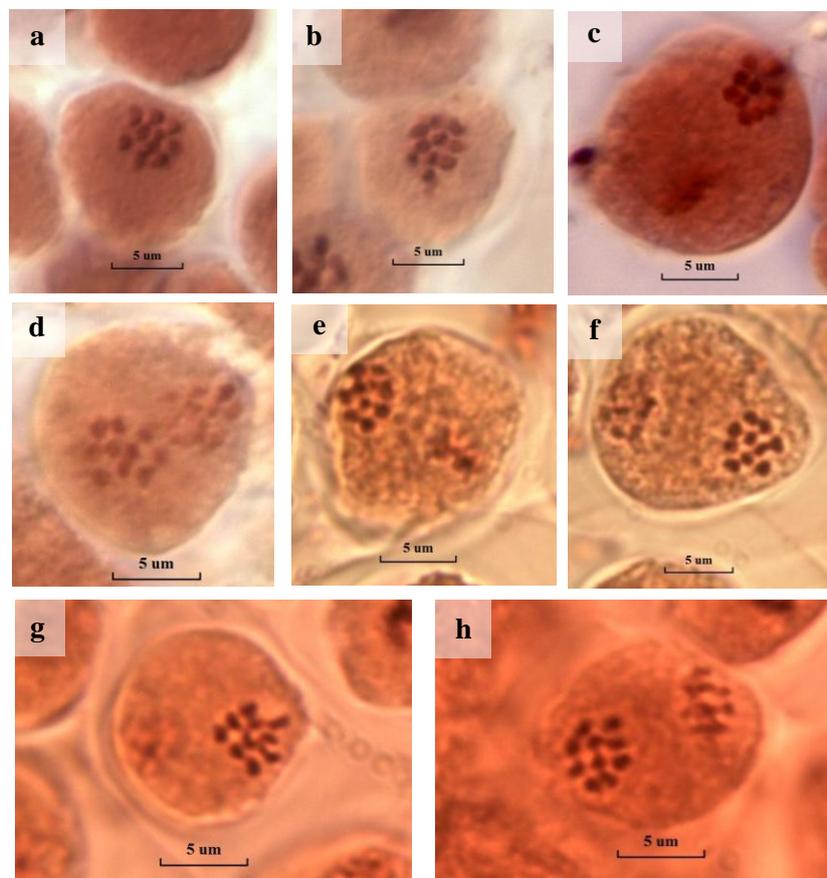


Figure 9 : Dénombrement chromosomique en métaphase chez *L. monelli* avec $n = 10$ (Grossissement $\times 100$). **a-b**: Beni Mouheli; **c-d**: Piste- Ighil-Alma; **e-f**: Tizi Maghlez; **g-h**: Piste- Tizi Maghlez- Ivawalen. La barre d'échelle correspond à $5\mu\text{m}$.

III.1.2. *Lysimachia arvensis*

- *L. arvensis* à grande fleur bleue (GFB)

Sur les plaques métaphasiques de la méiose de *L. arvensis* à GFB, nous avons pu compter un nombre de chromosomes constant de $n = 10$ pour toutes les populations. Les

résultats sont illustrés dans la figure 10. Nous avons dénombré en métaphase de mitose des anthères $2n = 20$ (Figure 10 c e). Nous avons compté $n = 10$ en métaphase I de méiose (Figure 10 a d) et le même nombre chromosomique $n = 10$ est trouvé en métaphase II (Figure 10 b f-n).

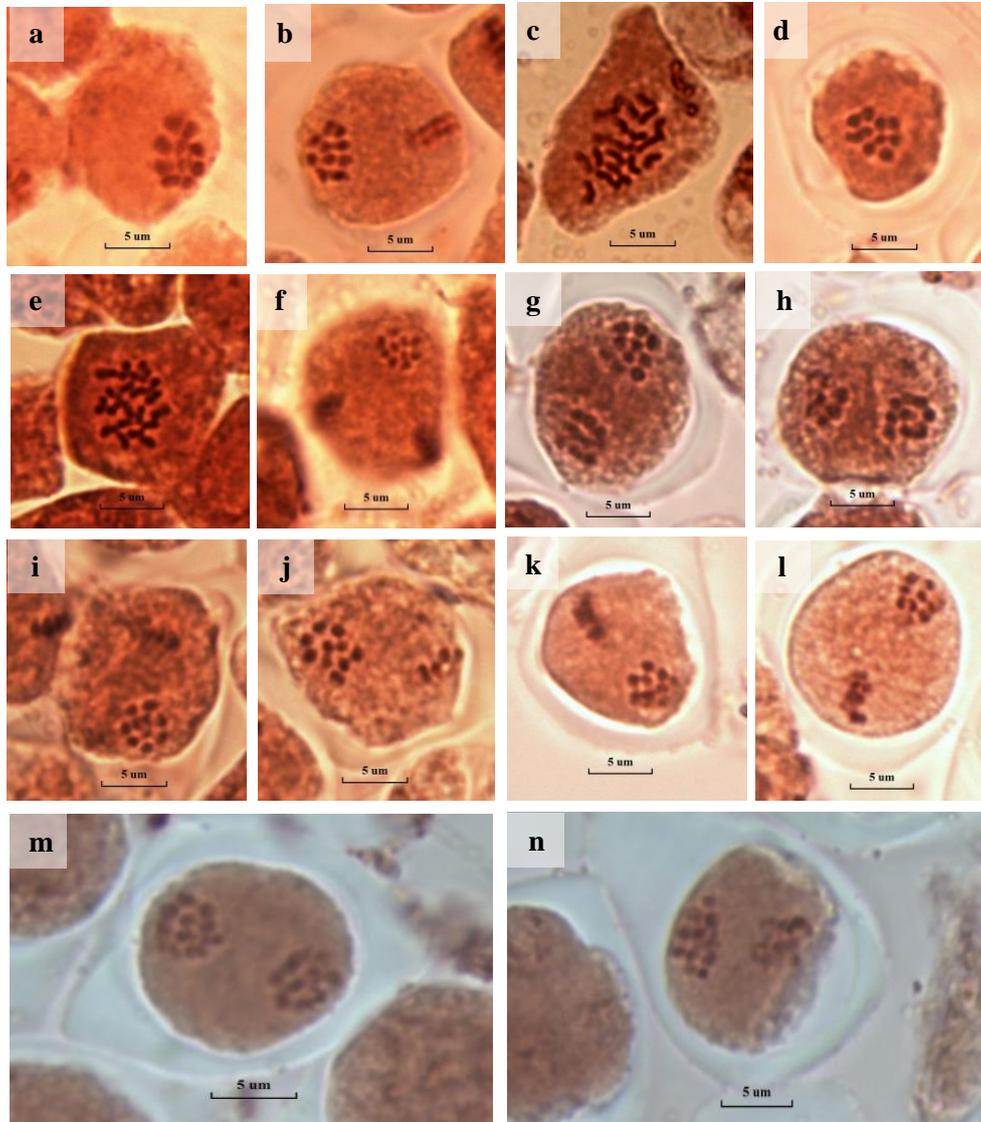


Figure 10 : Dénombrement chromosomique chez *L. arvensis* GFB avec $n = 10$ (grossissement x100). El kseur (**a**: métaphase I;**b**: métaphase II); Tazrout (**c**: Métaphase mitotique des anthères **d**: Métaphase I); Targa Ouzemour (**e**: Métaphase mitotique des anthères **f**: Métaphase I), **g-h** (Métaphase II): Ighvane ; **i-j** (Métaphase II): Alma ; **k-l** (Métaphase II) : Bordj-Mira ; **m-n** (Métaphase II): Taghzouyth. La barre d'échelle correspond à 5 µm.

- ***Lysimachia arvensis* à petite fleur orange (PFO)**

Le nombre chromosomique observé sur les plaques métaphasiques de la méiose chez les populations de *L. arvensis* à PFO est de $n = 20$, les résultats sont observés en métaphase I (Figure 11 a) et en métaphase II (Figure b-k).

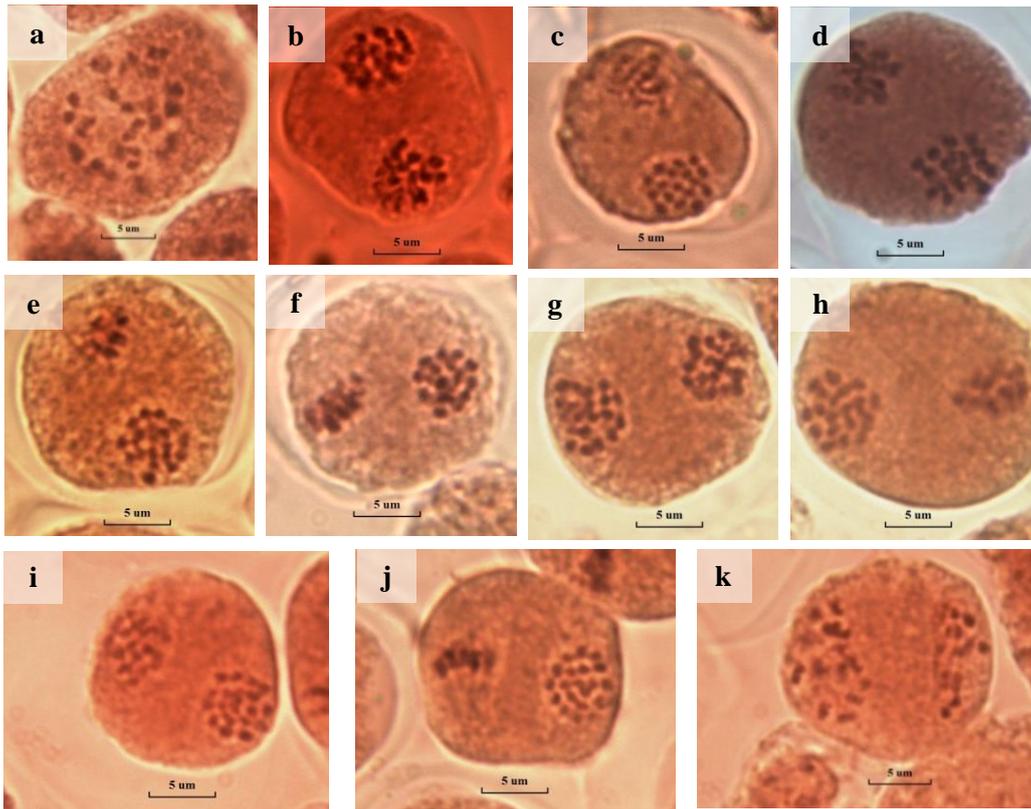


Figure 11 : Dénombrement chromosomique chez *L. arvensis* PFO avec $n = 20$ (Grossissement 100). **a-b**: Beni Ourtilane ; **c-d**: Amizour ; **e-f**: Aboudaou ; **g-h**: Ait mbarek ; **i-j**: Thisselli ; **k**: Targa ouzemour. La barre d'échelle correspond à 5 μm .

