

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT**  
**FACULTE DES SCIENCES**  
**DEPARTEMENT DE BIOLOGIE**



**Mémoire**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER**  
**EN : SCIENCES DE LA NATURE**  
**Spécialité : Ecologie Végétale**  
**Option : Dynamique des écosystèmes et environnement**

**par**

**MOULAI Zoulikha**

**Thème :**

**Caractérisation systématique et cytogéographique de Liliales et  
Asparagales des zones steppiques**

Soutenu publiquement, le 18 décembre 2014, devant le jury composé de :

M. OUINTEN Mohammed, Maître de Conférence A, UATL	Président
M. AMIROUCHE Rachid, Professeur , USTHB	Rapporteur
Mme AMIROUCHE Nabila, Professeur, USTHB	Examinatrice
Mme KADIK Lila, Professeur, USTHB	Examinatrice

Promotion: 2011/2012



## Résumé

Cette étude a pour objectif de mettre en exergue l'apport des données cytotauxonomiques et de la polyploïdie comme indicateurs de la biodiversité. Elle repose sur quelques espèces steppiques des genres *Gagea* Salisb. (Liliaceae), *Iris* L. (Iridaceae) et *Allium* L. (Amaryllidaceae). Les résultats caryologiques originaux, indiquent la manifestation d'une forte polyploïdie. Chez *Gagea*, les deux nombres trouvés,  $2n = 24$  et  $2n = 30$  indiquent des niveaux tétra et pentaploïde, avec un nombre de base  $x = 6$ . Chez *Moraea sisyrinchium* (L.) Ker Gawl. (= *Iris sisyrinchium* L.) les dénombrements chromosomiques montrent également une polyploïdie avec  $2n = 4x = 24$  et  $x = 6$ . Chez *Allium cupani* Raf., deux nombres chromosomiques de base,  $x = 7$  et  $x = 8$ , indiquent une dysploïdie en rapport avec deux unités infra spécifiques : subsp. *hirtovaginatatum* et subsp. *cupani*. Les résultats sont discutés dans le contexte de spéciation et de distribution biogéographique des espèces.

**Mots clés** : cytotauxonomie, cytogéographie, polyploïdie, carrefours biogéographiques, steppe.

## Abstract

This study aims to put forward the contribution of the cytotauxonomic data and the polyploidy as indicators of the biodiversity. It is based on some steppe species of genus *Gagea* Salisb. (Liliaceae), *Iris* L. (Iridaceae) and *Allium* L. (Amaryllidaceae). The karyological results are original and characterized by strong polyploidy. In *Gagea*, Two cytotypes are reported,  $2n = 24$  and  $2n = 30$ , indicate tetraploid and pentaploid levels with  $x = 6$  as basic chromosome number. For *Moraea sisyrinchium* (L.) Ker Gawl. ( $\equiv$  *Iris sisyrinchium* L.), chromosomal counts also show polyploidy with  $2n = 4x = 24$ , basic chromosome number is  $x = 6$ . In *Allium cupani* Raf., another polyploid complex, two basic numbers are found  $x = 7$  and  $x = 8$  indicate dysploidy belonging to the two subspecies *hirtovaginatatum* and *cupani*. The results are discussed in the context of the speciation and biogeography species.

**Keywords**: cytotauxonomy, cytogeography, polyploidy, biogeographic crossroads, steppe

## *Avant propos*

*Ce travail a été réalisé au laboratoire de Biologie et Physiologie des Organismes, Equipe Biosystématique, Génétique et Evolution (LBPO, USTHB) dans le cadre du Projet « Asparagales-Lilliales » sous la Direction de M. Amirouche Rachid. Professeur à l'USTHB, à qui je tiens à exprimer ma gratitude pour m'avoir accepté au sein de son laboratoire, et d'avoir mis à ma disposition tous les moyens matériels et techniques Je le remercie également de m'avoir accordé sa patience, ses connaissances et ses conseils.*

*Ma reconnaissance va également à Mme Amirouche Nabila. Professeur à l'USTHB qui s'est toujours intéressée à la progression de ce travail et pour tous ses conseils précieux et pratiques.*

*Ainsi que pour avoir accepté de faire partie du jury.*

*Mes vifs remerciements s'adressent également à M. Ouinten Mohamed., Maître de conférences à l'UATL, qui a fait partie de mon encadrement pédagogique et qui, malgré ses autres charges, a bien voulu accepter la présidence de ce jury.*

*Je tiens à exprimer mon profond respect à Mme Kadik Lila Professeur à l'USTHB, et responsable de l'Ecole Doctorale Ecologie Végétale à laquelle je suis intégrée, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je suis très reconnaissante à Mme Azizi Nadjat qui m'a consacré beaucoup de son temps si précieux et de son savoir. Qu'elle trouve ici ma gratitude pour son amitié précieuse. Ma sympathie va aussi à M. Chikh Salah Abdelhadi pour m'avoir initié au logiciel informatique « MicroMeasure », j'apprécie particulièrement sa rigueur et sa détermination.*

*Il serait long de nommer tout le monde, mais je tiens à remercier chaleureusement, toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et tous ceux qui m'ont apporté un soutien multiforme. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.*

*A mes parents,*

*A la mémoire de ma tendre tante Anissa Messili.*

# SOMMAIRE

	<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
	<b>GENERALITES</b>	
1.	Diversité végétale méditerranéenne	<b>3</b>
2.	Origine de la flore méditerranéenne	<b>4</b>
3.	Zones refuges en méditerranée	<b>4</b>
4.	Notion d'endémisme	<b>6</b>
5.	Notion de la steppe	<b>7</b>
5.1.	Délimitation de la steppe algérienne	<b>8</b>
5.2.	Caractéristiques bioclimatiques et pédologiques de la steppe	<b>9</b>
5.3.	Eléments de phytogéographie et de structure de la végétation steppique	<b>10</b>
5.4.	Vulnérabilité et dégradation des écosystèmes steppiques	<b>11</b>
6.	La polyploïdie	<b>11</b>
6.1	Définition et rôle de la polyploïdie	<b>12</b>
6.2	Classification des polyplodes	<b>12</b>
6.3	Polyploïdie et spéciation	<b>14</b>
	<b>MATERIEL &amp; METHODES D'ETUDES</b>	
1.	Matériel	<b>15</b>
1.1.	Echantillonnage et origine du matériel	<b>15</b>
1.2.	Identification des échantillons	<b>19</b>
2.	Méthodes	<b>18</b>
2.1.	Critères morphologiques	<b>18</b>
2.1.1.	Analyse de la variabilité morphologique et choix des caractères étudiés	<b>18</b>
2.1.2.	Traitement des données	<b>21</b>
2.2.	Critères caryologiques	<b>22</b>
2.2.1.	Protocole expérimental	<b>22</b>
2.2.2.	Etablissement des caryotypes et des idiogrammes	<b>25</b>
	<b>RESULTATS &amp; DISCUSSION</b>	
1.	Variabilité et relations interspécifiques dans le genre <i>Gagea</i>	<b>26</b>
1.1.	Déterminations taxonomiques	<b>26</b>
1.2.	Analyses morphologiques	<b>29</b>
1.3.	Analyses caryologiques	<b>36</b>
1.3.3.	Discussion	<b>39</b>
2.	Variabilité et relations interspécifiques dans le genre <i>Iris</i>	<b>41</b>
2.1	Déterminations taxonomiques	<b>41</b>
2.2.	Analyses caryologiques	<b>43</b>
2.3.	Discussion	<b>45</b>
3.	Variabilité et relations interspécifiques dans le genre <i>Allium</i>	<b>47</b>
3.1.	Déterminations taxonomiques	<b>47</b>
3.2.	Analyses caryologiques	<b>49</b>
3.3.	Discussion	<b>52</b>
	<b>CONCLUSION</b>	<b>53</b>
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>55</b>
	<b>ANNEXE</b>	<b>63</b>

## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1: Principales zones refuges de la région méditerranéenne mises en évidence par les études phylogéographiques (source: Médail & Diadema, 2009).	5
Figure 2 : Délimitation de la steppe algérienne (modifié d'après Mohammedi, 2006).	8
Figure 3 : Carte des étages bioclimatiques de l'Algérie (source: Nedjraoui & Bédrani, 2008).	9
Figure 4 : Localisation des sites de récoltes sur la carte bioclimatique simplifiée (modifiée d'après Nedjraoui & Bédrani, 2008).	16
Figure 5. Localisation sur un individu de <i>Gagea</i> des caractères morphologiques utilisés dans les analyses multivariées.	19
Figure 6 : Photographies des espèces de <i>Gagea</i> prises sur le terrain, fleurs et bulbes.	27
Figure 7 : Analyses en Composantes Principales basées sur les caractères morphologiques de 51 individus des 5 populations appartenant aux 3 espèces de <i>Gagea</i> .	30
Figure 8 : Analyse factorielle des correspondances des populations de <i>Gagea</i> .	33
Figure 9 : Dendrogramme des distances euclidiennes entre les individus du genre <i>Gagea</i> .	35
Figure 10 : Métaphase et caryotype de <i>Gagea reticulata</i> ( $2n = 2x = 24$ ).	36
Figure 11 : Métaphases somatiques de <i>Gagea sp.</i> Population de Sidi Aissa, $2n = 28$ , $2n = 30$ .	37
Figure 12 : Idiogramme du cytotype à $x = 6$ ( <i>Gagea sp.</i> ).	38
Figure 13 : Photographies prises sur le terrain d' <i>Iris sisyrinchium</i> de la station de Sidi Aissa.	42
Figure 14 : Différentes métaphases somatiques chez <i>I.sisyrinchium</i> avec $2n = 24$ chromosomes, (a, b) Boughezoul; (c, d) Sidi Aissa.	43
Figure 15 : Idiogramme haploïde d' <i>Iris sisyrinchium</i> ( $n = 12$ ).	44
Figure16 : Photographies d' <i>Allium cupani</i> subsp. <i>hirtovaginatatum</i> de la station de Boughezoul. Plante (a), bulbe (b) et inflorescence (c).	48
Figure17 : Différentes métaphases somatique chez <i>A. cupani</i> (a,b) population Boughezoul avec $2n = 14$ chromosomes; (c, d ) Sour El Ghozlane $2n = 16$ .	49
Figure 18 : Idiogramme haploïde d' <i>Allium cupani</i> a : $n = 7$ ; b : $n = 8$ .	51

## LISTE DES TABLEAUX

	Page
<b>Tableau 1</b> : Caractéristiques des stations.	<b>16</b>
<b>Tableau 2</b> : Caractères morphologiques utilisés dans les analyses multivariées	<b>20</b>
<b>Tableau 3</b> : Récapitulatif des différentes étapes du protocole testé de Jahier <i>et al.</i> (1992).	<b>25</b>
<b>Tableau 4</b> : Valeurs propres et taux d'inertie de l'ACP des populations de <i>Gagea</i> pour les quatre premières composantes.	<b>29</b>
<b>Tableau 5</b> : Valeurs propres et taux d'inertie de l'AFC de <i>Gagea</i> pour les 4 premiers axes factoriels.	<b>32</b>
<b>Tableau 6</b> : Paramètres statistiques du cytotype $2n = 30, x = 6$ de <i>Gagea sp.</i>	<b>38</b>
<b>Tableau 7</b> : Paramètres statistiques pour l'établissement de l'idiogramme d' <i>Iris sisyrinchium</i> $2n = 24$ .	<b>44</b>
<b>Tableau 8</b> : Paramètres statistiques pour l'établissement de l'idiogramme d' <i>Allium cupani</i> .	<b>50</b>

# **INTRODUCTION**

La région méditerranéenne est reconnue comme l'un des principaux centres de diversité biologique et d'endémisme (Médail & Quézel, 1997 ; Médail & Diadema, 2009). Dans cette région, l'Afrique du Nord est remarquable par la mise en place des chaînes atlasiques et par son impressionnant gradient bioclimatique; l'Algérie y occupant une position particulière et devrait offrir des opportunités pour l'évaluation et la compréhension des mécanismes de diversification et d'adaptation des plantes.

Si en Algérie tellienne, les secteurs humides et subhumides, sont particulièrement étudiés et que de nouveaux hotspots y sont identifiés (Véla & Benhouhou, 2007) avec une fonction de refuge pour de nombreuses espèces (Naciri *et al.*, 2010), les zones steppiques sont en revanche bien moins connues. Pourtant la steppe algérienne constitue une vaste aire naturelle qui met en contact les éléments de la flore méditerranéenne à ceux d'origine saharo-sindienne et tropicale.

Le sujet proposé dans cette étude, s'intègre dans ce contexte et vise à la connaissance de la diversité des espèces de la steppe algérienne en se focalisant sur des analyses taxonomiques et cytogénétiques de quelques plantes à bulbe appartenant aux genres *Gagea*, *Iris* et *Allium*.

Ces plantes constituent de part leur rareté et leur vulnérabilité, une bonne illustration de l'intérêt des données caryologiques dans la délimitation des espèces et les liens écologiques et génétiques qui les unissent (Amirouche & Misset, 2009). Ce sont des monocotylédones pétaloïdes appartenant à deux principaux ordres, les Liliales et les Asparagales, qui constituaient un ensemble artificiel avant d'être séparés récemment par les phylogénies moléculaires. Ce groupe de plantes a fait l'objet ces dernières années de très nombreuses révisions avec de profonds changements taxonomiques et nomenclaturaux à tous les niveaux supra et infraspécifique (APG III, 2009).