- ***Lysimachia arvensis* à fleur bleue moyenne (FBM)**

Nous avons compté un nombre de chromosomes de $n= 10$ pour la population de *L. arvensis* récoltée dans la localité de Thikhrvine en métaphase I (Figure 12 a) et en métaphase II (Figure 12 b). Et pour la population de *L. arvensis* récoltée à proximité d'El kseur, nous avons compté un nombre de chromosomes de $n =20$ en métaphase II (Figure 12 c-d).



Figure 12 : Dénombrement chromosomique chez *L. arvensis* FBM (Grossissement 100). **a-b** (Métaphase I et Métaphase II respectivement): Thikhrvine; **c-d** (Métaphase II): El kseur. La barre d'échelle correspond à 5 μm .

- *Lysimachia arvensis* à petite fleur bleue (PFB)

Pour le morphotype de *L. arvensis* PFB, nous avons compté $n=10$ en métaphase II de la méiose (Figure 13 a) et $2n= 20$ en métaphase de mitose des anthères (Figure 13 b) pour la population récoltée dans Amizour. En métaphase I, nous avons compté $n= 20$ pour la population récoltée dans Beni Hafed (Figure 13 c-d) ; le même nombre a été compté en métaphase II pour les populations de Targa Ouzemour, Beni Ourtilane et Taghzouyth. Les résultats sont présentés dans la Figure 13.

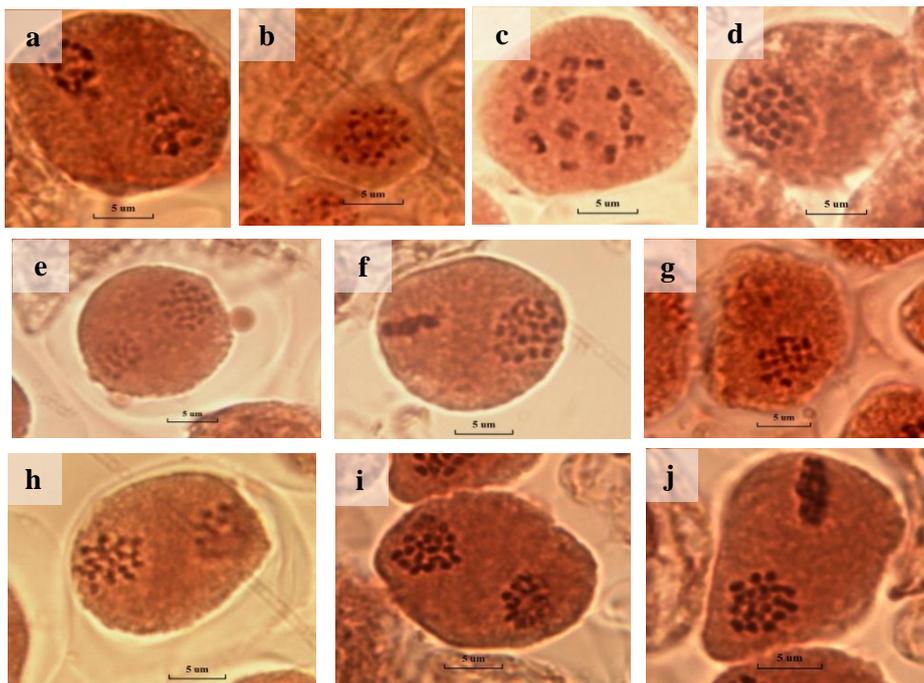


Figure 13 : Dénombrement chromosomique chez *L. arvensis* PFB (Grossissement x100). Amizour **a**: $n= 10$ en métaphase II et **b**: $2n= 20$ en métaphase de la mitose des anthères; $n= 20$ en métaphase I pour : **c-d**: Beni hafed; **e-f**: Taghzouth; **g-h**: Targa ouzemour; **i-j**: Beni ourtilane. La barre d'échelle correspond à 5 μ m.

- *Lysimachia arvensis* à petite fleur blanche

Pour les populations de *L. arvensis* à petite fleur blanche, nous avons compté $n=20$ en métaphase I (Figure 14 a) et en métaphase II (Figure 14 b) les résultats sont présentés dans la Figure 14.

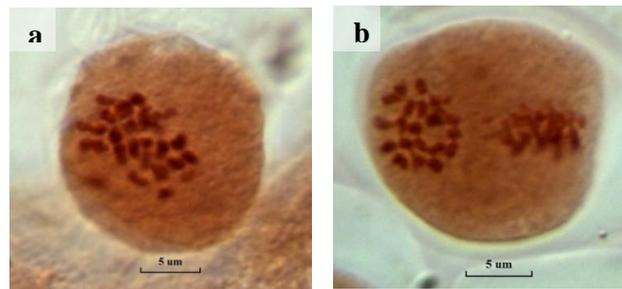


Figure 14 : Dénombrement chromosomique chez *L. arvensis* à PF blanche avec $n = 20$ (Grossissement 100). **a** : Métaphase I ; **b** : Métaphase II. La barre d'échelle correspond à 5 μm .

III.1.3. Résumé des résultats sur les dénombrements chromosomiques

Les résultats obtenus pour les dénombrements chromosomiques des 25 populations étudiées sont résumés dans le Tableau III.

Tableau III : Résultats des dénombrements chromosomiques des 21 populations de *Lysimachia arvensis* et des 4 populations de *L. monelli*. Les significations des abréviations sont données au début du mémoire.

Espèces	Caractéristiques	Populations	Nombre de chromosomes
<i>Lysimachia arvensis</i> L.	GFB	El Kseur	n = 10
		Targa Ouzemour	
		Taghzouyth	
		Bordj Mira	
		Alma	
		Ighvane	
		Tazrout	
	FBM	Thikhervine	n = 20
	PFB	Amizour	
	FBM	El Kseur	
	PFB	Beni Hafed	
		Targa Ouzemour	
		Beni Ourtilane	
		Taghzouyth	
PFO	Amizour		
	Beni Ourtilane		
	Aboudaou		
	Targa Ouzemour		
	Aith Mbarek		
	Thisselli		
PF blanche	Targa Ouzemour		

<i>Lysimachia monelli</i> L.	FB	Piste Alma Ighil	n = 10
		Piste Tizi Ivawalen	
		Tizi Maghlez	
	FR	Beni Mouhli	

III.2. Etude du déroulement de la méiose

III.2.1. Phases de la méiose pollinique

Les différents stades de la méiose pollinique observée chez les populations de *L. arvensis* étudiées sont illustrés dans la Figure 15.

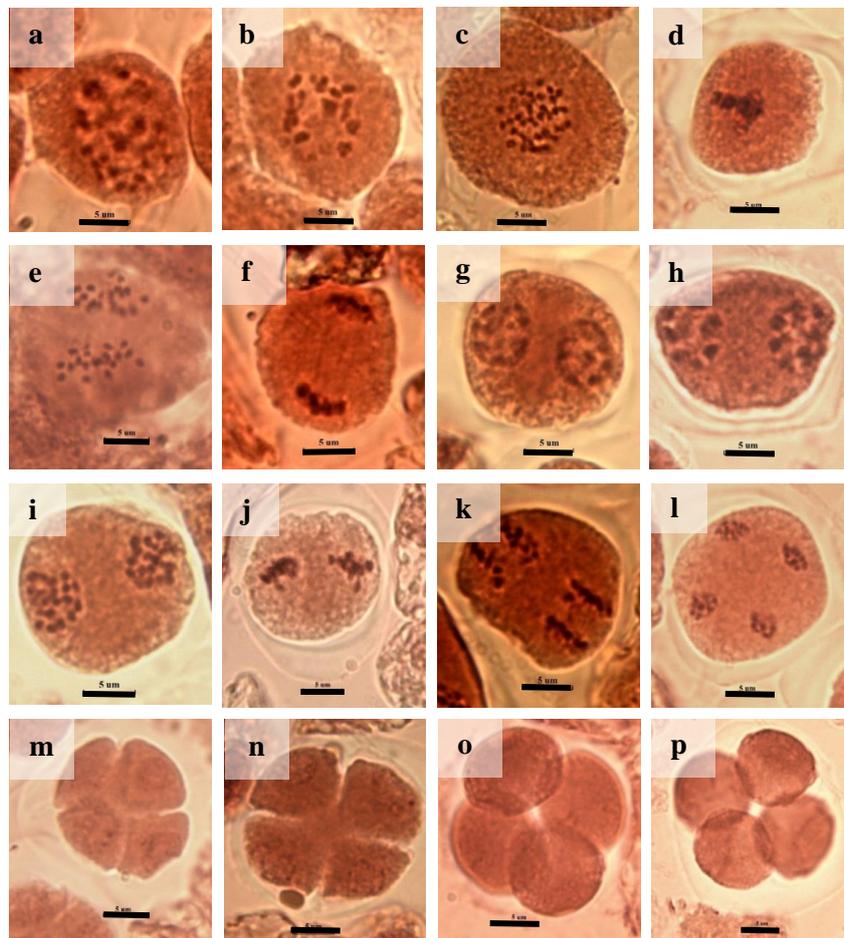


Figure 15 : Stades de division méiotique des cellules mères polliniques de *L. arvensis* (Grossissement x100). **a-b**: Prophase I ; **c**: Métaphase I ; **d**: Métaphase I ; **e**: Anaphase I ; **f**: Fin de l'anaphase I ; **g-h**: Prophase II ; **i-j**: Métaphase II ; **k**: Anaphase II ; **l**: Télaphase II ; **m-n**: Cellules filles en cours de de diacynèse ; **o-p**: Fin de la diacynèse (tétrades). La barre d'échelle correspond à 5 µm.

III.2.2. Anomalies de la méiose

Au cours de l'analyse des cellules mères polliniques (CMP) des différentes populations étudiées chez les deux espèces *L. arvensis* et *L. monelli*, nous avons rencontré différentes anomalies : cytomixie, divisions asynchrones, triades, dyades, fuseaux irréguliers, chromosomes retardataires.

III.2.2. 1. Les anomalies observées chez *Lysimachia monelli*

- **Cytomixie**

La cytomixie est parmi les anomalies rencontrées chez *L. monelli*. L'ensemble des cellules qui en cytomixie est présenté dans la Figure 16. Nous avons observé une connexion unique entre deux CMP avec migration de chromatine (Figure 16 a), des connexions uniques entre deux CMP sans migration de chromatine (Figure 16 b-c) et une cytomixie sous forme d'un tube cytoplasmique.