En dépit d'une histoire botanique très riche (Desfontaines, 1798 ; Poiret, 1786 ; Munby, 1847 ; Battandier & Trabut, 1884-1902 ; Maire, 1953-1985 ; Quézel & Santa, 1962-1963), les travaux de mise à jour de la Flore d'Algérie intégrant des données de systématique moderne, sont rares et sporadiques. Si les études floristiques sont relativement satisfaisantes, très peu de révisions ont pris en compte des données nouvelles cytotaxonomiques et moléculaires à l'instar des autres flores de la région méditerranéenne. En effet, le nombre de chromosomes, la structure du caryotype et notamment la polyploïdie (taille du génome, aneuploïdie...) sont indispensables à la

compréhension de la diversité taxonomique, de l'évolution et de la structuration écogéographique des espèces comme cela est souligné dans des études sur des Hyacinthaceae et Alliaceae d'Algérie (Hamouche *et al.*, 2010 ; Khedim *et al.*, 2010).

Le présent travail sera circonscrit à des espèces des genres *Gagea*, *Iris* et *Allium* ; il reposera sur un échantillonnage de populations essentiellement dans les secteurs biogéographiques des Hauts-plateaux. A ces populations et espèces seront appliquées des analyses morphologiques et cytogénétiques (caryotypes, polyplœidie). Les résultats devraient contribuer à l'actualisation taxonomique des groupes analysés et constituer des éléments de base sur la connaissance de la flore steppique, son origine et son évolution.

Après les chapitres sur des généralités au sujet de la flore méditerranéenne et la steppe algérienne et sur les méthodes d'études, nous exposerons successivement pour chaque taxon étudié:

- la définition taxonomique et nomenclaturale, notamment la nouvelle position systématique des taxons algériens.
- l'évaluation de variabilité phénotypique par des analyses multivariées,
- les caractéristiques caryotypiques : dénombrements chromosomiques, structure du caryotype, détermination du niveau de ploïdie.

Enfin, une dernière partie sera consacrée à la conclusion générale et aux perspectives qui découlent de ce travail.

# **GENERALITES**

## 1. Diversité végétale méditerranéenne

La méditerranée figure parmi les régions les plus riches du monde en terme de richesse floristique, cette dernière est estimée à 25000-30000 espèces et sous-espèces, soit environ 10 % des végétaux supérieurs de la planète, présents sur seulement 1,6 % de la surface terrestre (Médail & Quézel, 1997) avec un taux d'endémisme important, avoisinant 50%.

Cependant, cette richesse n'est pas distribuée de façon homogène du fait des facteurs historiques et paléogéographiques. En conséquence, dix points-chauds régionaux de biodiversité ont été identifiés (Médail & Quézel, 1997 ; Véla & Benhouhou, 2007). Ces derniers se concentrent sur les grandes îles méditerranéennes (Baléares, Corse, Sardaigne, Sicile, Crète et Chypre) et sur les sommets de montagnes (Sierras d'Andalousie, Atlas et Rif marocains, Djurdjura-Kabylie, Alpes maritimes et ligures, Taurus...).

L'histoire géologique particulièrement mouvementée de cette région et les fortes variations climatiques survenues depuis le Pliocène il y a 2 millions d'années, constituent des facteurs clés expliquant cette importante biodiversité (Thompson, 2005).

Située au point de jonction entre les vestiges des deux anciens « super-continentes », la Laurasie et le Gondwana, séparés depuis 200 millions d'années, la région méditerranéenne a été peuplée à partir de ces deux ensembles. Son fond floristique se compose d'éléments de souche tropicale, principalement d'affinité asiatique et d'éléments extratropicaux, de souche euro-méditerranéenne (Médail *et al.*, 2012).

L'individualisation d'îles et d'isthmes liée au déplacement de diverses microplaques tectoniques dans cette région depuis au moins 140 Ma (début du Crétacé) a rendu possible de nombreux échanges entre ces deux ensembles. Cette paléogéographie complexe a également permis le développement d'une riche flore endémique, à la faveur de l'isolement plus ou moins marqué des différentes régions, et de l'extrême hétérogénéité des substrats, de la géomorphologie, mais aussi du climat (Verlaque *et al.*, 1997).

En méditerranée les cycles glaciaires / interglaciaires du Pléistocène et la crise de salinité du Messinien, sont deux événements qui se dégagent parmi les processus macroécologiques majeurs (Médail & Quézel, 1997) et qui sont déterminants dans la structuration des espèces, leur évolution et leur endémisme.

## 2. Origine de la flore méditerranéenne

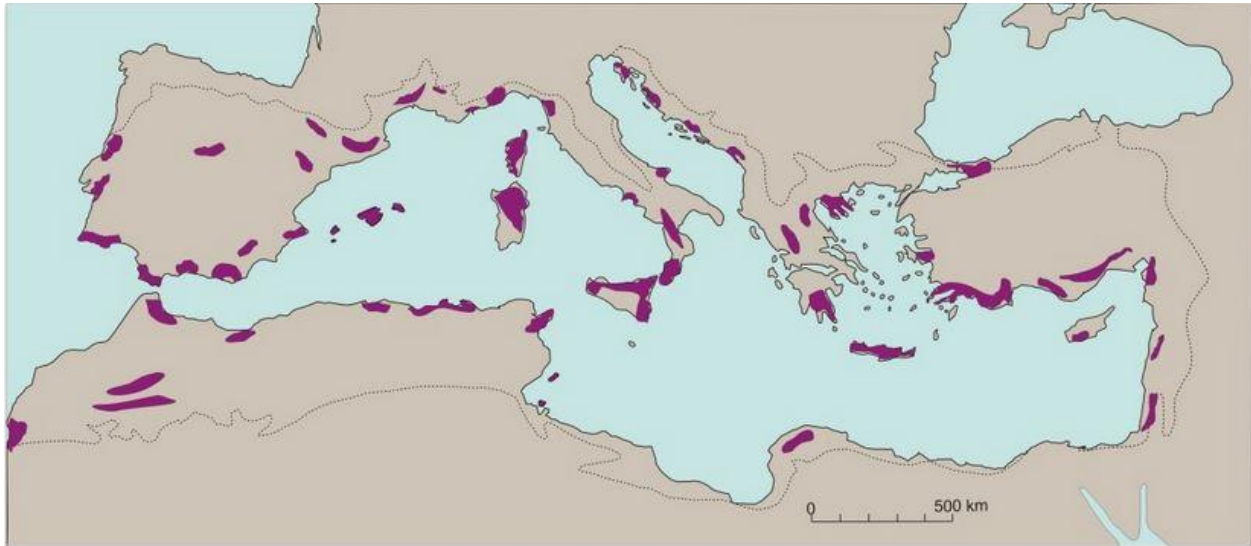
Selon Médail *et al.* (2012), l'origine de la flore méditerranéenne remonte au Néogène, deuxième période du Cénozoïque (Tertiaire). C'est précisément au Miocène (entre 23 et 5 Ma) et au Pliocène (entre 5 et 1,8 Ma), que se seraient diversifiées les espèces structurantes de la végétation de type méditerranéen (*Pinus*, *Quercus*, *Olea*, *Phillyrea*, *Cistus*, etc.). C'est précisément entre 3,5 et 2,4 Ma que se met en place le climat méditerranéen caractérisé par un renforcement du contraste des saisons. A partir de 1,8 Ma, se sont les variations importantes de température qui ont joué un rôle majeur dans l'extinction des végétaux tempérés-chauds qui prospéraient jusqu'alors. Toutefois, certains arbres relictuels plus mésophiles (adaptés à des températures plus modérées), tels que le *Cotoneaster atlanticus*, *Juniperus thurifera* et les *Taxus baccata*, persistent encore aujourd'hui, en particulier dans plusieurs zones refuges tertiaires du pourtour méditerranéen (Médail *et al.*, 2012). Enfin, les fluctuations climatiques (alternance des cycles glaciaires-interglaciaires) qui se sont produites au quaternaire ont contribué aux modifications des transformations des paysages. De ce fait les migrations ou les isolements successifs des flores entre les diverses régions, ont favorisé et accéléré les phénomènes de spéciation en permettant l'émergence de nouvelles espèces (Médail *et al.*, 2012).

## 3. Zones refuges en méditerranée

Le climat terrestre a plus d'une fois basculé, depuis l'ère tertiaire. En Méditerranée on relève notamment quatre époques de forte glaciation depuis sept cent mille ans, entrecoupées de périodes interglaciaires. Avec pour conséquences d'intenses variations de température (une quinzaine de degrés) et de pluviométrie (du simple au double), qui auraient pu entraîner la disparition d'une forte proportion de la flore, si les plantes n'avaient pu se trouver des abris.

Les refuges sont souvent associés à des zones montagneuses, insulaires, des gorges, où la topographie locale a amorti les variations climatiques (Médail & Diadema, 2009). Ces refuges ont ensuite permis une reconquête géographique pour les espèces les plus aptes à la dispersion, ou sont devenus des réservoirs pour les espèces endémiques. C'est à partir d'un ensemble de données génétiques d'espèces méditerranéennes que Médail et Diadema (2009) ont délimité plus de cinquante zones refuges périméditerranéennes (Fig. 1). Il existe une congruence spatiale significative entre ces cinquante-deux refuges et les zones majeures de biodiversité méditerranéenne : la totalité des territoires à fort taux d'endémisme végétal est incluse dans les

refuges identifiés et la moitié des refuges est englobée dans les dix points-chauds régionaux de richesse floristique. Ces résultats suggèrent que des mécanismes évolutifs et biogéographiques similaires ont eu une influence déterminante sur la biodiversité actuelle, et expliquent les congruences entre secteurs riches en endémiques et zones d'originalité génétique.



**Figure 1:** Principales zones refuges de la région méditerranéenne mises en évidence par les études phylogéographiques (source : Médail & Diadema, 2009).

Les études phylogéographiques de ces dernières années montrent la complexité du fonctionnement de ces zones refuges. Les implications évolutives de processus complexes sont également déterminantes car en situation de refuge, des populations d'espèces ont pu survivre durant plusieurs cycles de glaciations, migrer et se différencier puis se réunir et s'hybrider de nouveau pendant les interglaciaires (Hewitt, 1999 ; Vogel *et al.*, 1999 in Médail & Diadema, 2006).

L'hypothèse de l'existence de refuges est née de l'observation de la distribution actuelle des espèces végétales et animales. En effet, certaines régions, trop sèches pour que la neige s'accumule et forme des glaciers, ont échappé à la glaciation durant le Pléistocène du Quaternaire. Plusieurs étaient trop hautes pour être couvertes par les glaces, d'autres se trouvaient au sud de l'avancée glaciaire. Ces zones libres de glace ont formé des refuges où ont survécu les plantes et les animaux, qui ont pu recoloniser les nouvelles terres une fois les glaciers disparus.

En période sèche, la forêt se fragmente et seuls quelques îlots sont susceptibles de subsister dans les zones où les conditions climatiques le permettent. Les fragments de forêts qui ont persisté durant les phases sèches auraient ainsi servi de refuges à une partie des espèces qui occupaient préalablement le territoire couvert par la forêt. Cette fragmentation, si elle a duré suffisamment longtemps, aurait favorisé la spéciation par vicariance.

Les refuges correspondraient aux zones actuelles d'endémisme élevé et de grande biodiversité (Lévêque & Mounolou, 2001).

Les refuges passifs n'ont pas été à l'origine de migrations d'espèces, et abritent des végétaux relictés d'origine tertiaire tels que les diverses *Gesneriaceae* endémiques des Balkans ou des Pyrénées orientales. Ces refuges se localisent principalement sur les îles et dans certains secteurs favorables sur le plan topographique (gorges, vallons côtiers) ou climatique, où existe une importante humidité atmosphérique locale comme sur la façade maritime d'Andalousie occidentale (Doña, 2002 in Médail & Diadema, 2006).

Cependant, les refuges actifs quaternaires se caractérisent par une grande richesse en arbres caducifoliés et en herbacées tempérés ou thermophiles, ces zones ont joué un rôle déterminant dans la dynamique de reforestation.

Les régions méridionales épargnées par le front glaciaire, en particulier les grandes péninsules (Ibérie, Italie, Balkans) ont joué un double rôle de refuges actifs et passifs (Médail & Diadema, 2009).

En définitif c'est le climat favorable et la présence de refuges qui expliqueraient une plus grande richesse en terme d'espèces ligneuses méditerranéennes avec 290 taxons, contre 135 taxons en Europe tempérée (Quézel & Médail, 2003; Médail, 2006).

#### **4. Notion d'endémisme**

L'endémisme est la présence naturelle d'un groupe biologique exclusivement dans une région géographique délimitée. Ce concept, s'applique à toutes sortes d'êtres vivants.

L'endémisme peut avoir deux origines :

S'agissant de l'apparition de nouvelles espèces, on dit alors espèces « *néo-endémiques* ». En général, plus la région écologique est ancienne plus le taux d'endémisme est élevé. La position géographique est également un facteur important.

Des invasions biologiques peuvent éliminer une espèce partout ailleurs sur son ancienne aire de répartition d'un continent alors qu'elle survivra sur des îles isolées, dans ce cas, on parlera d'espèces « *paléo- endémiques* ».

Le taux d'endémisme est un des principaux éléments d'appréciation de la biodiversité d'une région. (Médail, 2006) En règle générale, un taux élevé d'espèces endémiques indique le degré d'isolement d'une région par rapport aux autres régions comme notamment les massifs montagneux et les îles.

## **5. Notion de la steppe**

Initialement le terme de « steppe » semble avoir été adopté par les auteurs russes: « les steppes, en tant que type de végétation, incluent les associations d'herbacées vivaces xérophiles et microthermiques (résistantes à la sécheresse et au froid) parmi lesquelles dominent les Graminées cespitueuses (Lavrenko, 1954, *in* Kaabeche, 1990).

Selon le même auteur, les steppes se répartissent en plusieurs types, de "vraies steppes" aux "steppes-prairies" en passant par les "steppes désertiques" et les "steppes semisavanes".