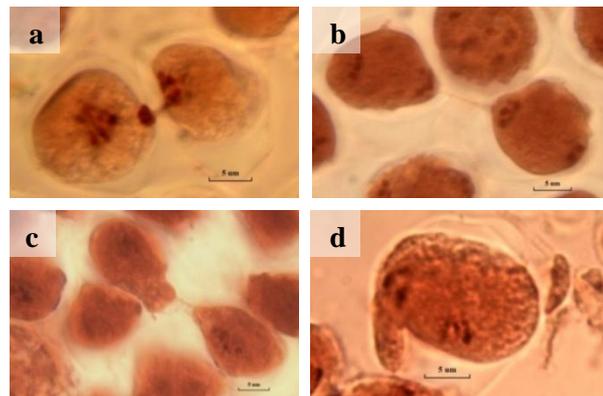


Figure 16 : Plaques méiotiques des cellules mères polliniques de *L. monelli* présentant des cytomixies (Grossissement x100). **a**: connexion unique entre deux CMP avec migration de la chromatine ; **b**: cellule en anaphase I avec connexion unique ; **c**: deux CMP avec connexion cytoplasmique unique ; **d**: cytomixie sous forme d'un tube cytoplasmique. La barre d'échelle correspond à 5 µm.

- **Triades**

Chez *L. monelli*, nous avons rencontré quelques triades issues de la division méiotique. Les résultats sont exposés dans la Figure 17.

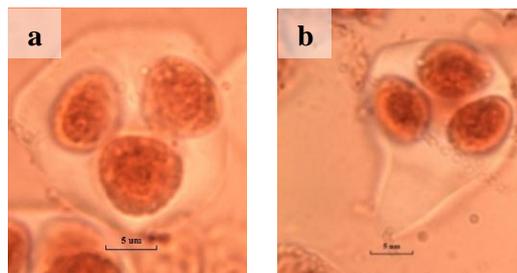


Figure 17 : Photographies des triades chez *L. monelli* (Grossissement x100). La barre d'échelle correspond à 5 µm.

- **Dyades**

Les dyades observées chez *L. monelli* sont présentées dans la Figure 18 où on peut voir une dyade simple (Figure 18 a) et une dyade avec un micronoyau (Figure 18 b).

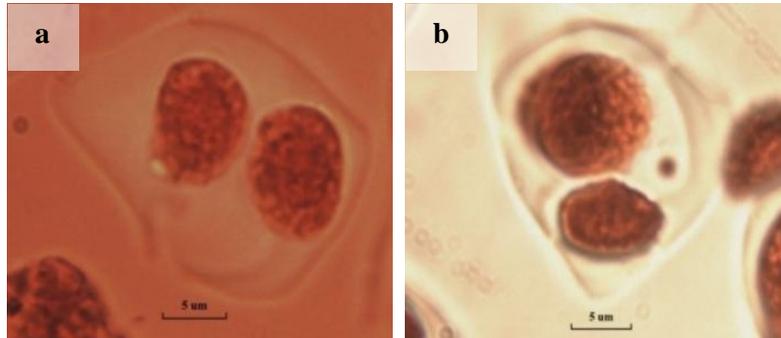


Figure 18 : Photographies de dyades chez *L. monelli* (Grossissement x100). **a**: Dyade simple ; **b**: dyades avec un micronoyau. La barre d'échelle correspond à 5 µm.

III.2.2. 1. Les anomalies observées chez *Lysimachia arvensis*

- **Cytomixie**

Nous avons observé un nombre important de méiocytes avec des cytomixies chez *L. arvensis*. Les résultats sont présentés dans la Figure 19.

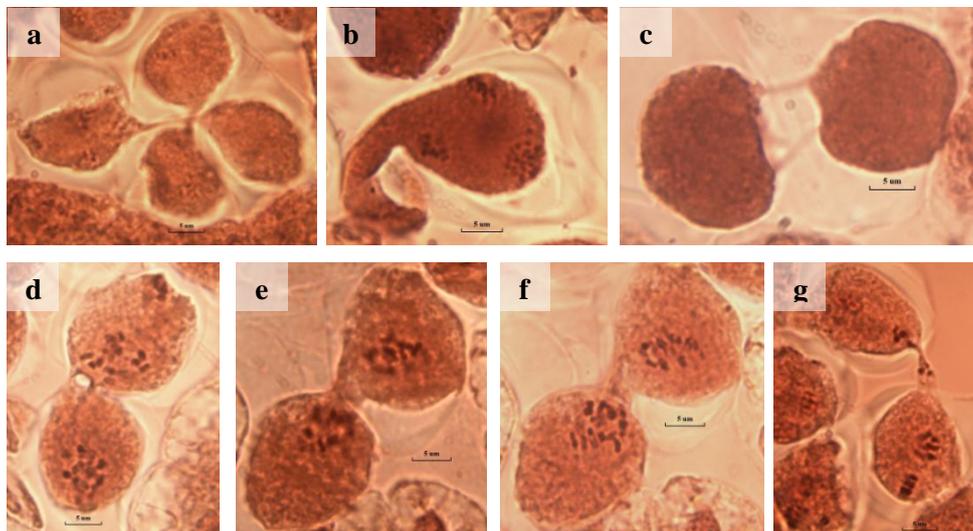


Figure 19 : Types de cytomixie dans les cellules méiotiques de *L. arvensis* (Grossissement x100). **a**: cytomixie entre quatre cellules; **b**: Forme anormale de CMP ; **c**: CMPs montrant deux connexions cytoplasmiques ; **d**: Cytomixie avec deux connexions cytoplasmiques ; **e-f**: CMPs avec fusion directe ; **g**: Cytomixie entre deux CMPs avec migration de chromatine. La barre d'échelle correspond à 5 µm.

- **Divisions asynchrones**

Ces anomalies sont observées en métaphase II (Figure 20). Nous avons observé un déséquilibre lors de la division méiotique des CMPs montrant un pôle en anaphase II et l'autre pôle en métaphase II (Figure 20 a-f).

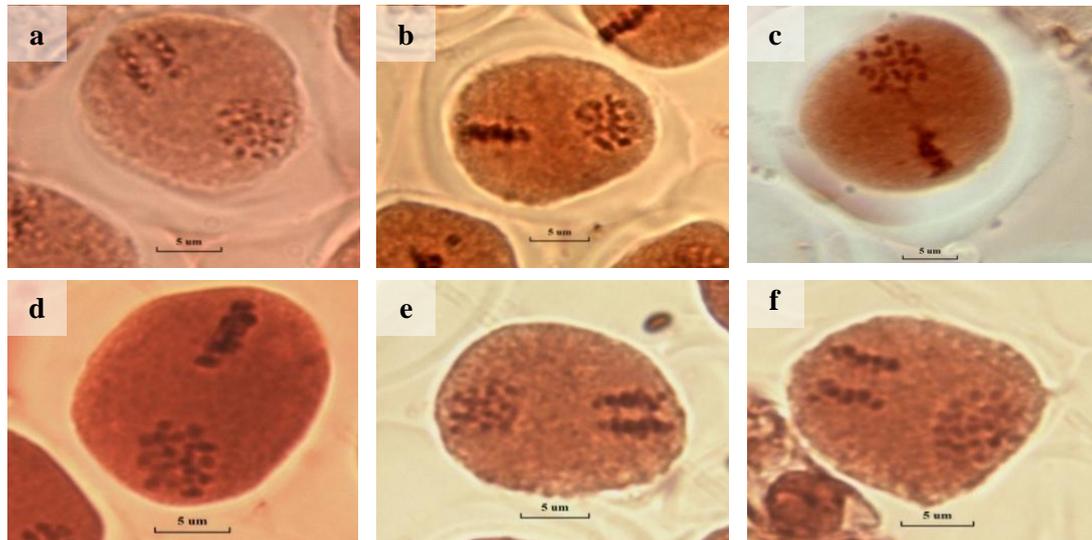


Figure 20 : Cellules mères polliniques en métaphase II de *L. arvensis* présentant des divisions asynchrones avec un pôle en anaphase II et un pôle en métaphase II (Grossissement x100). La barre d'échelle correspond à 5 µm.

- **Fuseaux irréguliers**

Nous avons observé une orientation anormale des fuseaux lors de la métaphase II chez *L. arvensis* dans lesquelles les deux pôles de la cellule en division présentent une construction en forme de V (Figure 21).

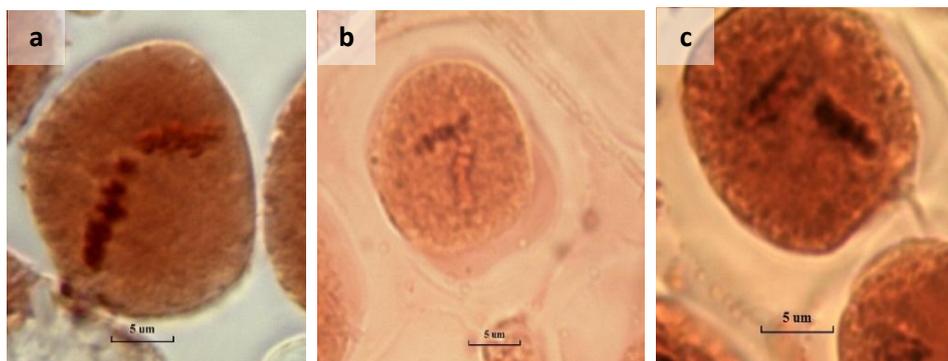


Figure 21 : Cellules mères polliniques en métaphase II de *L. arvensis* présentant des fuseaux irréguliers en forme de V (Grossissement x100). La barre d'échelle correspond à 5 µm.

• **Télophases avec 3 noyaux**

Lors de l'étude de la méiose, nous avons noté quelques cellules en télophase II avec trois noyaux (Figure 22).