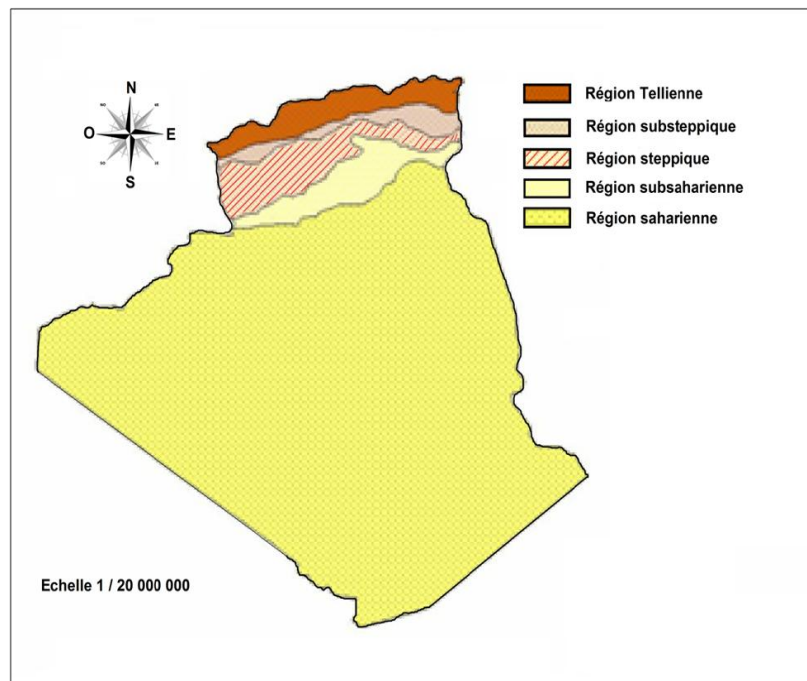
Ce terme a été élargi à d'autres formations dans différentes régions du monde sur la base de convergences physiologiques et floristiques (dominance d'espèces du genre *Stipa* notamment).

En Afrique du Nord, le terme de steppe est employé pour désigner d'un point de vue physiologique, la végétation des milieux arides. Cette appellation est donc fréquemment complétée par le nom de l'espèce dominante, steppe à *Artemisia herba-alba*, steppe à *Stipa tenacissima*, steppe à *Lygeum spartum* etc. Quelquefois on fait référence aux conditions climatiques et édaphiques locales pour désigner une steppe aride ou saharienne, une steppe psammophile à *Aristida pungens* colonisant les substrats sableux ou encore une steppe halophile à Salsolaceae colonisant les sols à forte teneur en divers sels (Kaabeche, 1990). La définition de la « steppe » repose généralement sur une combinaison de critères à la fois physiologiques, structuraux et écologiques. De même, au sein d'un même type de steppe, des "faciès" peuvent être distingués, en fonction de la seconde, parfois troisième, espèce dominante. Le terme de "pseudo-steppe" est souvent utilisé pour nommer la végétation de la bordure saharienne notamment les formations à *Arthrophytum scoparium* (Kaabeche, 2000).

### 5.1.Délimitation de la steppe algérienne

La steppe algérienne est située entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud, elle s'étend sur une superficie de 36 millions d'hectares mais compte 20 millions d'hectares de parcours (Fig.2), formant un ruban de 1000 km de long sur 300 km de large, réduite à moins de 150 km à l'Est (Mohammedi, 2006) Elle couvre l'ensemble des hautes plaines à des altitudes plus ou moins importantes de 900 à 1200 m. Ces hautes plaines steppiques sont parsemées de dépressions salées, chotts ou sebkhas qui sont des lacs continentaux formés au Pléistocène sous l'effet des pluies torrentielles et du ruissellement important qui en découle (Nedjraoui, 2003). Elles se subdivisent en deux grands ensembles: Les steppes occidentales, constituées des hautes plaines Sud oranaises et Sud algéroises, dont l'altitude décroît du Djebel Mzi à l'Ouest à la dépression du Hodna au centre occupée par des dépôts détritiques ; Les steppes orientales à l'Est du Hodna sont formées par les hautes plaines Sud constantinoises et sont bordées par les massifs des Aurès et des Nemenchas.

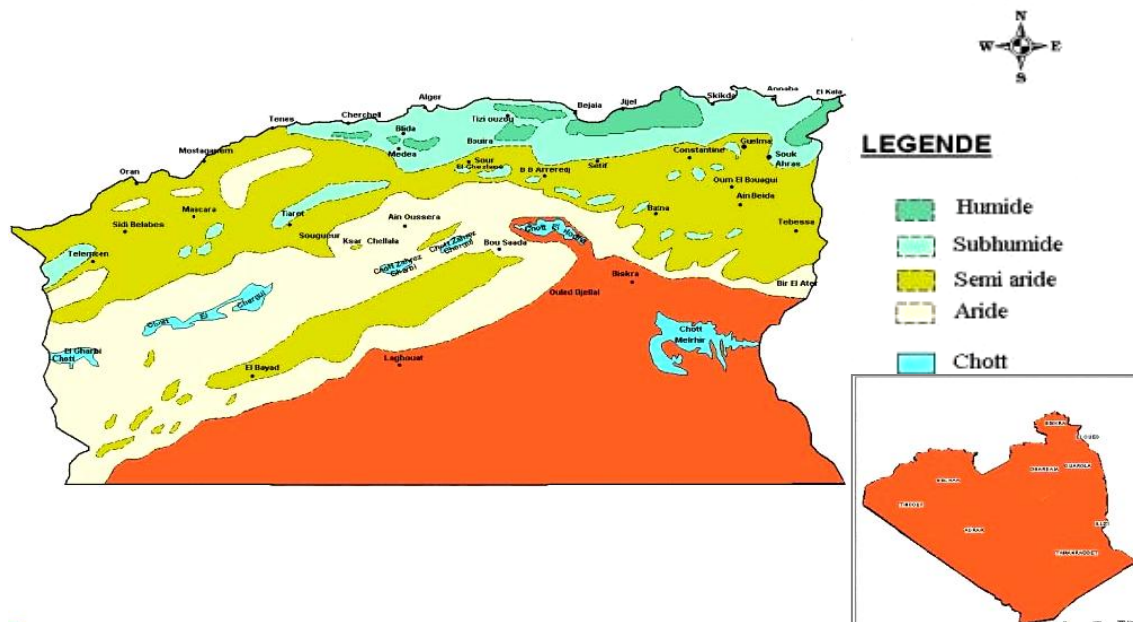
Certains auteurs (Djebaili, 1978; Djellouli, 1990 ; Mohammedi, 2006) s'accordent pour délimiter les écosystèmes steppiques entre l'isohyète 400 mm dans la partie septentrionale qui correspond à la limite des cultures céréalières en sec et l'isohyète 100 mm dans la partie méridionale. Ces limites coïncident avec l'aire d'extension de l'alfa, *Stipa tenacissima*.



**Figure 2.** Délimitation de la steppe algérienne (Modifiée d'après Mohammedi, 2006).

## 5.2. Caractéristiques bioclimatiques et pédologiques de la steppe

L'influence du Sahara confère aux zones steppiques un climat sec et chaud avec une amplitude thermique très importante. Janvier étant le mois le plus froid avec une moyenne des températures minimales comprises entre  $-1,8^{\circ}\text{C}$  à El Bayadh et  $6,7^{\circ}\text{C}$  à Biskra (Djellouli & Nedjraoui, 1995); Juillet est le mois le plus chaud avec des valeurs moyenne des températures maximales variant de  $33^{\circ}\text{C}$  à Aflou à  $41,7^{\circ}\text{C}$  à Ouled Djellal (ouest de Biskra). La température moyenne annuelle pour l'ensemble de la steppe varie de  $19^{\circ}\text{C}$  à  $24^{\circ}\text{C}$ . Selon Nedjraoui (2004), tous les étages bioclimatiques se retrouvent allant du semi aride inférieur frais au per aride supérieur frais (Fig.3).



**Figure 3.** Carte des étages bioclimatiques de l'Algérie (source: Nedjraoui & Bédrani, 2008).

<http://vertigo.revues.org/docannexe/image/5375/img-2.jpg>

La plus part des sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, une faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à la dégradation et à l'érosion. Les bons sols dont la superficie est limitée, sont destinés aux cultures et se localisent dans les dépressions, les lits d'Oued, les dayas et les piémonts de montagne du fait que leur situation permet une accumulation d'éléments fins et de quantité d'eau (Bousmaha, 2012).

Les ressources hydriques sont peu renouvelables et faibles, réparties inégalement et exploitées anarchiquement. Les points d'eau sont au nombre de 6500 dont plus de 50% ne sont plus fonctionnels (Nedjraoui & Bédrani, 2008).

### **5.3.Eléments de phytogéographie et de structure de la végétation steppique**

Il est admis que les territoires phytogéographiques relatifs à la végétation steppique d'Algérie sont inclus dans la région méditerranéenne. Cependant, les subdivisions de celle-ci notamment celles en contact avec le Sahara varient selon les auteurs. Les subdivisions habituellement retenues sur des bases floristiques, sont les suivantes (Kaabeche, 2003) :

- Empire: Holarctis
  - Région: Méditerranéenne
    - Domaine: Maghrébin-steppique
      - Secteur: Hautes Plaines steppiques

La végétation de la steppe est généralement caractérisée par une couverture végétale basse et clairsemée qui peut être plus ou moins dégradée bien que l'on trouve au niveau des reliefs une prédominance de formations forestières à pin d'Alep *Pinus halepensis*, associé au chêne vert *Quercus Ilex*, au genévrier oxycèdre *Juniperus oxycedrus* et au genévrier de phénicie *Juniperus phoenicia*. Selon les auteurs, ces formations portent diverses dénominations: forêt claire, forêt clairsemée, maquis, garrigue, matorral (Quézel, 1976; Tomaselli, 1976; Quézel & Barbero, 1981) (in Kaabeche, 1990). Les fonds d'oueds encaissés sont colonisés par une végétation rupicole à structure arborescente et par des dayas caractérisées par des peuplements de pistachier de l'Atlas *Pistacia atlantica* (Bétoum), d'*Acacia sp* (Talha) ou encore par des peuplements de Jujubier *Ziziphus lotus* (Sédra) (Kaabeche, 2000).

Les groupements végétaux doivent leur physionomie, à caractère herbacé et/ou plus moins arbustif, à l'abondance soit des graminées cespiteuses vivaces, soit des plantes vivaces ligneuses à port de chamaephytes, mais aussi à la fréquence et au mode de distribution, le plus souvent irréguliers des thérophytes espèces annuelles (acheb) survivant pendant la saison sèche sous forme de graines et apparaissant avec les premières pluies. Ces groupements végétaux sont l'expression d'une combinaison de deux communautés, chacune soumise à un déterminisme propre, l'une « permanente », constituée des seules vivaces, l'autre « temporaire » (acheb) à base de thérophytes. (Kaabeche, 2000).

La végétation steppique est représentée par quatre grands types de formations (Djebaili, 1984):

**Les formations ou steppes à  
graminées:**

- Stipa tenacissima* (Alfa).
- Lygeum spartum* (Sparte).
- Aristida pungens* (Drinn, Sbot).

**Les formations ou steppes à  
chamaephytes:**

- Artemisia herba alba* (Armoise blanche  
« Chih »).
- Artemisia campestris* (Armoise champêtre).
- Arthrophytum scoparium* (Remth).
- Thymelaea microphylla* (Methnane).

**Les espèces crassuléscentes:**

- Atriplex halimus* (G'taf)
- Salsola vermiculata*
- Suaeda fruticosa* (Soude)

**Les formations dégradées et post-  
culturales:**

- Noaea mucronata*
- Peganum harmala* (Harmel)
- Astragalus armatus*

#### **5.4. Vulnérabilité et dégradation des écosystèmes steppiques**

La steppe algérienne constitue une zone naturelle qui met en contact les éléments de la végétation méditerranéenne et les éléments d'origine saharo-sindienne et tropicale. Outre son rôle capital dans les équilibres écologiques, elle constitue, par ses richesses naturelles, le support de nombreuses activités économiques. Hélas Cette steppe subit une dégradation dont la cadence et l'intensité s'accroissent davantage, conduisant à une réduction du potentiel biologique et à une rupture des équilibres écologique et socio-économique (Le Houérou, 1985; Aidoud, 1996 in Daoudi *et al.*, 2010).

#### **6. La polypléidie**

Les systématiciens et généticiens ont montré le rôle fondamental de la polypléidie dans l'histoire évolutive des plantes (Stebbins, 1971). C'est un phénomène relativement commun chez les végétaux avec une répartition hétérogène selon les lignées. Ainsi, on estime chez les Ptéridophytes, 95% de taxons ayant subi au moins un épisode de polypléidisation au cours de leur évolution. Chez les Angiospermes, ce taux atteint 80% (Goldblatt, 1980; Soltis *et al.*, 2003) alors qu'il est très rare chez les Gymnospermes (Cui *et al.*, 2006). Wendel (2000) considère que chez les plantes à fleurs le taux de polypléides se rapproche de 100% si on inclut les paléopolypléides. On admet aujourd'hui que les Angiospermes comme pour toutes les plantes à ovules actuelles, dérivent d'ancêtres paléopolypléides (Jiao *et al.*, 2011). L'histoire des plantes s'avère donc ponctuée de cycles récurrents de polypléidisation et de diploïdisation.