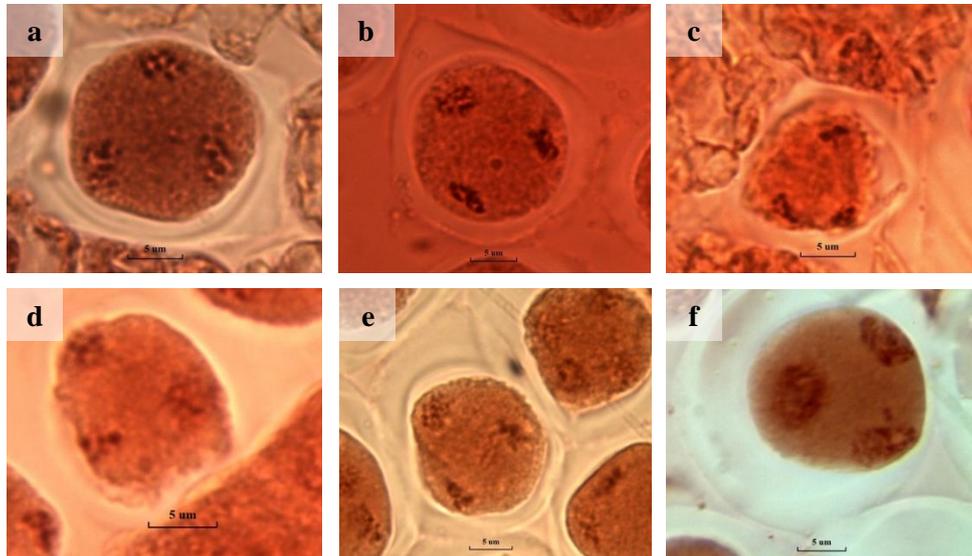


Figure 22 : Téléphases II avec trois pôles nucléaires chez *L. arvensis* (Grossissement x100). La barre d'échelle correspond à 5 µm.

• **Triades**

Nous avons observé des triades viables et d'autres triades avec des chambres vides qui sont non viables. Nous avons rencontré aussi des triades avec des noyaux de tailles différentes. Les résultats sont illustrés dans la Figure 23.

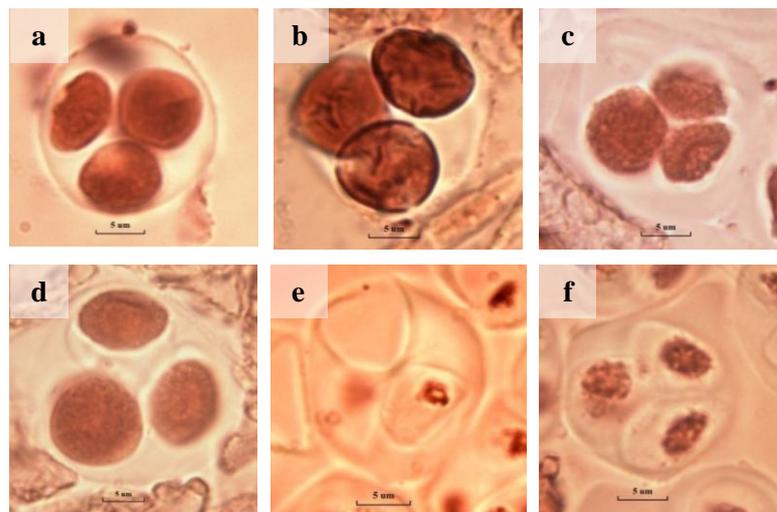


Figure 23 : Photographies des triades chez *L. arvensis* (Grossissement x100). **a-b-c-d**: triades viables; **e**: triades avec deux chambres vides (non viables); **f**: triades avec des noyaux de taille réduite. La barre d'échelle correspond à 5 µm.

• **Dyades**

Les dyades sont parmi les anomalies rencontrées durant l'analyse de la méiose. Les résultats sont présentés dans la Figure 24.

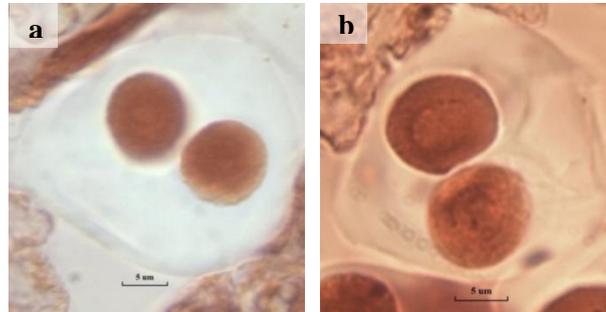


Figure 24 : Photographies des dyades chez *L. arvensis* (Grossissement x100). La barre d'échelle correspond à 5 µm.

• **D'autres anomalies**

Nous avons observé aussi d'autres irrégularités chromosomiques pendant l'analyse de la méiose aux différents stades de la division, tels que des chromosomes retardataires en métaphase II (Figure 25 a), en télophase II (Figure 25 b-c). Nous avons noté aussi une fusion de deux CMPs (Figure 25 d), des chromosomes précoces (Figure 25 e), une métaphase I avec 2 chromosomes retardataires, et une cellule à deux noyaux (Figure 25 h). Les résultats sont présentés dans la Figure 25.

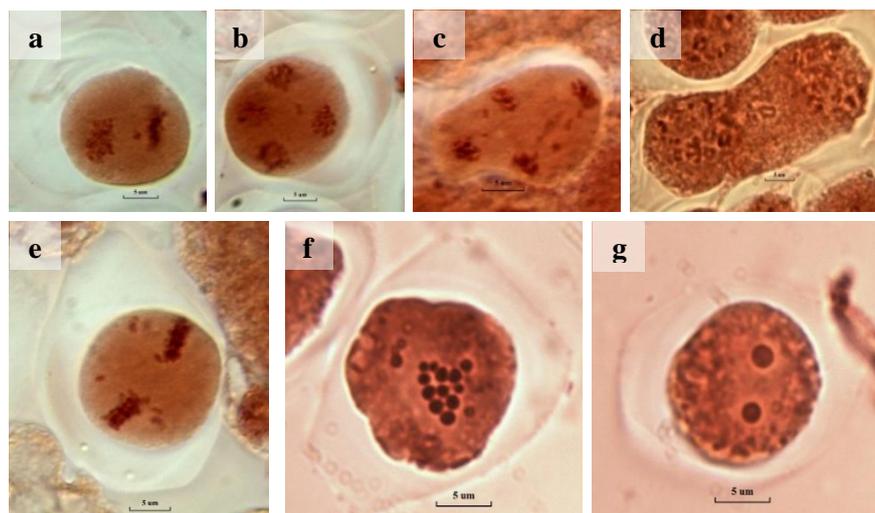


Figure 25 : Les différentes aberrations méiotiques rencontrées chez *L. arvensis* (Grossissement x100). **a**: Métaphase II avec un chromosome retardataire **b**: Télophase II avec un chromosome retardataire **c**: Télophase II avec un pont chromatique et des chromosomes retardataires **d**: Fusion de deux cellules mères polliniques ; **e**: Métaphase II avec des chromosomes précoces ; **f**: Métaphase I avec 2 chromosomes retardataires ; **g**: CMP avec deux noyaux. La barre d'échelle correspond à 5 µm.

III.2.3. Les différentes phases de mitose des anthères observées chez *L. arvensis*

Les différents stades de la mitose chez *L. arvensis*, rencontrés lors de l'étude de la méiose des CMPs sont illustrés dans la Figure 26.

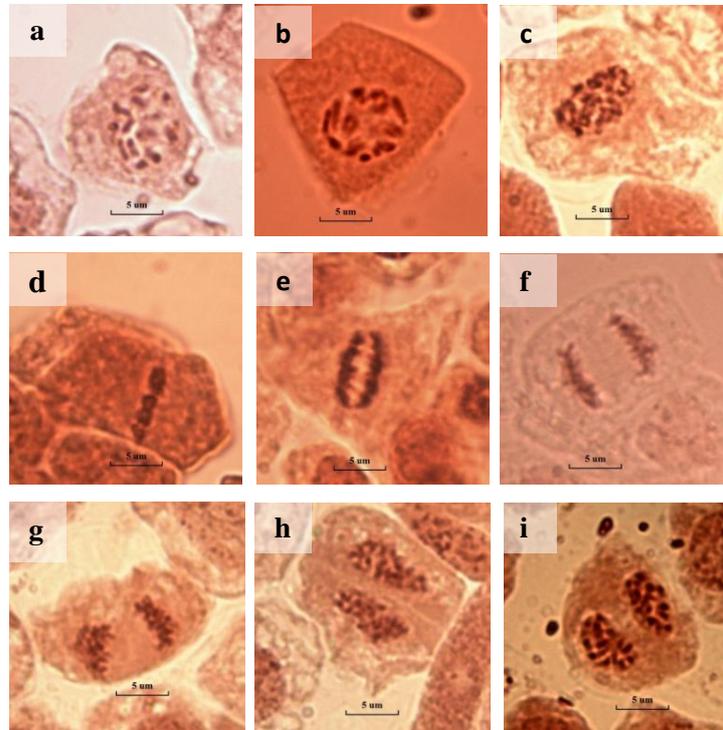


Figure 26 : Les différents stades de mitose au niveau des anthères chez *L. arvensis* (Grossissement x100). **a-c**: Prophase; **d**: Métaphase; **e**: Début d'anaphase; **f-g**: Fin d'anaphase; **h-i**: Télaphase. La barre d'échelle correspond à 5 µm.

III.3. Etude de la fertilité pollinique et la taille des grains de pollen

III.3.1. Analyse de la fertilité pollinique

La fertilité pollinique a été estimée à partir de grains de pollen prélevés avant l'anthèse à partir de cinq fleurs choisies aléatoirement dans chacune des populations étudiées. Les grains de pollen fertiles apparaissent avec une coloration parfaite en bleu de coton et les grains de pollen non fertiles sont mal colorés (Figure 27).

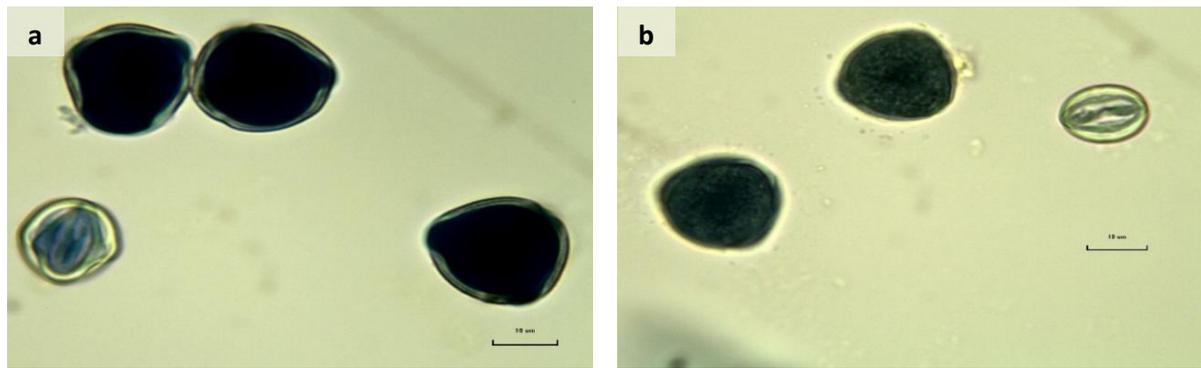


Figure 27 : Aspects des grains de pollen fertiles (bleu foncé) et stériles (transparent) (Grossissement x40). **a:** *Lysimachia arvensis* ; **b:** *L. monelli*. La barre d'échelle correspond à 10 µm.