### **6.1.Définition et rôle de la polyploïdie**

Le terme "polyploïdie" a été introduit la première fois par Winkler (1916). Il désigne toute situation dans laquelle le nombre de chromosomes d'un noyau est un multiple entier du nombre de base (Stebbins, 1971 ; Leitch & Bennett, 1997). En réalité, l'apparition de la fécondation comme processus sexué est à l'origine du premier polyploïde apparu, le diploïde  $2n = 2x$  (Gorenflot & Raicu, 1980). Dans la nature plusieurs niveaux de ploïdie existent : triploïdes (3x), tétraploïdes (4x), pentaploïdes (5x)...etc, jusqu'au plus haut niveau 80- ploïde avec  $2n = 640$  signalé chez l'Angiosperme *Sedum suaveolens* (Leitch & Bennett, 1997). Ce phénomène s'applique aussi bien à un individu, une population qu'à une espèce qui constituerait alors un complexe spécifique (Bretagnolle *et al.*, 1998).

Il est admis actuellement que la duplication du génome confère aux espèces des caractéristiques génétiques et physiologiques et par conséquent des potentialités adaptatives et évolutives. De ce fait, la polyploïdie représente le principal mécanisme de diversification des organismes eucaryotes étant donné que l'une des copies de gènes peut conserver la fonction initiale tandis que l'autre copie peut évoluer séparément (Lynch 2007).

Les recherches les plus récentes sont consacrées à l'origine des polyploïdes et aux relations avec leurs parents diploïdes. A la suite des travaux de Harlan & De Wet (1975) et de De Wet (1980) *in* Maceira (1990), des hypothèses évoquent l'implication de gamètes diploïdes (gamètes  $2n$  ou gamètes non réduits) dans le processus de la polyploïdisation. D'autres études ont montré que le diplo-pollen résulterait d'anomalies affectant le déroulement de la méiose. Cette origine de la polyploïdie par voie sexuée est montrée chez de nombreuses espèces (Maceira, 1990). D'un autre côté, l'établissement des polyploïdes dans les populations naturelles et leur expansion géographique restent mal connus. Des alternatives comme la fertilité des triploïdes ou la production de gamètes  $2n$  sont nouvellement rapportées (Ramsey & Schemske, 1998).

### **6.2.Classification des polyploïdes**

Deux grandes catégories de polyploïdes ont été tôt reconnues par Kihara & Ohno (1926) : les autopolyploïdes qui dérivent du dédoublement d'un même génome, et les allopolyploïdes qui proviennent d'une hybridation interspécifique. En 1945, Claussen *et al.*, (*in* Bidault, 1971) ont introduit la notion d'amphiploïde pour désigner l'ensemble des autopolyploïdes et des allopolyploïdes. Une autre classification excluant le cycle de reproduction et impliquant les variations au sein du génome a été établie par Serba en 1968 (*in* Gorenflot & Raicu ,1980) qui a

défini l'aneuploïdie comme étant les variations affectant le nombre de chromosomes et l'euploïdie les variations affectant le nombre de génome. Enfin, Stebbins (1971) puis Soltis *et al.* (2003) se sont basés sur le degré d'homologie des chromosomes:

### ***Les autopolyploïdes***

Les autopolyploïdes résulteraient d'un doublement chromosomique intervenant au niveau intraspécifique et présentant plus de deux copies d'un même génome. Ils possèdent plusieurs exemplaires de chaque chromosome dits homologues dont l'appariement lors de la méiose, produit des multivalents. Les multivalents peuvent être à l'origine de gamètes ayant un nombre de chromosomes déséquilibré entraînant par conséquent une baisse de la fertilité des gamètes voire une stérilité totale. La méiose peut toutefois rapidement se régulariser (diploïdisation) pour devenir disomique (Le Comber *et al.*, 2010). Les complexes polyploïdes les plus connus de ce type sont: *Dactylis glomerata*, *Secale cereale*, *Turnera ulmifolia*, *Chamerion angustifolium*, *Vaccinium corymbosium*.

### ***Les allopolyploïdes***

Ils dérivent d'un événement d'hybridation interspécifique suivi d'une duplication du génome hybride (Ramsey & Schemske 1998). En conséquence, les allopolyploïdes présentent à la fois des paires de chromosomes homologues mais aussi, des jeux de chromosomes homéologues plus au moins divergents, issus des deux espèces parentes. Si les jeux de chromosomes parentaux de l'allopolyploïde ne présentent pas d'affinité, la méiose ne comporte alors que des bivalents induisant directement une hérédité disomique. Cette descendance allopolyploïde s'isole alors reproductivement de la lignée parentale. L'allopolyploïdie est un type de polyploïdisation très répandu chez les plantes, elle représente un processus majeur de spéciation (Doyle *et al.*, 2008). On estime que plus que 75% des espèces polyploïdes sont allopolyploïdes (Wood *et al.*, 2009). De nombreuses familles comportent des complexes spécifiques allopolyploïdes comme les Poaceae, Brassicaceae et Solanaceae. Les allopolyploïdes segmentaires constituent un type d'allopolyploïde dont les chromosomes parentaux présentent des segments homologues. Au cours de la méiose se forment des bivalents et des multivalents (Bidault, 1971).

Il est à présent admis qu'autopolyploïdes et allopolyploïdes représentent deux situations extrêmes d'une série dans laquelle les génomes dupliqués sont plus ou moins divergents (Doyle *et al.*, 2008).

### 6.3.Polyploïdie et spéciation

Une étroite relation existe entre polyploïdie et spéciation. En effet, la polyploïdie a joué et joue encore un rôle majeur dans la diversification des taxons (Gorenflot & Raicu, 1980; Stebbins, 1971).

De part la duplication des génomes, les néopolyploïdes ont tendance à coloniser de vastes territoires biogéographiques. (Ramsey & Schemske, 1998; Petit *et al.*, 1999). Leur adaptation aux nouvelles niches écologiques s'est traduite au cours du temps par un isolement reproducteur entre eux et leurs parents. Cet isolement est de deux types:

- Un isolement reproducteur complet causé par une séparation spatiale entre cytotypes. On parle dans ce cas d'une spéciation allopatrique ;
- Un isolement reproducteur partiel dans le cas de populations vivant dans des habitats adjacents d'une même aire géographique (zones de contact). Ces espèces se différencient et évoluent suite à des restructurations chromosomiques ou géniques. Un échange partiel peut se produire entre espèces de ce type (Petit *et al.*, 1999; Husband & Saraba, 2003).

Dans leur étude sur les zones de contact entre diploïdes et tétraploïdes Petit *et al.* (1999) notent que la polyploïdisation contribue à l'augmentation de la diversité génétique. Cette dernière est due aux flux de gènes entre cytotypes avec différents niveaux de ploïdie. Ils citent l'exemple du genre *Taraxacum* chez lequel ils ont remarqué l'existence d'un flux de gène bilatéral entre cytotypes diploïdes à reproduction sexuée et cytotypes triploïdes apomictiques. Cette hybridation permet le maintien d'un haut niveau de diversité génétique tandis que l'apomixie favoriserait un important degré d'adaptation locale. Les restructurations chromosomiques et géniques sont accumulées au niveau de populations en transformations pour les deux types de spéciation (Gorenflot & Raicu, 1980). Stebbins (1971) considère que les polyploïdes sont beaucoup moins fréquents au niveau des régions tempérées et subtropicales qu'au niveau des régions froides où les fluctuations écologiques sont plus intenses avec des séries de glaciation. L'aptitude des polyploïdes à s'adapter aux conditions écologiques et climatiques les plus extrêmes est la conséquence de la multiplication du génome et à l'augmentation de l'hétérozygotie entraînant une élévation de l'homéostasie physiologique et écologique (Bretagnolle *et al.*, 1998).

## **MATERIEL & METHODES D'ETUDE**

## 1. Matériel

### 1.1. Echantillonnage et origine du matériel

L'échantillonnage a été réalisé entre février 2013 et mai 2014. Neuf populations appartenant au genre *Allium*, 7 au genre *Gagea* et 4 populations au genre *Iris*, ont été récoltées au niveau de 11 stations. Neuf stations sont réparties à travers la steppe algérienne et 2 autres stations sont intégrées dans cette étude à des fins de comparaison.

La répartition des stations et leurs caractéristiques principales sont données dans le Tab. 1 et la Fig. 4.

Dans chaque station, 05 individus environ par espèce rencontrée, sont prélevés. Les individus sont tous au même stade phénologique et suffisamment éloignés les uns des autres.

Le matériel est précieusement mis en herbier, les bulbes sont conservés dans l'obscurité dans des enveloppes en papier et les boutons floraux fixés dans du Carnoy (Ethanol absolu, Acide acétique glacial, chloroforme v.v 6:3:1) pour les analyses caryologiques.

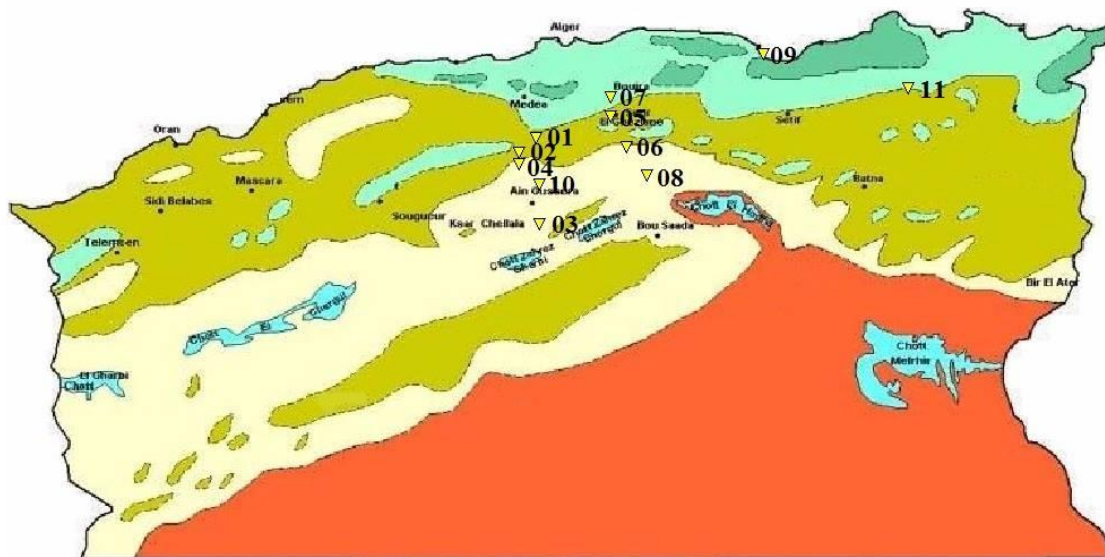
### 1.2. Identification des échantillons

Pour l'identification des espèces étudiées, les individus doivent être entiers (possédant fleurs, feuilles, bulbes) moyennant une bonne analyse morphologique.

Les déterminations taxonomiques préliminaires ont été effectuées à l'aide des flores de Maire (1958, 1959) et de Quézel & Santa (1962).

Plusieurs bases de données et sites spécialisés du web ont été consultés notamment :

- *Index Kewensis IK*, Royal Botanic Garden, Kew, <http://epic.kew.org/index.htm>
- *Euro-Med plantBase* <http://www.emplantbase.org/home.html>
- *African Plants Database* <http://www.ville-ge.ch/cjb/bd.php>



**Figure 4.** Localisation des sites de récoltes sur la carte bioclimatique simplifiée (modifié d'après Nedjraoui & Bédrani, 2008).

<http://vertigo.revues.org/docannexe/image/5375/img-2.jpg>

01 Seghouane; 02 Boughezoul 1; 03 Guelt Es Stel; 04 Boughezoul 2; 05 Sour El-Ghozlane; 06 Sidi Aissa; 07 Ain Bessam ; 08 Bou Saada; 09 Mont Gouraya; 10 Oued-El-Malah; 11 M'ridj.

**Tableau 1.** Caractéristiques des stations

Taxon	Code	Localité	Donnée GPS	Altitude	Descriptive floristique
<i>Gagea</i>	SGN	Seghouane	N 35° 58' 23,2'' E 002° 51' 10,9''	660m	<i>Juniperus oxycedrus</i> <i>Geranium sp.</i> <i>Erodium sp.</i> <i>Thymelaea (hirusta/tartonnraira)</i> <i>Astragalus gombo</i> <i>Calendula arvensis</i> <i>Sherardia arvensis</i> <i>Stipa tenacissima</i> <i>Thymus</i> <i>Carlina</i>
<i>A. cupani</i> <i>Gagea</i>	BGZ1	Boughezoul km 161 5 Km avant	N 35° 46' 28,4'' E 002° 47' 28,4''	631m	<i>Hordeum glaucum</i> <i>Thymelaea hirsuta</i> <i>Ferula communis</i> <i>Paronychia argentea</i> <i>Plantago psyllium</i> <i>Eruca vesicaria</i> <i>Alyssum maritimum =</i> <i>Globularia maritima</i> <i>Medicago sp.</i> <i>Origanum sp.</i> <i>Thymus sp.</i> <i>Lavendula dentata</i> <i>Myosotis sp.</i> <i>Calendula arvensis</i> <i>Leontodon sp.</i> <i>Papaver sp.</i> <i>Spergularia sp.</i> <i>Anacyclus clavatus</i>