Les taux de fertilité polliniques selon la taille et la couleur des fleurs sont présentés dans les tableaux III-VII chez *L. arvensis* et Tableaux VIII-IX chez *L. monelli*.

Tableau IV : Taux de fertilité pollinique (%) chez *Lysimachia arvensis* à grandes fleurs bleues.

Fleurs							
Populations GFB	1	2	3	4	5	Moyenne	Ecart-type
El kseur	16,12	25,35	21,95	49,93	50,18	32,71	14,47
Taghzouth	98,47	95,32	98,13	97,40	95,44	96,95	1,33
Bordj Mira	97,72	98,36	98,52	87,34	76,60	91,71	8,65
Alma	2,76	5,74	13,04	1,02	18,55	8,22	6,60
Targa Ouzemour	89,29	95,73	84,82	98,40	98,81	93,41	5,48
Ighvane	66,44	82,67	92,78	88,76	80,95	82,32	9,00
Tazrouth	48,65	21,05	21,87	48,84	25,71	33,22	12,77

Tableau V : Taux de fertilité pollinique (%) chez *Lysimachia. arvensis* à fleurs bleues moyennes.

Fleurs							
Populations FBM	1	2	3	4	5	Moyenne	Ecart-type
Thikhervine	34,85	37,59	43,39	28,07	27,27	34,23	6,03
El Kseur	91,11	94,40	95,60	96,88	96,39	94,88	2,06

Tableau VI : Taux de fertilité pollinique (%) chez *Lysimachia arvensis* à petites fleurs bleues.

Fleurs							
Populations PFB	1	2	3	4	5	Moyenne	Ecart-type
Beni Hafed	82,57	78,93	74,57	74,24	84,40	78,94	4,10
Amizour	58,17	49,14	65,87	65,84	57,46	59,30	6,23
Targa	41,33	87,13	97,75	71,28	77,55	75,01	19,07
Beni Ourtilane	37,66	37,12	16,82	33,48	41,12	33,24	8,56
Taghzouyouth	75,75	79,99	96,58	95,48	93,24	88,21	8,61

Tableau VII : Taux de fertilité pollinique (%) chez *Lysimachia arvensis* à petites fleurs oranges.

Fleurs							
Populations PFO	1	2	3	4	5	Moyenne	Ecart-type
Amizour	81,82	82,57	82,68	94,8	82,59	85,09	4,96
Beni Ourtilane	91,33	97,44	91,53	95,96	91,86	93,42	4,96
Aboudaou	89,04	95,38	95,4	91,44	93,79	93,01	2,46
Ait Mbarek	96,96	96,96	98,87	86,31	80,59	92,1	7,32
Thisselli	59,96	93,86	34,27	8,95	16,06	42,62	3,44
Targa Ouzemour	94,42	56,07	95,48	93,92	81,58	84,29	1,84

Tableau VIII : Taux de fertilité pollinique (%) chez *Lysimachia arvensis* à petites fleurs blanches.

Fleurs							
Populations PF blanche	1	2	3	4	5	Moyenne	Ecart-type
Targa Ouzemour	80,85	66,57	88,16	9,91	71,61	63,42	27,77

Tableau IX : Taux de fertilité pollinique (%) chez *Lysimachia monelli* à fleurs bleues.

Fleurs							
Populations FB	1	2	3	4	5	Moyenne	Ecart-type
Tizi Maghlez	46,62	28,68	13,34	2,97	42,13	26,74	16,62
Piste Tizi Ivawalen	57,19	63,76	61,41	24,53	79,94	57,36	16,62
Piste Alma Ighil	70,17	67,59	28,73	67,74	66,57	60,16	15,76

Tableau X : Taux de fertilité pollinique (%) chez *Lysimachia monelli* à fleurs rosâtres.

populations FR	Fleurs					Moyenne	Ecart-type
	1	2	3	4	5		
Beni Mouhli	79,34	68,97	97,17	38,27	37,5	64,25	1,92

III.3.2. Taille des grains de pollen

Le Tableau X compare les tailles des grains de pollen des différentes populations étudiées. La plus petite valeur de l'axe polaire (I1) des grains de pollen a été enregistrée pour la population 7, et la plus grande valeur pour ce même a été trouvée pour la population 21 (Tab. X).

Quant à l'axe équatorial (L2) des grains de pollen, sa plus petite valeur se trouve chez la population 7 également, et la plus grande chez les populations 21 et 16 (Tab. X).

Quant au rapport L1/L2 des deux axes, la petite valeur se trouve chez la population 23 et la plus grande chez la population 8.

Les valeurs enregistrées pour le reste des populations forment un continuum entre les deux extrêmes pour les trois variables, L1, L2 et L1/L2 (Tab. X).

Tableau XI : Tailles des grains de pollen chez les populations de *L. arvensis* et *L. monelli* étudiées. Pour chaque population la ligne supérieure indique la moyenne \pm Ecart-type, la ligne inférieure Min-Max. Les valeurs indiquées par les mêmes lettres en gras sont statistiquement égales (Unequal N HSD Test, $P < 0.05$).

	2n	L1	L2	L1/L2
1= GFB El kseur	20	19,45 \pm 1,22 D-G 17,19-23,18	18,15 \pm 1,89 14,27-22,13	1,08 \pm 0,10 0,86-1,29
2= GFB Targa	20	20,14 \pm 0,81 F-K 18,31-21,77	18,28 \pm 1,46 14,72-20,89	1,11 \pm 0,10 0,94-1,39
3= GFB Bordj Mira	20	19,47 \pm 1,49 E-H 16,23-22,38	17,54 \pm 1,81 13,70-21,56	1,11 \pm 0,07 0,99-1,27
4= GFB Ighvan	20	21,02 \pm 1,33 K-M 17,66-23,26	18,89 \pm 1,70 15,25-22,50	1,12 \pm 0,07 0,92-1,29
5= GFB Taghzouyith	20	20,38 \pm 0,75 G-L 18,65-22,05	18,82 \pm 1,10 15,70-21,25	1,09 \pm 0,06 0,90-1,25

6= GFB Alma	20	20,75±1,12 J-M 17,81-23,14	18,73±1,51 15,90-22,17	1,11±0,06 0,99-1,22
7= GFB Tazrout	20	16,05±1,47 A 14,15-20,04	15,64±1,25 13,16-18,92	1,03±0,09 0,90-1,31
8= FBM tikhrivine	20	20,46±0,88 H-L 18,52-22,26	18,35±1,38 16,07-21,99	1,12±0,07 0,97-1,29
9= FBM El kseur	40	19,52±2,31 E-H 15,65-24,77	18,71±2,03 15,49-23,79	1,04±0,06 0,88-1,15
10= PFO Amizour	40	21,47±1,08 M 19,46-23,58	19,79±1,55 16,34-22,78	1,09±0,07 0,92-1,27
11= PFO Ait Mbarek	40	20,54±1,10 I-M 17,66-23,13	18,72±1,78 15,25-22,81	1,10±0,07 0,97-1,29
12= PFO Targa Ouzemour	40	20,32±1,69 G-L 17,38-24,01	19,07±1,70 16,26-24,42	1,07±0,06 0,95-1,23
13= PFO thisselli	40	17,36±1,36 B 15,19-23,48	16,47±1,43 14,32-24,62	1,06±0,07 0,88-1,19
14= BFO Beni Ourtilane	40	19,26±1,56 D-F 16,5-22,26	17,89±1,42 16,0-21,99	1,08±0,08 0,9-1,29
15= PFO Aboudaou	40	20,23±1,55 G-L 15,65-23,73	18,66±1,49 15,49-21,81	1,09±0,08 0,95-1,29
16= PFB Targa Ouzemour	40	21,17±1,57 L-M 17,69-24,88	20,82±1,75 16,85-24,43	1,02±0,10 0,85-1,25
17= PFB Amizour	20	19,84±1,13 F-J 17,19-22,55	18,22±1,65 14,74-21,94	1,10±0,10 0,87-1,36
18= PFB Beni Ourtilane	40	18,45±0,97 CD 16,23-20,18	17,17±1,41 13,70-19,88	1,08±0,07 0,94-1,27
19= PFB Beni Hafed	40	20,45±1,41 G-L 17,04-23,61	18,97±1,44 16,24-22,59	1,08±0,10 0,86-1,27
20= PFB Taghzouyith	40	20,12±1,64 F-K 16,65-24,14	19,10±1,50 15,74-22,78	1,06±0,08 0,89-1,25
21= PF blanche Targa Ouzemour	40	22,52±1,18 N 19,56-24,99	20,94±1,52 16,89-23,78	1,08±0,08 0,90-1,30
22= FR Beni Mouhli	20	19,63±0,92 E-I 17,68-21,43	18,67±1,13 16,57-21,39	1,06±0,08 0,90-1,21
23= FB Piste-Tizi- Ivawalan	20	18,64±1,67 DE 15,23-22,62	18,53±1,88 15,27-23,84	1,01±0,12 0,71-1,30
24= FB tizi maghlezi	20	17,61±1,52 BC 14,4-21,95	16,41±1,67 13,26-20,50	1,08±0,11 0,82-1,37
25= FB Alma	20	19,92±1,04 F-J 17,90-21,84	18,71±1,62 14,48-21,25	1,07±0,08 0,89-1,32

L'analyse de la taille des grains de pollen en fonction du niveau de ploïdie par une ACP révèle que les plus gros grains de pollen se trouvent chez les tétraploïdes ($2n = 40$) et les plus petits chez les diploïdes ($2n = 20$) (Fig. 28A). Les plus petits rapports L1/L2 des axes des grains de pollen se trouvent chez les $2n = 20$; les plus grands rapports s'observent à la fois chez les $2n = 20$ et les $2n = 40$ (Fig. 28A).

La même ACP sur les tailles des grains de pollen en fonction de la couleur montrent que les plus petits grains de pollen se trouvent les plantes à fleurs bleues, et les plus gros grains de pollen chez les plantes à fleurs roses ou blanches (Fig. 28B). A la fois Les plus petits et les plus grands rapports des axes grains de pollen se trouvent majoritairement chez les plantes à fleurs bleues (Fig. 28B).