<i>Allium</i> <i>G. reticulate</i>	GLT- STL	Guelt Es Stel km 235	N 35° 09' 33,8'' E 003° 01' 45,8''	907m	<i>Adonis</i> sp. <i>Astragalus</i> sp. <i>Retama retam</i> <i>Medicago lupulina</i> <i>Muscari maritimum</i> <i>Matthiola longipetala</i> <i>Calendula</i> sp. <i>Gobularia</i> sp. <i>Hypocoum procumbens</i> <i>Evax pygmaea</i> <i>Hordeum glaucum</i>
<i>Allium</i> <i>G. reticulate</i> <i>Iris</i>	BGZ2	Boughzoul 2 ≈ km 168	N 35° 43' 44,2'' E 002° 45' 36,2''	640m	Steppe à <i>Peganum harmala</i> <i>Hordeum glaucum</i> <i>Plantago albicans</i> <i>Poa bulbosa</i>
<i>Allium</i>	S-G	Sour El-Ghozlane (Hay Tbabkha)	N 36°06'54,2'' E 003°42'59 ''	977m	<i>Astragalus armatus</i> <i>Calycotum spinosa</i> <i>Teucrium chamaepitys</i>
<i>Allium</i> (3sp.). <i>Gagea</i> <i>Iris</i>	SA-AL	Route entre Sidi Aissa, Ain el Hadjel	N 35° 48' 53,3 '' E 03° 49' 21,6''	618m	<i>Anabasis strobilcea</i> <i>Stipa parviflora</i> <i>Stipa retorta</i> <i>Helianthemum lippii</i> <i>Neurada procumbens</i> <i>Aster</i> sp. <i>Dipcadi serotinum</i> <i>Silybum eburneum</i> <i>Peganum harmala</i> <i>Malva parviflora</i> <i>Hordeum glaucum</i> <i>H. marinum</i> <i>Atractylis cancellata</i> <i>Lygeum spartum</i>
<i>Iris</i>	AB- AF	RN 08 PK 107 entre Ain Bessam et Ain Faham.	N 36° 13' 28,2'' E 003° 39' 55,5''	792m	<i>Thymus</i> sp. <i>Teucrium polium</i>
<i>Allium</i>	BSD	RN 08 PK 192. À 50Km de Bou Saada, Steppe	N 35° 35' 15,17'' E 003° 57' 19,6''	606m	<i>Dipcadi serotinum</i>
<i>Iris</i>	MG	Mont Gouraya			<i>Prasium majus</i> <i>Pallenis spinosa</i> <i>Euphorbia ephedroides</i> <i>Nigella damascena</i>
<i>G. reticulata</i>	OM	Oued-El- Malah		640m	Steppe à <i>Peganum harmala</i> et <i>Stipa tenacissima</i>
<i>G. arvensis</i>	MRJ	M'ridj		900m	Forêt à <i>Pinus halepensis</i>

## **2. Méthodes**

Un caractère taxonomique peut avoir plusieurs natures: morphologiques, anatomiques, cytogénétiques, écologiques, chimiques et moléculaires (Sneath & Sokal, 1973). La présente étude sur la diversité et les relations interspécifiques dans le groupe des *Allium*, *Gagea* et des *Iris*, s'appuie sur des analyses morphologiques multivariées et caryologiques.

### **2.1.Critères morphologiques**

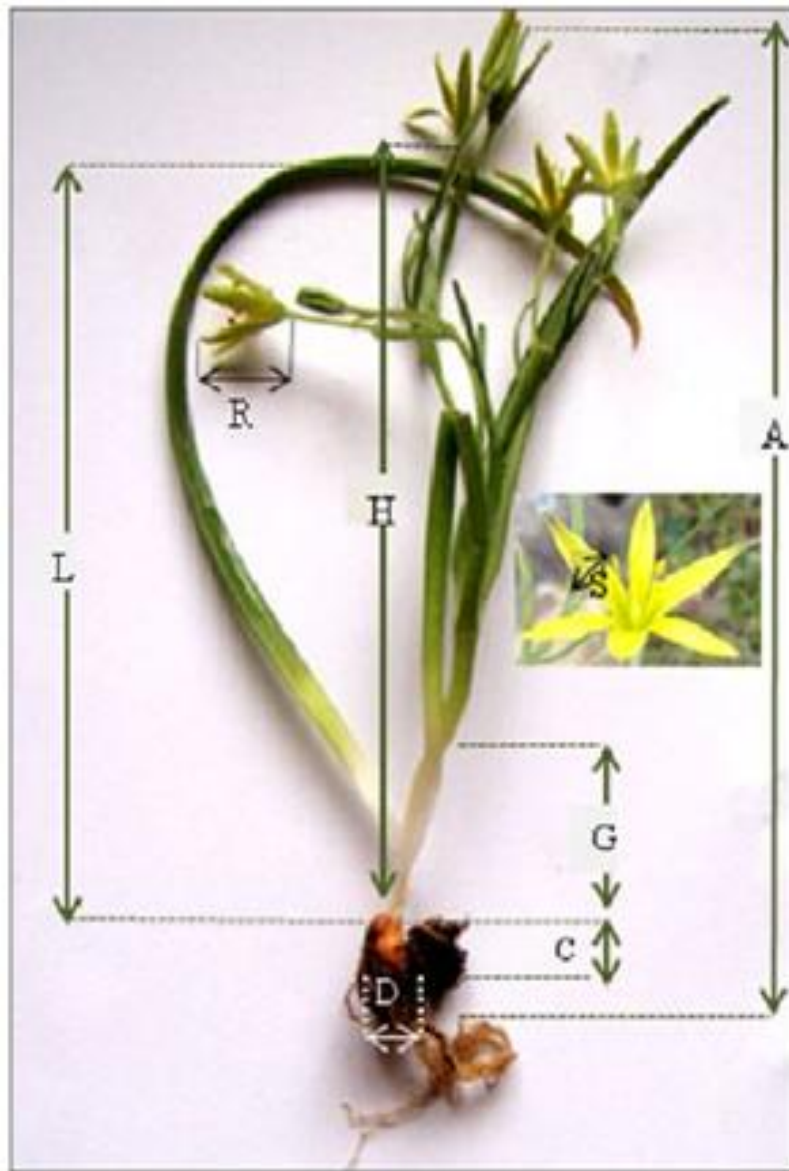
#### **2.1.1. Analyse de la variabilité morphologique et choix des caractères étudiés**

L'analyse de la variabilité morphologique permet d'appréhender l'influence des facteurs écologiques sur la plasticité et la stabilité des caractères. La plasticité phénotypique est l'aptitude d'un organisme à réagir aux variations des conditions du milieu. Elle est souvent adaptative et contrôlée par la sélection naturelle. Les facteurs génétiques déterminent l'importance et la direction de la flexibilité autorisée aux phénotypes (Sultan, 2003).

Le choix et le nombre de caractères sont importants. Le nombre de descripteurs devra être au départ le plus élevé possible, afin de réunir le maximum d'informations et éviter les caractères invariants et redondants (Sneath & Sokal, 1973).

Des caractères quantitatifs et qualitatifs à valeur diagnostique, ont été mesurés sur différentes parties de la plante, elles sont effectuées sous loupe, à l'aide d'un papier millimétré et pied à coulisse.

Concernant les populations de *Gagea*, 23 caractères ont été retenus (Tab. 2 et Fig. 5) Des matrices de données brutes sont établies. Concernant les cinq populations de *Gagea*. Aussi nous avons élaboré d'autres matrices de données binaires et en classes de modalités.



**Figure 5.** Localisation sur un individu de *Gagea* des caractères morphologiques utilisés dans les analyses multivariées (Photos R. Amirouche).

**Tableau 2.** Caractères morphologiques utilisés dans les analyses multivariées

---

Code	Listes des caractères morphologiques de <i>gagea</i>
<b>A</b>	<b>Taille de l'individu (mm)</b>
<b>B</b>	<b>Nombre de bulbes</b> 0 Un bulbe / 1 Deux bulbes
<b>C</b>	<b>Hauteurs de bulbes (mm)</b>
<b>D</b>	<b>Diamètres de bulbes (mm)</b>
<b>E</b>	<b>Bulbilles</b> 0 Présences des bulbilles / 1 Absence des bulbilles
<b>F</b>	<b>Racines</b> 0 Ascendantes / 1 Non ascendantes
<b>G</b>	<b>Longueur de la partie souterraine de la tige, bulbe incompris (mm)</b>
<b>H</b>	<b>Longueur de pédoncule (mm)</b>
<b>I</b>	<b>Types des feuilles</b> 0 Alterne / 1 verticillée
<b>J</b>	<b>Type de feuilles</b> 0 Indéterminée / 1 Basales et caulinaires
<b>K</b>	<b>Nombre de feuilles</b>
<b>L</b>	<b>Longueur des feuilles (mm)</b>
<b>M</b>	<b>Largeur des feuilles (mm)</b>
<b>N</b>	<b>Nombre de fleurs</b>
<b>O</b>	<b>Forme des tépales</b> 0 Une seule forme pour les externes et internes / 1 Deux formes différentes
<b>P</b>	<b>Existences de bordures sur les tépales</b> 0 Absence / 1 présence
<b>Q</b>	<b>Couleur des tépales</b> 0 jaune vif / 1 Vert (jaune verdâtre)
<b>R</b>	<b>Longueur des tépales externes (mm)</b>
<b>S</b>	<b>largeurs des tépales externes (mm)</b>
<b>T</b>	<b>Longueur des tépales internes (mm)</b>
<b>U</b>	<b>Forme de filets</b> 0 Non aplatie / 1 Aplatie à la base
<b>V</b>	<b>Le nectaire</b> 0 Absence / 1 Présence (sur les tépales)
<b>W</b>	<b>Pilosité</b> 0 Peu intense (pédoncule) / 1 Intense (pédoncule et dos des tépales)

---

### 2.1.2. Traitement des données

Les données morphologiques ont été traitées à l'aide de la version 1.6 du logiciel NTSYS Pc Package développé par Rohlf (1990).

Trois types d'analyses numériques multivariées ont été appliqués aux populations de *Gagea* et *Romulea*: Analyses en Composantes Principales (ACP), Analyse Factorielles des Correspondances (AFC) et Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Ces méthodes sont complémentaires et permettent d'appréhender la variabilité et les relations entre les taxons.

#### *Analyses en Composantes Principales (ACP)*

C'est une méthode descriptive qui met en évidence les ressemblances (continuités) entre les populations. L'ACP utilise la matrice des données brutes préalablement standardisée à l'aide de la fonction STAND du logiciel NTSys, en premier lieu dans le sens des individus (lignes) puis dans le sens des variables (colonnes). Les vecteurs propres (fonction EIGEN) sont extraits à partir de la matrice de corrélation obtenue par la fonction SIMINT. La projection sur le plan des axes 1-2 des individus et des variables, utilise les fonctions PROJ et MXPLOT du programme.

#### *Analyses Factorielles des Correspondances (AFC)*

Contrairement à la méthode précédente, l'AFC met en exergue les discontinuités entre populations. Elle utilise des matrices codées binaires que nous avons élaborées à partir des caractères subdivisés en classes de modalités. Les valeurs propres et les coordonnées des variables et des individus sont dans ce cas automatiquement générées par la fonction CORRESP de telle sorte que les points-individus et les points-variables (modalités) soient superposables. Ainsi, un groupe d'individus « peut être expliqué » par un groupe de variables.

#### *Valeurs des modalités des caractères quantitatifs pour Gagea*

**A**  $30 \leq A1 \leq 73 < A2 < 116 \leq A3 < 159 \leq A4 \leq 202$

**C**  $3 \leq C1 \leq 9 < C2 < 12 \leq C3 \leq 20$

**D**  $2 \leq D1 \leq 4 < D2 < 6 < D3 \leq 12$

**G**  $10 \leq G1 \leq 22 < G2 < 34 \leq G3 \leq 45$

**H**  $22 \leq H1 \leq 44 < H2 < 66 \leq H3 < 88 \leq H4 \leq 110$

**K**  $3 \leq K1 \leq 6 < K2 < 11 \leq K3 \leq 20$

$L \ 25 \leq L1 \leq 82 < L2 < 140 \leq L3 \leq 192$

$M \ 1 \leq M1 \leq 3 < M2 \leq 6$

$N \ 1 \leq N1 \leq 3 < N2 \leq 6$

$R \ 10 \leq R1 \leq 18 < R2 \leq 26$

$S \ 1 \leq S1 \leq 3 < S2 \leq 4$

$T \ 10 \leq T1 \leq 15 < T2 \leq 23$

### ***Classification ascendante hiérarchique (CAH)***

L'usage d'une autre métrique, la distance Euclidienne et la construction d'un arbre ascendant hiérarchique (pour les individus seulement) est basée sur la matrice précédente des données brutes. La construction du dendrogramme utilise ici la méthode agrégative de l'UPGMA effectuant successivement les fonctions SIMQUAL, SAHN, TREE, PROJ du programme NTSys.

## **2.2. Critères caryologiques**

Différentes méthodes existent pour étudier les chromosomes, Le protocole expérimental (Jahier et *al.*, 1992) que nous avons suivi met en jeu l'application d'agents chimiques pour le prétraitement, la fixation et la coloration des cellules en divisions. L'emploi d'une technique adéquate doit permettre une bonne séparation des chromosomes avec des détails morphologiques permettant l'établissement correct du caryotype.

Les observations caryologiques ont été effectuées sur des métaphases de mitoses somatiques au niveau des méristèmes racinaires. Le dénombrement des chromosomes, leurs morphologies, leurs tailles et l'organisation du caryotype ont été établis pour 5 populations des 3 groupes (*Allium*, *Gagea* et *Iris*).

### **2.2.1. Protocole expérimental**

#### ***Mise en germination des bulbes***

Les bulbes sont préalablement débarrassés des bulbilles, des tuniques et des racines préexistantes. Ils sont ensuite immergés, à moitié, dans des piluliers correspondants à leur taille, dans les conditions de lumière et de température ambiante (18°C à 30°C).

### ***Prétraitement***

Le prétraitement présente deux effets principaux:

- Bloquer les divisions mitotiques au stade métaphase, en inhibant la formation du fuseau achromatique ;
- Contracter les chromosomes.

Après la germination, les pointes racinaires sont coupées de 0,5 à 1cm de long. Elles sont prétraitées par immersion dans une solution mitoclasique de colchicine à 0.05% ou 8-hydroxyquinoléine pendant 3 à 5 heures / solution aqueuse saturée d' $\alpha$  bromonaphtalène pendant 3 heures) adaptée pour chaque espèce, à température ambiante et en obscurité totale.

### ***Fixation***

Le fixateur doit avoir une action rapide pour bloquer toute évolution des divisions cellulaires et permettre de conserver l'intégrité structurale des chromosomes.

Les racines sont rincées à l'eau distillée pour éliminer l'excès de la solution mitoclasique puis elles sont immergées directement dans l'éthanol acétique 3 :1, v/v, à 4°C, pendant au moins 24 heures.

### ***Stockage et conservation***

La conservation suit la fixation. Les racines sont stockées au réfrigérateur (4°C) dans de l'alcool 70°. Les préparations peuvent être conservées pendant plusieurs mois.

### ***Hydrolyse***

L'hydrolyse acide entraîne la rupture des liaisons glucidiques des bases puriques de l'ADN et la libération de groupements aldéhydes. Elle facilite, par ailleurs, le ramollissement des tissus et donc l'écrasement et l'éclatement des cellules.

Les pointes racinaires sont lavées à l'eau distillée puis placées dans une solution de HCL 1N ensuite elles sont mises au bain marie à 60° C entre 6 à 12 min selon l'espèce.

### ***Coloration***

La coloration est effectuée selon la méthode de Feulgen. La réaction se base sur la capacité des groupements aldéhydes de l'ADN à se colorer au contact de la fuchsine basique formant un

complexe visible en microscopie photonique et donne une coloration rouge violacée aux chromosomes.

Afin de mettre en évidence les zones méristématiques, les racines hydrolysées sont placées dans le réactif de Schiff, à l'obscurité entre 30mn à 3h heures jusqu'à coloration intense.

### ***Montage et observation***

Les extrémités racinaires sont rincées à l'eau distillée pendant 5 à 10 minutes pour augmenter le contraste entre les chromosomes et le cytoplasme, puis montées entre lame et lamelle dans une goutte de carmin acétique de Belling afin d'accentuer la coloration. Une fois le squash réalisé, les préparations sont observées au microscope photonique.

Les meilleures lames présentant des chromosomes bien individualisés sont conservées dans un montage permanent au Depex lames et lamelles sont séparées d'un coup sec à l'aide d'une lame de rasoir après avoir été préalablement refroidi à une température inférieure à 0°C pendant quelques minutes. Le montage définitif au Depex se fait après séchage à l'abri de la poussière.

### ***Photographies***

Les photographies sont prises sur un microscope à orthoplan de type ZEISS avec un appareil numérique d'une sensibilité ISO 100. Les meilleurs plaques métaphasiques sont sélectionnées et photographiées.

Plusieurs essais ont été nécessaires avant d'obtenir des plaques métaphasiques exploitables. La longueur des racines, le prétraitement, la durée et la température de l'hydrolyse et le temps de coloration ont été adaptés pour chaque espèce.

Compte tenu des difficultés d'obtenir des germinations de bulbes de *Gagea* et d'observer des métaphases de mitoses somatiques au niveau des méristèmes racinaires, de nombreux essais ont été effectués.

- Pour *Gagea reticulata*, les observations ont portés finalement sur l'ovaire.
- Pour *Gagea sp.*, nous avons du modifier le protocole classique pour obtenir des résultats exploitables, les principales étapes sont indiquées dans le Tab. 3:

**Tableau 3.** Récapitulatif des différentes étapes du protocole testé de Jahier *et al.* (1992)

<b>Racines</b>	<b>Prétraitement</b>	<b>Fixation</b>	<b>Hydrolyse</b>	<b>Coloration</b>
Taille des racines entre 0.4 et 1cm	A 10h dans 1000µl de colchicine 0.05% ou 8-hydroxyquinoléine pendant 3 à 5 heures	l'éthanol acétique 4°C, pendant au moins 24 heures.	Pendant 4 à 5min	Dans la fuchsine à l'obscurité pendant 3h

### 2.2.2. Etablissement des caryotypes et des idiogrammes

Les idiogrammes de différentes espèces sont faits à partir de la moyenne de cinq plaques métaphasiques à l'aide d'un logiciel informatique "MicroMeasure" version 3,3 (Reeves, 2001). Le logiciel d'analyse d'images qui peut être employé pour saisir des données en relation avec un grand nombre de paramètres chromosomiques à partir d'images sauvegardées sur support informatique ou encore d'images numérisées.

Le caryotype est une représentation des chromosomes d'une cellule mitotique produite à partir d'une photographie, où on juxtapose les chromosomes homologues par ordre décroissant de longueur. Elle tient compte du nombre, de la forme, de la taille et des autres caractères structuraux comme les constriction secondaires ou satellites.

La représentation schématique du lot haploïde moyen de plusieurs caryotypes d'une espèce constitue un idiogramme (caryogramme).

La nomenclature du caryotype la plus utilisée est celle de Levan *et al.* (1964). Les paramètres utilisés pour caractériser les chromosomes et les idiogrammes sont : la longueur des bras court Bc et bras long Bl, le rapport entre le bras court et le bras long (r), et la longueur relative d'un chromosome  $Lr = Bl + Bc / \Sigma(Bc + Bl) \times 100$ .

La nomenclature des chromosomes de Levan *et al.*, (1964) repose sur la position du centromère et le rapport r :

$1.0 \leq r < 1,7$	centromère médian
$1.7 \leq r < 3.0$	centromère sub-médian
$3.0 \leq r < 7.0$	centromère sub-terminal
$7.0 \leq r < \infty$	centromère terminal

L'indice centromérique  $IC = L_{Bc} / L_t \times 100$  indique le type de chromosome :

$50.0 \geq IC > 37.5$	type métacentrique	(m)
$37.5 > IC > 25.0$	type sub-métacentrique	(sm)
$25.0 > IC > 12.5$	type sub-télocentrique	(st)
$12.5 > IC > 2.5$	type télocentrique	(t)

## **RESULTATS & DISCUSSION**

## 1. Variation et relations interspécifiques dans le genre *Gagea*

Selon *Angiosperm Phylogeny Group* (APG III, 2009, <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/genera/liliaceaegen.html>, dernier accès le 27.11.2014), le genre *Gagea* Salisbury (1806) appartient à l'ordre des Liliales, famille des Liliaceae, sous-famille des Lilioideae, tribu des Lilieae.

Chez les Liliaceae *sensu stricto*, le genre *Gagea* est l'un des genres parmi les plus importants en terme d'espèces. Il comprend plus de 250 taxons (Ferrer-Gallego & Guara Requena, 2007) couvrant une large aire de répartition géographique en Eurasie et Afrique du Nord (Perruzi, 2008). Pour l'Afrique du Nord, Maire (1959), avait décrit deux sous-genres : le sous-genre *Eugagea* incluant les sections *Nudiscaposae* et *Foliatae* et le sous-genre *Gageastrum* la section *Foliatae*.

Onze espèces principales sont rapportées pour l'Afrique du Nord, dont 8 sont présentes en Algérie (Quézel & Santa, 1962) : *G. algeriensis*, *G. granatelli*, *G. mauritanica*, *G. durieui*, *G. arvensis*, *G. foliosa*, *G. pygmea*, *G. reticulata* ; les 4 premières espèces sont endémiques.

### 1.1. Déterminations taxonomiques

Les populations traitées dans cette étude sont rattachées à trois taxons principaux (Fig. 6):

*Gagea reticulata* Pall., (1929), ce taxon est relatif à 3 populations récoltées au nord de Djelfa : Guelt Es Stel, Oued El Malah et Boughezoul.

*Gagea mauritanica* Dur., (1850), il s'agit de la population de Seghouane, échantillonnée, plus au nord, en conditions nettement moins arides.

*Gagea arvensis* Pers., (1827) a été échantillonnée en sous-bois dans la forêt de pin d'Alep du M'ridj, dans le Constantinois.

Cependant, ces déterminations taxonomiques laissent des doutes car les échantillons sont polymorphes et les critères diagnostiques des flores utilisées (Maire, 1959 ; Quézel & Santa, 1962) souvent imprécis.



**Figure 6.** Photographies des espèces de *Gagea* prises sur le terrain, fleurs et bulbes (Photos R. Amirouche).

**a-d.** *G. reticulata* (station de Guelt Es Stel);

**e-h.** *G. arvensis* (station du M'ridj);

**i - l.** *G. mauritanica* (station de Seghouane).

***Gagea reticulata*** Pall. (1829) (Fig. 6a-6d)

- ≡ *Ornithogalum reticulatum* Pall., Reise Russ. Reich. 3: 727 (1776).
- ≡ *Gagea reticularis* Salisb., Ann. Bot. (König & Sims) 2: 557 (1806), nom. superfl.
- ≡ *Stellaster reticulatus* (Pall.) Kuntze, Revis. Gen. Pl. 2: 716 (1891).

Les plantes sont à bulbe solitaire avec des racines ascendantes et enveloppant le bulbe. La tige est très courte 3-12 cm, portant des feuilles basales dépassant les fleurs. Les feuilles caulinaires sont verticillées égalant ou dépassant les fleurs ; elles présentent à leurs aisselles des bulbilles. L'inflorescence a des grandes fleurs (1,5-2,5 cm) avec 5 tépales jaunes sur la face interne et verts avec des marges jaunes sur la face externe. Le style dépasse légèrement les étamines.

Ce taxon est considéré comme valide dans l'*African Plants Database* (Dobignard, 2014), l'*Euro-Med plantBase* (2014) ainsi que par le *Kew royal botanic gardens* (Barker & Govaerts, 2014) avec des synonymes homotypiques indiqués ci-dessus.

***Gagea arvensis*** Pers. (1827) (Fig. 6e-6h)

- ≡ *Ornithogalum minimum* L., Sp. Pl.: 306 (1753).
- ≡ *Stellaris minima* (L.) Moench, Methodus: 303 (1794).
- ≡ *Ornithoxanthum arvense* (Pers.) Link, Handbuch 1: 161 (1829).
- ≡ *Ornithoxanthum minimum* (L.) Link, Handbuch 1: 162 (1829).
- ≡ *Stellaster arvensis* (Pers.) Kuntze, Revis. Gen. Pl. 2: 715 (1891).
- ≡ *Stellaster minimus* (L.) Kuntze, Revis. Gen. Pl. 2: 716 (1891).

Les plantes sont à 2 bulbes lisses, non revêtus de racines ascendantes. Elles présentent parfois des bulbilles à l'aisselle des feuilles. La tige est dressée, flasque de 0,5-15 cm portant des feuilles basales récurvées qui dépassent ordinairement l'inflorescence.

*G. arvensis* est considéré par Dobignad (2014) in *African Plants Database*, comme un synonyme de *Gagea villosa* (M. Bieb.) Sweet avec pour synonyme homotypique *Ornithogalum villosum* M. Bieb.

Pour *Euro-Med plantBase* (2014) et pour le *Kew royal botanic gardens* (Barker & Govaerts, 2014), *G. arvensis* serait plutôt un synonyme de *G. minima* (L.) Ker Gawl. Les autres synonymes homotypiques indiqués ci-dessus, traduisent la complexité systématique de ce taxon.

***Gagea mauritanica*** Dur. (1850) (Fig. 6i-6l)

- = *Gagea mauritanica* var. *balansae* A.Terracc. [Mém. Soc. Bot. France 1905, 2: 17]

C'est une plante également à 2 bulbes, l'un grand et lisse, l'autre petit et rugueux. La tige est courte 4-8 cm portant des feuilles basales blanchâtres, dépassant les fleurs et des feuilles caulinaires, subverticillées. L'inflorescence est à 2-6 grandes fleurs à tépales (10-13 mm) jaunes vif sur la face interne et verdâtres sur la face externe. Le style dépasse légèrement les étamines.

Ce taxon endémique à l'Algérie, est validé dans l'*African Plants Database* (Dobignard, 2014), l'*Euro-Med plantBase* (2014) et le *Kew royal botanic gardens* Barker & Govaerts (2014).

## 1.2. Analyses morphologiques

Les analyses reposent sur l'élaboration d'une matrice de données brutes à partir de 23 caractères morphologiques quantitatifs et qualitatifs. Les mesures ont été effectuées sur 51 individus représentatifs des 5 populations et des 3 espèces.