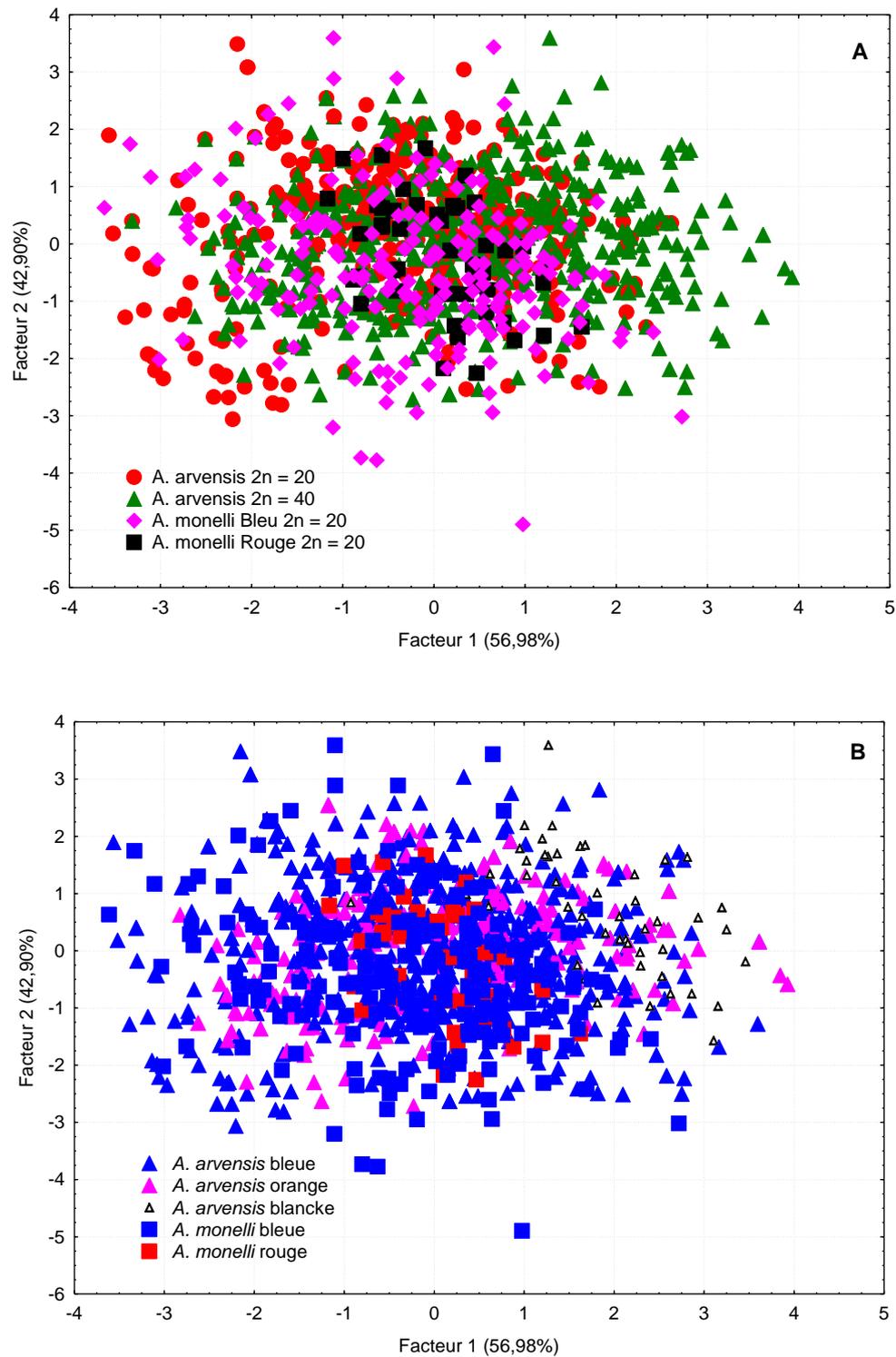


Figure 28 : Nuage de points donné par ACP pour 21 populations de *L. arvensis* et 4 populations de *L. monelli*. A. En fonction du nombre de chromosomes, B : En fonction de la couleur des fleurs. L'axe 1 est défini par les variables L1 et L2 avec des corrélations avec l'axe 1 de 0,79 et 0,98 respectivement. L'axe 2 est défini par la variable L1/L2 avec une corrélation de 0,94.

IV- DISCUSSION

IV.1. Le dénombrement chromosomique

IV.1. 1. *Lysimachia monelli*

L'analyse de la méiose des cellules mères polliniques (CMPs) de toutes les populations de *L. monelli* (Piste Alma- Ighil, Piste-Tizi - Ivawalan et Tizi – Maghlaz à PFB ainsi que Beni Mouhli à FR, a révélé que ces dernières possèdent un seul cytotype diploïde à $n = 10$ correspondant à $2n = 2x = 20$ avec un nombre de base $x = 10$ (Figure 9). Les mêmes résultats sont trouvés par Šveřepová (1968) en Portugal pour *L. monelli*.

IV.1. 2. *Lysimachia arvensis*

L'étude de la méiose pollinique de *L. arvensis* à PFO des localités d'Amizour, Beni Ourtilane, Aboudaou, Targa Ouzemour, Ait Mbarek et Thisselli, et à PF blanche récolté à Targa Ouzemour ainsi que celui à PFB des localités de : Beni Hafed, Targa Ouzemour, Beni Ourtilane et Taghzouyth et celui à FBM récolté à El Kseur a mis en évidence un nombre de chromosomes de $n = 20$ correspondant à $2n = 4x = 40$ avec $x = 10$ comme nombre de base. Ces résultats sont identiques à ceux trouvés pour *L. arvensis* par Abdel Moneim *et al.* (2003) en Egypte, Šveřepová (1968, 1970) en Tchèque et Malallah *et al.* (2001) en Kuwait.

Par contre, sur des métaphases mitotiques des anthères, nous avons clairement compté $2n = 20$ pour les populations de Tazrout à GFB (Fig. 10 c) et Targa Ouzemour (Fig. 10 e). En métaphase méiotique, nous avons aussi trouvé le même nombre $n = 10$ ($2n = 20$) en métaphase I pour les populations de Thikhrvine (Fig 10. a), Tazrout (Fig. 10 d) et en métaphase II en a compté un nombre chromosomique $n = 10$ ($2n = 20$) chez Targa Ouzemour, Taghzouth, Bordj Mira, Alma, Ighvane et celui de PFB d'Amizour. Ces comptages de $2n = 20$ sont similaires aux ceux de Šveřepová (1968, 1970) trouvés pour *A. parviflora* Hoffmans et Link en Portugal.

Pour les populations d'Azekri, Ait Mbarek et Beni Mouhli, nous n'avons pas pu compter le nombre chromosomique, car nous n'avons pas obtenu de bonnes plaques métaphasiques.

IV.2. Anomalies de la méiose pollinique

Au cours de notre étude de la méiose pollinique, nous avons observé plusieurs anomalies chez les deux espèces étudiées *L. arvensis* et *L. monelli*. D'après Mandal *et al*

(2013) ces anomalies sont dues à deux effets soit génétique (agents mutagènes) ou environnementaux (le stress, la température ou la pollution). Les anomalies que nous avons observées sont comme suit :

- **Cytomixie** : observée chez les deux espèces *L. arvensis* et *L. monelli*. Ce phénomène est plus fréquent chez les plantes herbacées, il est caractérisé par une migration de chromatine ou chromosomes entre les méiocytes à travers des canaux cytoplasmiques ou des ponts intercellulaires (Aksic *et al.*, 2016). La cytomixie est un moyen de maintenir l'hétérozygotie des gamètes. Elle est considérée comme une caractéristique des plantes génétiquement déséquilibrées tel que les hybrides, mutants et les aneuploïdes (Kim *et al.*, 2009).
- **Fuseaux irréguliers** : observés chez *L. arvensis* où certains individus étudiés ont montré des changements dans l'organisation des fuseaux en métaphase II (conformation des fuseaux en forme de V). Ce phénomène conduit à la formation d'une triade au lieu d'une tétrade, avec un gamète non réduit ($2n$) (Zhang., 1988 ; Damiao do Nascimento *et al.*, 2014). Les grains de pollen non réduits ($2n$) sont fertiles et peuvent jouer un rôle important dans la polyploïdisation sexuelle des espèces (Kim *et al.*, 2009). L'organisation irrégulière des fuseaux est due à une mutation dans le gène qui contrôle la division méiotique (Godoy *et al.*, 2012).
- **Divisions asynchrones** : Cette anomalie se traduit par un blocage de la division méiotique dans un pôle et sa poursuite l'autre pôle. La perturbation de la métaphase II inhibe la séparation et la migration des chromatides sœurs qui vont se regrouper pour former une triade (Zhang *et al.*, 1988).
- **Télophase anormale** : La télophase II avec trois noyaux est due au phénomène de convergence de deux fuseaux en un seul pôle cellulaire, conduisant à la formation de triades ou de dyades avec un noyau à $2n$ (Godoy *et al.*, 2012).
- **Chromosomes retardataires/précoces et ponts chromatiques** : Les chromosomes retardataires et précoces peuvent conduire à la formation de micronoyaux. Ces chromosomes non orientés résultent d'un défaut de liaison des fibres du fuseau au kinétochore (Godoy *et al.*, 2012). La télophase II avec des fragments de pont (Figure

25 c) est due à la séparation non correcte des chromosomes lors du passage à la télophase II (Kiihl *et al.*, 2011).

IV.3. La fertilité pollinique

L'estimation du taux de fertilité a été faite sur 25 populations dont 4 populations de *L. monelli* et 21 populations de *L. arvensis*. Les résultats sont présentés dans les Tableaux III-XI.

IV.3.1. *Lysimachia monelli*

Les taux de la fertilité sont peu élevés ($64.25 \pm 1,92\%$) chez la population de l'espèce *L. monelli* à fleurs rosâtres (FR) de Beni Mouhli, moins élevés ($57.36 \pm 18,14\%$ et $26,74 \pm 16,62\%$ et $60.16 \pm 15,76\%$) chez les trois populations de Piste Tizi-Ivawalan, Tizi-Maghlaz et Piste Alma-Ighil à petites fleurs bleues.

Ces baisses dans la fertilité pollinique peuvent être attribuées à la cytomixie assez fréquente observée pour cette espèce. Le fait que *L. monelli* est à floraison précoce avec une tendance à pousser en altitude ($> 800\text{m}$ d'altitude pour les populations étudiées) suggère que le froid aurait contribué à cette baisse de fertilité pollinique.

IV.3.2. *Lysimachia arvensis*

- **Grande fleur bleue**

Les taux de fertilité pollinique calculés sont quasiment tous élevés pour les populations de l'espèce *L. arvensis* abordées dans ce travail. Ils sont très élevés et varient entre $96.95 \pm 1,33\%$ et $91.71 \pm 8,65\%$ chez les populations de Taghzouy, Bordj-Mira, Targa Ouzemour. Ils sont élevés ($82.32 \pm 9,00\%$) chez la population d'Ighvane, peu élevée ($33.22 \pm 12,77\%$ et $32.71 \pm 14,47\%$) chez les populations de Tazrouy et El kseur et très faibles ($8.22 \pm 6,60\%$) chez la population Alma.