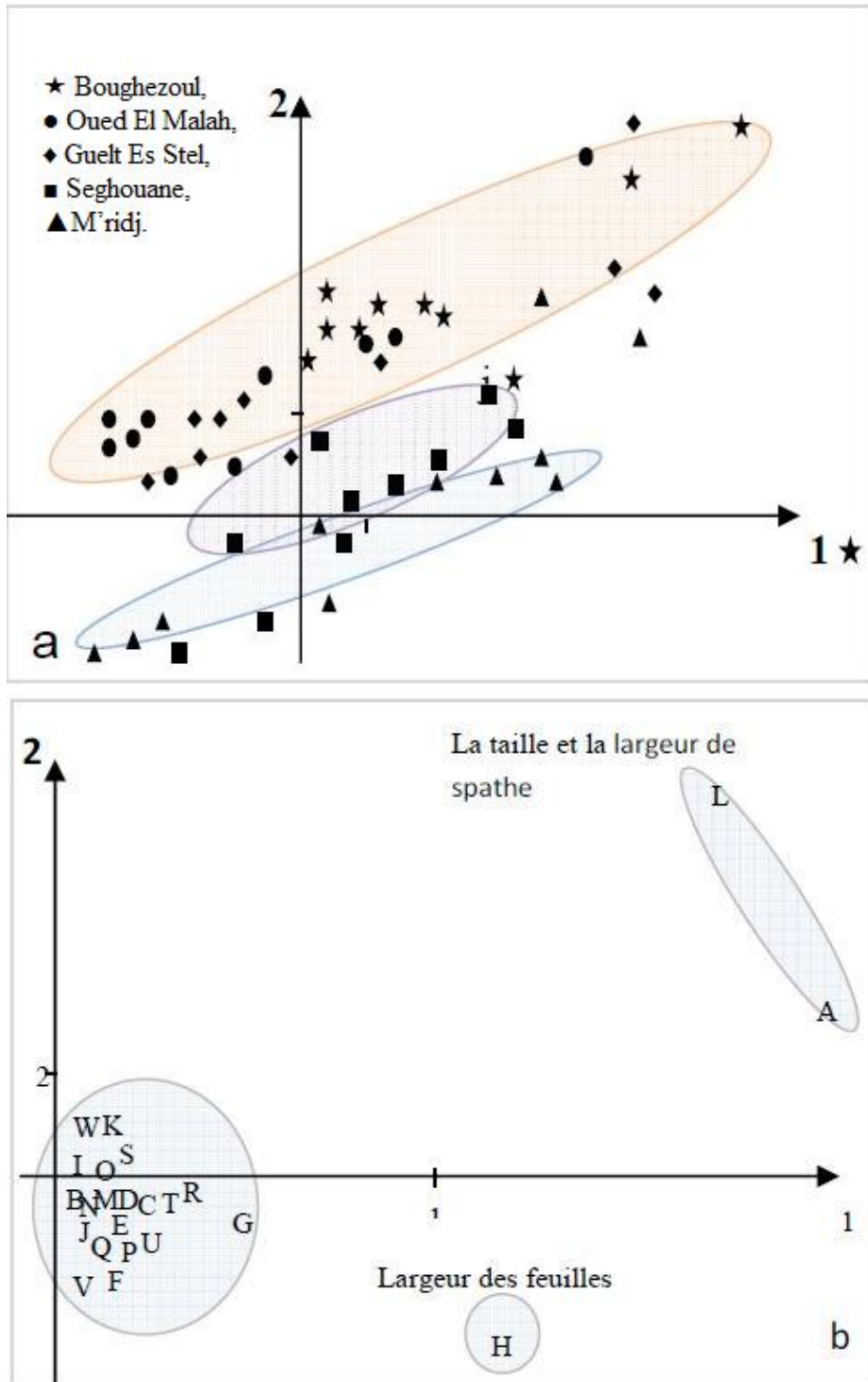
Nous présenterons successivement les résultats des analyses multivariées obtenus en ACP, AFC et CAH.

### *Analyse en Composantes Principales (ACP)*

Les valeurs propres et les taux d'inertie des quatre premières composantes sont donnés dans le Tab. 4. Les 3 premiers axes totalisent près de 80% de l'information.

**Tableau 4.** Valeurs propres et taux d'inertie de l'ACP des populations de *Gagea* pour les quatre premières composantes

<b>Axe</b>	<b>Eigenvalue</b>	<b>Percent</b>	<b>Cumulative</b>
<b>1</b>	13.4005 949	58.2635	58.2635
<b>2</b>	3.01763821	13.1202	71.3836
<b>3</b>	1.93394909	8.40850	<b>79.7921</b>
<b>4</b>	1.33189123	5.79080	85.5829



**Figure 7.** Analyses en Composantes Principales basées sur les caractères morphologiques de 51 individus des 5 populations appartenant aux 3 espèces de *Gagea* :

- Projection des individus dans le plan des axes 1-2.
- Représentation des variables.

### ***Répartition des individus***

La distribution de 51 individus sur le plan des axes 1 et 2 (Fig. 7) permet d'observer le degré de regroupement des individus et des populations.

On distingue 3 groupes d'individus (Fig. 7a):

- Le groupe 1 rassemble sur le coté positif de l'axe 2, la majorité des individus des 3 populations correspondant à *G. reticulata* (Boughezoul, Oued El Malah, Guelt Es Stel).
- Le groupe 2 vers l'origine des axes, concerne les individus de la population de Seghouane correspondant à *G. mauritanica*.
- Le groupe 3 regroupe sur le coté négatif de l'axe 1 et du coté positif de l'axe 2, les autres individus de la population du M'ridj correspondant à *G. arvensis*.

### ***Répartition des variables***

La projection des variables sur le plan 1-2 du cercle des corrélations, est donnée dans la Fig.7b. On peut distinguer trois groupes de caractères fortement corrélés entre eux:

- Le groupe 1 est constitué des deux caractères des spathes, A (la longueur) et L (la largeur) qui sont très corrélés entre eux. Ils se situent aux extrémités positives des deux axes 1 et 2 et donc contribuent significativement à la distribution des individus.
- Le groupe 2 n'est constitué que d'un seul caractère H relatif à la longueur des feuilles. Il se positionne dans la partie négative de l'axe 2.
- Le groupe 3 est constitué de la majorité des caractères qui sont répartis autour de l'origine des axes. Ils sont fortement corrélés entre eux mais n'ont aucune implication sur la répartition des individus.

### ***Analyse factorielle des correspondances (AFC)***

Cette analyse est réalisée à partir d'une matrice binaire sur la base de 23 caractères et 57 classes de modalités de variables. Nous avons retenu les axes factoriels (1, 2 et 3) qui cumulent près de 52% du taux d'inertie (Tab. 5).

**Tableau 5.** Valeurs propres et taux d'inertie de l'AFC de *Gagea* pour les 4 premiers axes factoriels

Axe	Eigenvalue	Percent	Cumulative
1	0.43790	29.47	29.47
2	0.19310	13.00	42.47
3	0.13800	9.290	<b>51.76</b>
4	0.10310	6.940	58.70

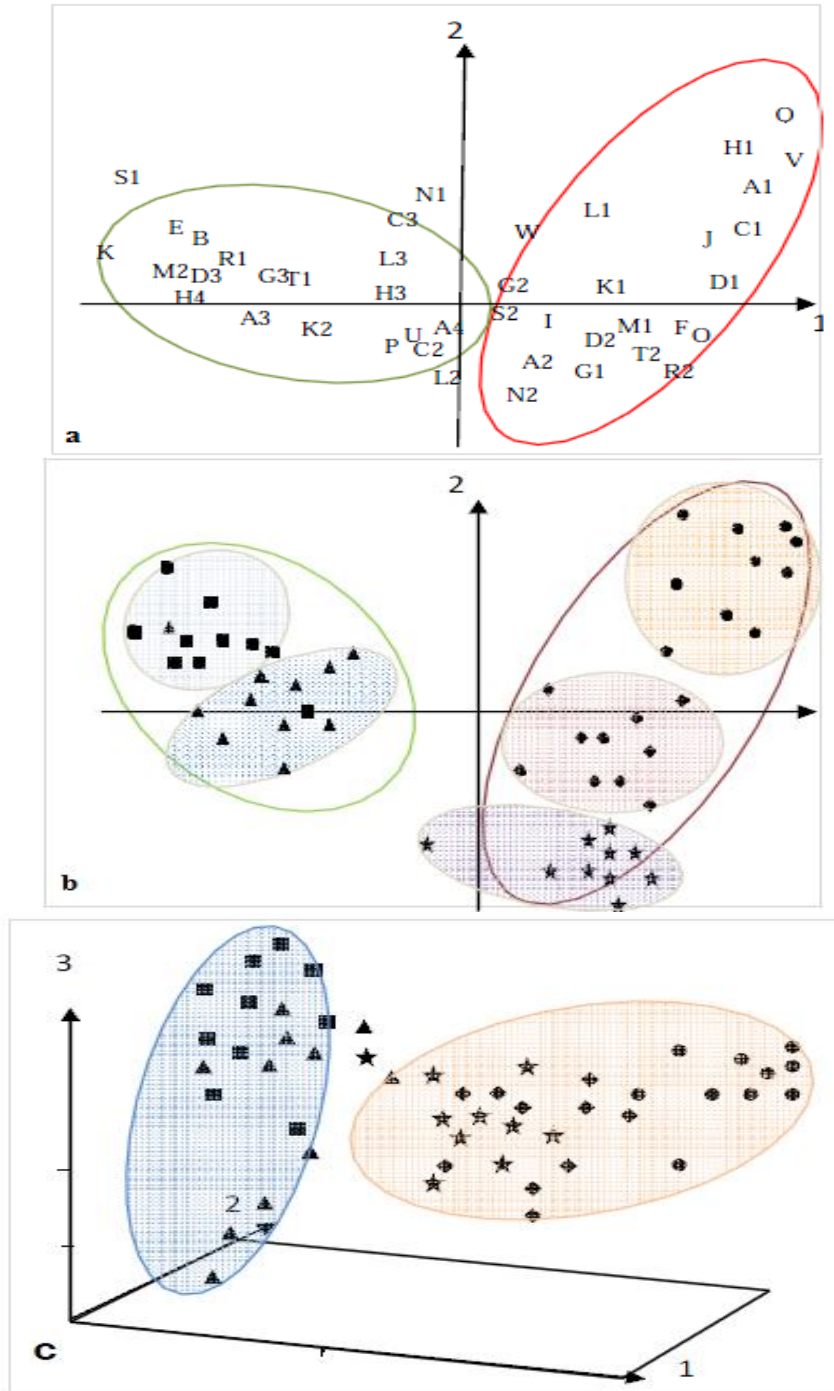
### *Répartition des individus*

La projection des individus sur les plans des axes 1 et 2, fait apparaitre ici 2 grands ensembles I et II (Fig. 8a):

- L'ensemble I regroupe tous les individus des populations de *G. mauritanica* (Seghouane) et de *G. arvensis* (M'ridj). Les individus se répartissent sur la partie négative de l'axe 1. Tout en étant très proches, on remarque que les deux espèces de *G. arvensis* et *G. mauritanica* restent individualisées.

- L'ensemble II est plus largement distribué. Il regroupe sur le long de l'axe 2 et dans la partie positive de l'axe 1, tous les individus des populations de Guelt Es Stel, Boughezoul, Oued El Malah correspondant à *G. reticulata*.

La projection dans l'espace des axes 1-2-3 (Fig. 8c) exprime le même résultat : les affinités taxonomiques entre *G. mauritanica* et *G. arvensis* par opposition à *G. reticulata*.



**Figure 8.** Analyse factorielle des correspondances des populations de *Gagea* :

- a. Projection des caractères dans le plan des axes 1-2;
- b. Projection de 51 individus dans le plan des axes 1-2;
- c. Projection des individus dans l'espace des 3axes.

- ★ Boughezoul
- Oued El Malah,
- ◆ Guelt Es Stel,
- Seghouane,
- ▲ M'ridj.

### ***Répartition des variables***

La projection des 44 modalités de variables montre une distribution en 2 ensembles selon un gradient de taille principalement le long de l'axe 1 (Fig.8c):

- L'ensemble 1 regroupant les modalités de petites valeurs (classes 1 et 2) et qui se situe dans la partie positive de l'axe 1.
- L'ensemble 2 regroupant les modalités de grande taille (classe 3 et 4) principalement réparties le long de la partie négative de l'axe 1.

### ***Classification ascendante hiérarchique (CAH)***

Le dendrogramme des distances euclidiennes construit à partir de la matrice des données brutes est présenté dans la Fig. 9.

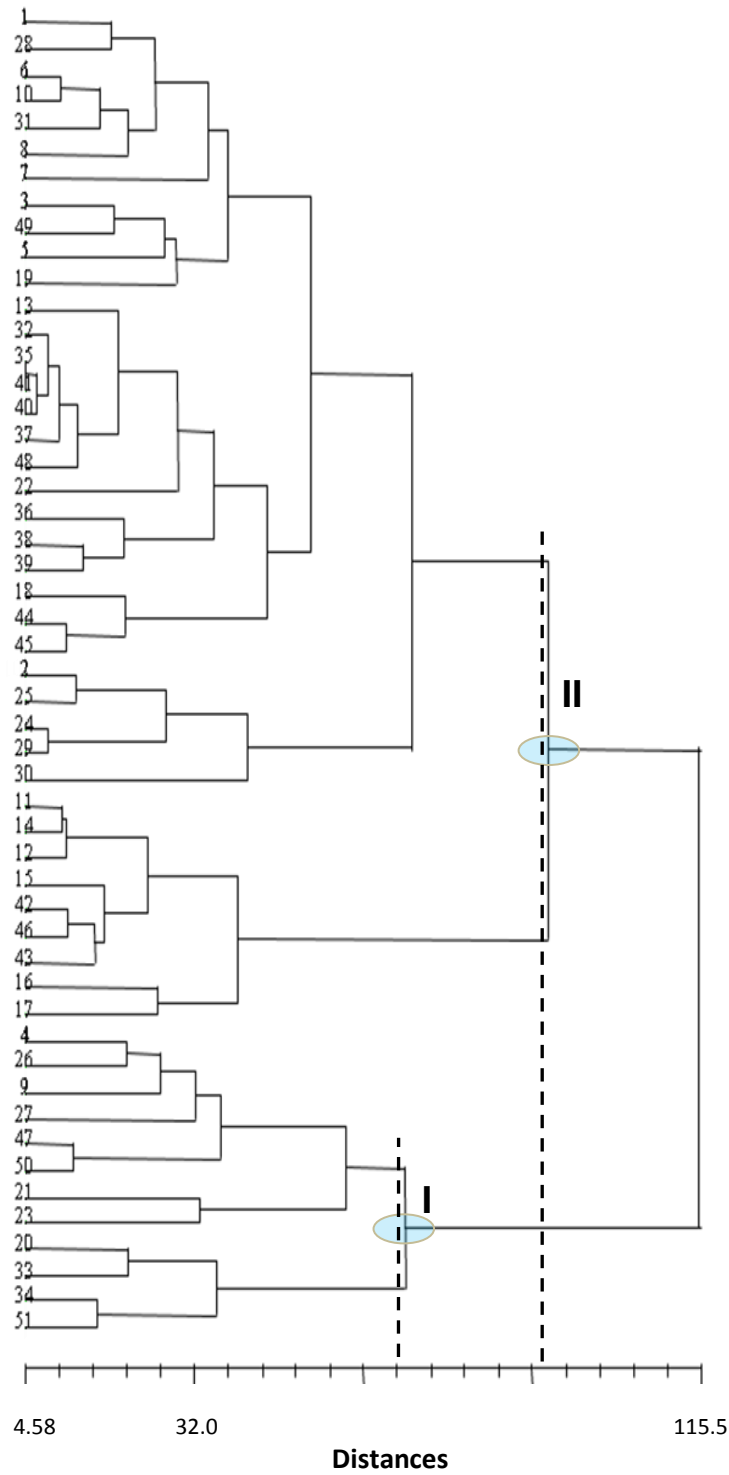
Au taux de similitude supérieur à 88, deux grands ensembles I et II se dégagent.