- **Fleur bleue moyenne**

Le taux de fertilité pollinique a été très élevé pour la population de El kseur ($94.88 \pm 2,06\%$) et un taux moins élevé chez la population de Thikhrvine ($34.23 \pm 6,03\%$).

- **Petite fleur bleue**

Les taux sont élevés ($88.21 \pm 8,61\%$ à $75.01 \pm 19,07\%$) chez les populations de Taghzouy, Beni Hafed et Targa Ouzemour, peu élevé ($59.30 \pm 6,23\%$) chez la population d'Amizour et faible ($33.24 \pm 8,56\%$) chez la population de Beni Ourtilane.

- **Petite fleur orange**

Les taux sont très élevés ($93.42 \pm 4,96\%$ à $84.29 \pm 1,84\%$) pour les populations de Beni Ourtilane, Aboudaou, Ait Mbarek, Amizour et Targa Ouzemour. Le taux est moins élevé ($42.62 \pm 3,44\%$) pour la population de Thisselli.

- **Petite fleur blanche**

Le taux de fertilité est un peu élevé ($63.42 \pm 27,77\%$) pour la population du Campus Targa Ouzemour.

Le taux de fertilité pollinique est affecté soit par les différentes anomalies méiotiques, telles que la cytomixie, les divisions asynchrones, les fuseaux irréguliers, soit par des facteurs environnementaux (température, stress et pollution) et génétiques (mutations des gènes) (Pagliarini, 2000).

IV.4. La taille des grains de pollen

La taille des grains de pollen, même si elle est variable, ne permet de nettement discriminer les deux espèces et leurs différents morphotypes. Ce qui est intéressant de retenir, est le fait que les tétraploïdes ($2n = 40$) ont tendance à monter de plus gros grains de pollen que les diploïdes ($2n = 20$). La polyploïdie est connue pour avoir tendance à augmenter la taille des cellules en accord avec l'augmentation de taille des noyaux (e.g. Tsukaya, 2013 ; Orr-Weaver, 2015 ; Katagiri *et al.*, 2016).

Le rapport axe polaire/axe équatorial est toujours légèrement supérieur à 1, dénotant une forme subsphérique des grains de pollen chez le matériel étudié comme il a été aussi rapporté dans la bibliographie pour le genre *Anagallis* et d'autres Primulacées (e.g. Moneim, 2003 ; Shiba, 2020).

CONCLUSION

Conclusion

Notre travail porte sur l'étude cytogénétique de deux espèces du genre *Lysimachia* (ex. *Anagallis*) de la famille des Primulaceae, *L. monelli* et *L. arvensis*. L'objectif du travail est d'analyser la méiose pollinique, dénombrer les chromosomes, relever les anomalies liées à la méiose, estimer des taux de fertilité et comparer la taille des grains de pollen chez les différentes populations étudiées.

Pour *L. monelli*, 4 populations ont été analysées. Les observations des plaques métaphasiques de la méiose ont révélé un seul cytotype à $n=10$ correspondant $2n=2x=20$ pour toutes les populations.

Concernant *L. arvensis*, 21 populations ont été étudiées. Les observations des méioses ont mis en évidence deux cytotypes :

- Un cytotype diploïde à $n=10$, correspondant à $2n=2x=20$ trouvé chez *L. arvensis* à grandes fleurs bleues (population de El Kseur, Targa Ozemour, Taghzouyeh, Bordj Mira, Alma, Ighvane et Tazrout), celui à fleurs bleues de taille moyenne (population de Thikhervine) et celui de petites fleurs bleues (population d'Amizour).
- Un cytotype tétraploïde à $n=20$, correspondant $2n=4x=40$ chez *L. arvensis* à petites fleurs oranges (population de Amizour, Beni Ourtilane, Aboudaou, Targa Ouzemour, Ait Mbark, Tisselli), celui à petites fleurs blanches (population de Targa Ozemour), celui à fleurs bleues moyennes (population d'El kseur) et celui à petites fleurs bleues (populations de Beni Hafed, Targa Ouzemour, Beni Ourtilane et Taghzouyeh).

L'analyse de la méiose a permis d'observer diverses anomalies chez les deux espèces *L. monelli* et *L. arvensis* : cytomixies, fuseaux irréguliers, divisions asynchrones, chromosomes retardataires/précoces, dyades, triades et une cellule à deux noyaux, en accord avec la variation de la fertilité pollinique entre des taux élevés et bas chez les différentes populations.

Concernant les taux de fertilité pollinique, leurs valeurs sont très variables d'une population à une autre. Ils vont de $26,74\pm 16,62\%$ à $62,92\pm 12,59\%$ chez *L. monelli* et de $8,22\pm 6,60\%$ à $96,95\pm 1,33\%$ chez *L. arvensis*.

La taille des grains de pollen, même si elle est variable, ne permet de nettement discriminer les deux espèces *L. monelli* et *L. arvensis* et leurs différents morphotypes liés à la couleur et la taille des fleurs. Cependant, les tétraploïdes à $2n = 40$ ont tendance à avoir de plus gros grains de pollen. Le rapport Axe polaire/Axe équatoriale est toujours légèrement supérieur à 1, montrant ainsi que les grains de pollen sont de forme subsphérique.

En perspective, il serait passionnant d'élargir les études cytogénétique sur les mitoses des populations de *L. arvensis* et *L. monelli* pour réaliser les caryotypes. Il serait aussi intéressant d'approfondir l'étude des anomalies méiotiques trouvées, notamment pour *L. monelli*, pour tenter d'identifier leur origine.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Références bibliographiques

- Abdel Moneim, Aboel Atta I. I., Shehata A.A., (2003).** On the Delimitation of *Anagallis arvensis* L. (Primulaceae) 1. Evidence Based on Macromorphological Characters, Palynological Features and Karyological Studies. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 6: 29-35.
- Aksic M. F., Cerovic R., Ercisli S., Jensen M. (2016).** Microsporogenesis and meiotic abnormalities in different ‘Oblacinska’ sour cherry (*Prunus cerasus* L.) clones. *Flora* 219: 25-34.
- Anderberg A.A., Manns U., Kallersjo M. (2007).** Phylogeny and floral evolution of the Lysimachieae (Ericales, Myrsinaceae): evidence from ndhF sequence data. *Willdenowia* 37 (2): 407-421.
- APG II, (2003).** The Angiosperm Phylogeny Group: An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the Orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 399-436.
- APG III, (2009).** The Angiosperm Phylogeny Group: An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the Orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161(2): 105–121.
- Bai Y.H., Zhang S.Y., Guo Y., Tang Z. (2020).** Conservation status of Primulaceae, a plant family with high endemism in China. *Biological Conservation* 248: 108675.
- Baskose I., keskin A., Gurbanov K. (2016).** *Lysimachia savranii* (Primulaceae), a new species from the eastern Taurus in Turkey. *Phytotaxa* 267 (3): 228–232.
- Bedini G., Ansaldi M., Garbari F. (2007).** Mapping and demography of endangered plants in the Apuan Alps, NW Tuscany, Italy. *Boccone* 21: 27-44.
- Blanca G., Cabezudo B., Cueto M., Fernández López C., Morales Torres C. (2009).** Flora Vasculare de Andalucía Oriental, Volumen 3, Consejería de Medio Ambiente. Juntade Andalucía, 460 p.

- Damião D.N.P., Gonçalves S., Andréia R.A-P., Adriele F d.C., Mariza B.R., Odair A ., Claudicéia R.-P. (2014).** Analysis of meiotic behavior in *Cordia calyculata* Vell. (Boraginaceae). *Revista Biotemas*, 27 (4): 21-27.
- Dobignard A., Chatelain C., Fischer M. (2013).** Dicotyledoneae: Oleaceae – Zygophyllaceae. Ed. Des Conservatoire et Jardin Botaniques, Genève, 451 p..
- Douville C., Huset P. (2013).** Guide des plantes messicoles de haute- Normandie et de l’Eure, Département de l’Eure. Evreux. 68 pages.
- Dridi R., Essghaier B., Hannachi H., Khedher G., Chaffei C., Zid M.F. (2022).** Biosynthesized silver nanoparticles using *Anagallis monelli*: Evaluation of antioxidant activity, antibacterial and antifungal effects. *Journal of Molecular Structure* 1251: 132076.
- Fenech M., Kirsch V. M., Natarajan A. T, Surralles J., Crott J. W., Parry J., Norppa Y.. H, Eastmond D. A., Tucker J. D. and Thomas P. (2011).** Molecular mechanisms of micronucleus, nucleoplasmic bridge and nuclear bud formation in mammalian and human cells. *Mutagenesis* 26(1) : 125–132.
- Fennane M., IbnTattou M., Mthez J., Ouyahya A., El walidi J. (1999).** Flore Pratique du Maroc, Pteridophyta, Gymnospermae, Angiosperme (Lauraceae- Neuradaceae), Vol 1. Agdal, Rabat.
- Ferguson L.F. (1972).** *Lysimachia* L. in Tutin, T.G. et al. eds. *Flora Europaea* 3: 26-27.
- Freyre R. (2007).** ANAGALLIS: *Anagallis monellii*. Anderson (ed.), *Flower Breeding and Genetics*, 225–239.
- Freyre R., Griesbach R.J.(2004).** Inheritance of Flower Color in *Anagallis monelli* L. *HortScience* 39(6): 1220-1223.
- Godoy S. M., Pereira A. R. A., Romagnolo M. B., Risso-Pascotto C. (2012).** Meiotic behavior during microsporogenesis of *Alchornea triplinervia* (Sprengel) Müller *Argoviensis. Ciência Rural* 425(6):. 1027-1032.
- Jahier, J., Chever, A. M., Eber, F., Delourne, R., Tanguy, A.M. (1992).** Techniques de la Cytogénétique végétale. Ed. INRA, Paris, 183 p.
- Jimenez- Lopez F.J., Viruel J., Arista M., Ortiz P.L., Talavera M. (2022).** Molecular approaches reveal speciation between red-and-blue-flowered plants in Mediterranean

Lysimachia arvensis and *L. monelli* (Primulaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 199(2): 1-21.

Katagiri, Y.; Hasegawa, J.; Fujikura, U.; Hoshino, R.; Matsunaga, S.; Tsukaya, H. (2016). The coordination of ploidy and cell size differs between cell layers in leaves. *Development* 143(7): 1120–1125. doi:10.1242/dev.130021

Kühl P. R. P., Pereira A. R. A., Godoy S. M., Stenzel N. M. C., Pascotto C.P. (2011). Chromosome stickiness during meiotic behavior analysis of *Passiflora serrato-digitata* L. (PASSIFLORACEAE). *Biology Ciência Rural* 41(6):.1018-1023.

Kim J S., Oginuma K., Tobe H., (2009). Syncyte formation in the microsporangium of *Chrysanthemum* (Asteraceae): a pathway to infraspecific polyploidy. *J Plant Res* 122:439–444.

Laberche J.-C., (2010). Biologie végétal 3ed. Dundo, Paris, 295 p.

Lavinsky M.P., Souza M.M., Silva G.S., Melo C.A.F. (2017). Contributions of classical and molecular cytogenetic in meiotic analysis and pollen viability for plant breeding. *Genetics and Molecular Research*, 16 (3) : gmr16039582

Liu K., Hong X., Zhou .S.B., Cheng Y.S., Tang C.F., Xu G.J. (2014). A new species of *Lysimachia* (Myrsinaceae) from Dabieshan Mountain, China. *Plant Syst Evol*, 300:1615–1620.

López V., Jäger A.K., Akerreta S., Cavero R.Y., Calvo M.I. (2011). Pharmacological properties of *Anagallis arvensis* L. (“scarlet pimpernel”) and *Anagallis foemina* Mill. (“blue pimpernel”) traditionally used as wound healing remedies in Navarra (Spain). *Journal of Ethnopharmacology*, 134 (3): 1014-1017.

Love A. & Love D. (1975). Plant chromosomes. T1. Ed. Cramer.184p.

Malallah G.A., Masood M., Al-Dosari M. (2001). Chromosome numbers of the Kuwaiti flora, III. *Willdenowia* 31 (2): 411-418.

Manns U., Anderberg A.A. (2009). New combinations and names in *Lysimachia* (Myrsinaceae) for species of *Anagallis*, *Pelletiera* and *Trientalis*. *Willdenowia* 39(1): 49-54.

Mandal A., Datta A. K., Gupta S., Paul R., Saha A., Ghosh B. K., Bhattacharya A., Iqbal M. (2013). Cytomixis—a unique phenomenon in animal and plant. *Protoplasma* 250: 985–996.

Mertens T. R. & Hamnersmith R. L. (1998). Genetics, Laboratory investigations, Eleventh edition, Prentice Hall inc., Upper Saddle River, New Jersey, 275 p.

Orr-Weaver, Terry L. (2015). When bigger is better: the role of polyploidy in organogenesis. *Trends in Genetics* 31(6): 307–315. doi:10.1016/j.tig.2015.03.011

Pagliarini M.S. (2000). Meiotic behavior of economically important plants species: the relationship between fertility and male sterility. *Genetics and molecular biology* 23(4): 997-1002.

Quézel P. et Santa., (1962). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome 1, Ed. CNRS, 558p.

Quintana A., Freyre R., Davis T.M., Griesbach R.J. (2008). Genetic Studies of Flower Color in *Anagallis monelli* L. *HortScience* 43(6): 1680-1685.

Rice, A., Glick, L., Abadi, S., Einhorn, M., Kopelman, N.M., Salman-Minkov, A., Mayzel, J., Chay, O., Mayrose, I. (2015). The Chromosome Counts Database (CCDB), a community resource of plant chromosome numbers. *New Phytol.* 206, 19–26.

Roch M.J., McCowan C.I., Kelly J.C. (2012). Suspected poisoning of cattle by scarlet pimpernel (*Lysimachia arvensis* L.). *Australian Veterinary Journal* 90(7): 269-271.

Shiha M. A. (2020). Taxonomic significance of stamens and pollen morphology of some selected taxa of Primulaceae in Egypt. *Taekholmia* 40: 1-11

Sidorchuk Y, Novakovskaya A. A et Deineko E. V. (2015). Cytomixis in the cereal (Gramineae) microsporogenesis. *Protoplasma.* 253: 291-298.

Singhal V. K. and Kumar P. 2008. Impact of cytomixis on meiosis, pollen viability and pollen size in wild populations of Himalayan poppy (*Meconopsis aculeata* Royle); *J. Biosci.* 33; 371–380.

Sood A., Kumar B., Singh S.K., Prashar P., Gautam A. (2020). Flavonoids as Potential Therapeutic Agents for the Management of Diabetic Neuropathy. *Current Pharmaceutical Design* 26(42): 5468-5487.

Šveřepová G. (1968). Zur Zytotaxonomie der Art *Anagallis arvensis* L. *Preslia* 40: 143-146.

Šveřepová G. (1970). Analyse der morphologischen Merkmale einiger Taxa der Gattung *Anagallis* L. (Experimentel taxonomische Studie). *Preslia* 42: 350-372.

Talavera S., Gibbs P.E., Fernandez- piedra M.P., Ortiz- herrera. (2001). Genetic control of self-incompatibility in *Anagallis monelli* (Primulaceae: Myrsinaceae). *Heredity* 8 (5): 589-597.

Tsukaya H. (2013). Does Ploidy Level Directly Control Cell Size? Counter evidence from Arabidopsis Genetics. *PLoS ONE* 8(12): e83729. doi:10.1371/journal.pone.0083729

Xu Z., Chang L., Xu Z. (2017). Identification and Control of Common Weeds: Volume 3, Primulaceae. Springer Singapore, Singapore, pp. 51-81.

Zhang Y., Lespinasse Y., Salesses G., (1988). Etude Cytogénétique de Quelques Clones Diploïdes et Polyploïdes de Pommier (*Malus domestica* Borkh.) Considérations quant à l'origine du pommier. *Cytologie* 53: 749-755.

**Etude cytogénétique de *Lysimachia monelli* (L.) U. Manns & Andreb.
Et *L. arvensis* (L.) U. Manns & Andreb de la région de Bejaïa**

Résumé : L'étude porte sur 21 populations de *Lysimachia arvensis* et 4 populations de *L. monelli*. Des boutons floraux fixés in situ ont été utilisés pour les observations de méioses et des mitoses dans les jeunes anthères. Pour l'étude de la fertilité pollinique, des fleurs avant anthèses ont été utilisées. Les chromosomes ont été colorés à l'orcéine lactopropionique, et les grains de pollen au bleu de coton. Les dénombrements chromosomiques sur des plaques métaphasiques de la méiose ont révélé un seul cytotype à $2n=2x=20$ ($x = 10$) pour les populations de *L. monelli* et deux cytotypes pour les populations de *L. arvensis*: un cytotype diploïde à $2n=2x= 20$ et un cytotype tétraploïde à $2n=4x=40$ ($x= 10$). Les principales anomalies méiotiques observées sont les cytomixies, les fuseaux irréguliers, les divisions asynchrones, les chromosomes retardataires/précoces, les dyades, les triades. Les taux de fertilité pollinique sont très variables d'une population à une autre. Ils vont de $26,74\pm 16,62\%$ à $62,92\pm 12,59\%$ chez *L. monelli* et de $8,22\pm 6,60\%$ à $96,95\pm 1,33\%$ chez *L. arvensis*. Les grains de pollen sont de forme subsphérique pour tout le matériel analysé avec la tendance des tétraploïdes à montrer de plus gros grains de pollen que les diploïdes.

Mots clés : *Lysimachia arvensis*, *Lysimachia monelli*, méiose, nombres chromosomiques, anomalies méiotiques, pollen.

**Cytogenetic study of *Lysimachia monelli* (L.) U. Manns & Andreb.
And *L. arvensis* (L.) U. Manns & Andreb from the Bejaïa region**

Abstract: The study covers 21 populations of *Lysimachia arvensis* and 4 populations of *L. monelli*. Flower buds fixed in situ were used for observations of meiosis and mitosis in young anthers. For the study of pollen fertility, flowers before anthesis were used. Chromosomes were stained with lactopropionic orcein, and pollen grains with cotton blue. Chromosomal counts on meiotic metaphase plates revealed a single cytotypic with $2n=2x=20$ ($x=10$) for *L. monelli* populations and two cytotypes for *L. arvensis* populations: a diploid cytotypic with $2n= 2x= 20$ and a tetraploid cytotypic with $2n=4x=40$ ($x=10$). The main meiotic abnormalities observed are cytomixies, irregular spindles, asynchronous divisions, late/early chromosomes, dyads, triads. Pollen fertility rates vary greatly from one population to another. They range from $26.74\pm 16.62\%$ to $62.92\pm 12.59\%$ in *L. monelli* and from $8.22\pm 6.60\%$ to $96.95\pm 1.33\%$ in *L. arvensis*. Pollen grains are subspherical in shape for all the analyzed material with tetraploids tending to show larger pollen grains than diploids.

Key words: *Lysimachia arvensis*, *Lysimachia monelli*, meiosis, chromosome numbers, meiotic abnormalities, pollen.

الدراسة الوراثية الخلوية ل *Lysimachia monelli* (L.) U. Manns & Andreb و *Lysimachia arvensis* (L.) U. Manns & Andreb في منطقة بجاية

الخلاصة : تغطي الدراسة 21 مجموعة من *Lysimachia arvensis* و 4 مجموعات من *L. monelli*. تم استخدام براعم الزهور المثبتة في الموقع لملاحظة الانقسام الاختزالي والانقسام في الجمرة الصغيرة. لدراسة خصوبة حبوب اللقاح، تم استخدام الزهور قبل التخليق. كانت الكروموسومات ملطخة بأورسين لاكتوبروبيونيك، وحبوب اللقاح باللون الأزرق القطني. كشفت تعداد الكروموسومات على لوحات الطور الانتصافي عن نمط خلوي واحد مع $2n = 2x = 20$ ($x = 10$) لمجموعات *L. monelli* ونمطين خلويين لمجموعات *L. arvensis*: نمط خلوي ثنائي الصبغة مع $2n = 2x = 20$ ونمط خلوي رباعي الصبغات مع $2n = 4x = 40$ ($x = 10$). التشوهات الرئيسية التي لوحظت هي الخلطات الخلوية، والمغازل غير المنتظمة، والانقسامات غير المتزامنة، والكروموسومات المتأخرة / المبكرة، والثنائيات، والثلاثيات. تختلف معدلات خصوبة حبوب اللقاح بشكل كبير من مجموعة سكانية إلى أخرى. وتتراوح من $26.74 \pm 16.62\%$ إلى $62.92 \pm 12.59\%$ في *L. monelli* ومن $8.22 \pm 6.60\%$ إلى $96.95 \pm 1.33\%$ في *L. arvensis*. حبوب اللقاح هي شبه كروية في الشكل لجميع المواد التي تم تحليلها مع tetraploids تميل إلى إظهار حبوب لقاح أكبر من مثبطات الصبغات.

الكلمات المفتاحية: *Lysimachia monelli*، *Lysimachia arvensis*، الانقسام الاختزالي، أعداد الكروموسومات، تشوهات الانقسام الاختزالي، حبوب اللقاح.