- L'ensemble I regroupe la majorité des individus de *G. reticulata* (Guellet Es Stel).
- L'ensemble II regroupe le reste des individus appartenant aux différentes populations de *G. arvensis* et *G. mauritanica*. Cet ensemble II se subdivise à son tour au taux de similitude supérieur à 60 en 2 sous-ensembles.

La répartition des individus dans ces 2 sous-ensembles ne semble pas avoir de signification taxonomique.

**En conclusion**, le genre *Gagea* présente une grande variabilité morphologique (Schnittler *et al.*, 2009). Le nombre d'espèces rapportées diffèrent selon les auteurs avec la description récente de nouvelles espèces (Ferrer-Gallego & Guara Requena, 2007).

Nos résultats montrent que pour le matériel algérien, les 3 taxons analysés *G. mauritanica*, *G. arvensis* et *G. reticulata* sont nettement distincts morphologiquement. L'analyse des correspondances indique que la taille de l'individu (A), la longueur des feuille (L) et celle du pédoncule floral (H) sont les plus discriminants.



**Figure 9.** Dendrogramme des distances euclidiennes entre les individus du genre *Gagea*.  
 Le clade I est constitué par les individus 51, 34, 33, 20, 23, 21, 50, 47, 9, 26, 4 ; le clade II par les autres individus.

### 1.3. Analyses caryologiques

Les analyses caryologiques ont été effectuées sur deux taxons: *Gagea reticulata* de la station de Oued El Maleh et *Gagea sp.* de la station de Sidi Aissa.

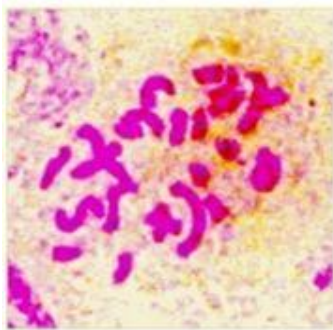
#### 1.3.1. Cytotype à $2n=24$ [*Gagea reticulata*]

##### *Dénombrement chromosomique*

Les dénombrements chromosomiques ont été réalisés pour la population d'Oued El Maleh à partir de mitoses des carpelles (Fig.10). Un nombre chromosomique diploïde de  $2n = 2x = 24$  est établi sur la base d'observations de plus de 80 métaphases issues de 10 individus.

##### *Caryotype*

Le caryotype est constitué de 7 paires chromosomiques submétacentriques et 5 paires métacentriques. Les chromosomes sont relativement de taille moyenne. La formule caryotypique est  $7sm+5m$ .



a



b

**Figure 10.** Métaphase et caryotype de *Gagea reticulata* ( $2n = 2x = 24$ ).

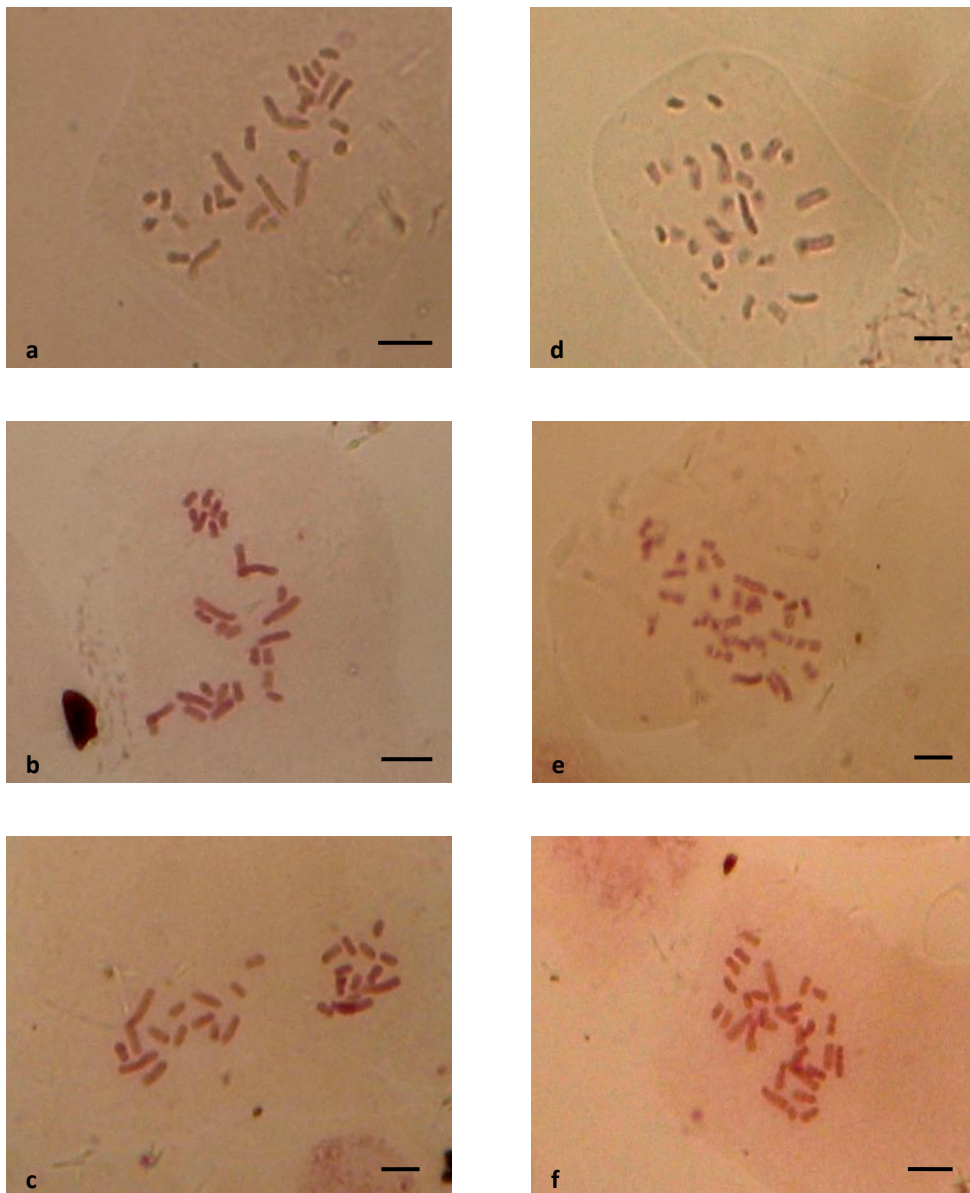
a. Plaque métaphasique;

b. Caryotype.

### 1.3.2. Cytotype à $2n=30$ [*Gagea* sp.].

#### *Dénombrement chromosomique*

Le dénombrement chromosomique des individus de la station de Sidi Aissa a été réalisé à partir de 104 plaques métaphasiques. Les observations révèlent une variabilité dans le nombre chromosomique au sein de la même population étudiée  $2n = 28, 30$ . D'autres nombres de chromosomes ont été observés  $2n = 27, 29$ . La Fig. 11 illustre différentes métaphases chez *Gagea* sp. de Sidi Aissa) avec  $2n = 28$  et  $2n = 30$ .



**Figure 11.** Métaphases somatiques de *Gagea* sp. Population de Sidi Aissa (a, b, c)  $2n = 28$  ; (d, e, f)  $2n = 30$ . La barre = 5µm.

### **Idiogramme**

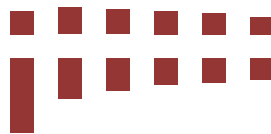
Pour nos analyses caryologiques, nous avons pris en considération le nombre  $2n = 30$ , car c'est le nombre le plus fréquent. Un idiogramme a été effectué pour la population de *Gagea sp.* de Sidi Aissa (Fig. 12). Les valeurs trouvées des différents paramètres sont consignés dans le Tab. 6. Les paires de chromosomes sont classés par ordre décroissant de longueurs des chromosomes (LT), les bras longs des chromosomes sont disposés vers le bas.

L'idiogramme de *Gagea sp.* ( $2n = 30$ ) avec  $x = 6$  est constitué de 6 paires de chromosomes dont 1 de type subtélocentrique et les 5 restantes sont métacentriques. La formule du caryotype est: 1st + 5m.

**Tableau 6.** Paramètres statistiques du caryotype  $2n = 30$ ,  $x = 6$  (*Gagea sp.*).

<b>P.C.</b>	<b>BL</b>	<b>BC</b>	<b>R</b>	<b>LT</b>	<b>IC</b>	<b>Type</b>
1	3.92	1.16	3.39	5.08	22.79	st
2	2.07	1.44	1.43	3.51	41.07	m
3	1.66	1.27	1.30	2.93	43.41	m
4	1.43	1.15	1.24	2.59	44.60	m
5	1.27	1.07	1.19	2.34	45.73	m
6	1.14	0.88	1.30	2.02	43.54	m

**P.C.** Paires chromosomiques; **BL.** Bras long; **BC.** Bras Court; **r** = rapport BL/BC; **LT.** Longueur totale; **IC.** Indice centromérique =  $BC/LT \times 100$ ; **St.** subtélocentrique; **m.** métacentrique les valeurs sont exprimée en  $\mu\text{m}$ .



**Figure 12.** Idiogramme du caryotype à  $x = 6$  (*Gagea sp.*).

La longueur totale des 6 paires de chromosomes représentés sur l'idiogramme (nombre de base) est approximativement de  $18,48\mu\text{m}$  quant au LTC il est de  $43,70\mu\text{m}$ , les chromosomes sont de petite taille, avec une longueur moyenne de chromosomes, représentés sur l'idiogramme, comprise entre la plus petite  $2.02 \mu\text{m}$  et la plus grande  $5.08 \mu\text{m}$ . Les chromosomes semblent

dépourvus de satellites. L'indice centromérique varie entre 22.78 et 45.73 %. La seule paires subtélocentriques est la plus grandes, avec une taille de 5.08  $\mu\text{m}$ , tandis que les 5 paires métacentriques sont variables dans leurs tailles qui sont respectivement de 3.51  $\mu\text{m}$ , 2.93  $\mu\text{m}$ , 2.59  $\mu\text{m}$ , 2.34  $\mu\text{m}$  et 2.02  $\mu\text{m}$ .

### 1.3.3. Discussion

Le genre *Gagea* forme une grande variabilité chromosomiques avec ( $2n = 18, 24, 36, 48, 60, 72, 96, 108, 132$ ) et un niveau de ploïdie variant de  $2x$  à  $12x$  (Gutierrez & Vazquez, 2009). *Gagea reticulata* est considérée comme un complexe spécifique avec un centre d'origine situé en Iran (Zarrei *et al.*, 2012).

Les échantillons algériens de *G. reticulata* sont diploïdes avec  $2n = 2x = 24$  ( $x = 12$ ). Ce nombre correspond à celui rapporté dans des populations italiennes (Perruzzi & Aquaro, 2005) et Iraniennes (Ghaffari, 2008). Il est aussi mentionné chez d'autre espèces comme *G. minima* (Perruzzi & Aquaro 2005), *G. graeca*, *G. trinervia*, *G. sicula* et *G. tisoniana* (Perruzzi, 2008 Perruzzi *et al.*, 2008).

La deuxième espèce étudiée *Gagea sp.* présente un cytotype majoritairement à  $2n = 30$  chromosomes. Un autre nombre, beaucoup moins fréquent, de  $2n = 28$  chromosomes a été observé. La valeur LTC du cytotype  $2n = 30$  est égale à 43,70  $\mu\text{m}$ . Les chromosomes sont de petite taille (1.88  $\mu\text{m}$ -4.90  $\mu\text{m}$ ). Ce nombre est conforme avec les données sur plusieurs espèces méditerranéennes de *Gagea* indiquant une taille moyenne des chromosomes comprise entre  $1.17 \pm 0.36$   $\mu\text{m}$  et  $4.49 \pm 1.31$   $\mu\text{m}$  et une valeur LTC comprise entre  $21,80 \pm 1,58$   $\mu\text{m}$  et  $42,69 \pm 4,80$   $\mu\text{m}$  (Perruzzi, 2008; Perruzzi *et al.*, 2009). Les chromosomes chez le genre *Gagea* sont assez petits si nous les comparons avec d'autre genre de la sous famille des Lilioideae (Perruzzi *et al.*, 2009).

Les deux nombres chromosomiques  $2n=28$  et  $2n=30$  peuvent être dus à des erreurs de comptage. Ils pourraient exprimer aussi une aneuploïdie à l'issue soit d'une délétion soit d'une addition chromosomique ou encore à la présence de chromosomes B.

Chez le genre *Gagea*, le nombre de base admis par la grande majorité des auteurs est  $x = 12$ . Ce nombre de base fait débat, en effet, Löve & Löve (1961) avaient déjà indiqué un nombre  $x = 6$  pour ce genre. Récemment, Peterson *et al.*(2004) ont évoqué aussi la possibilité chez les

Liliales et donc des *Gagea*, d'une évolution des caryotypes à partir de cytotypes ancestraux ayant un nombre de base  $x = 6$ ,  $x = 7$  ou  $x = 8$ . Ainsi, le nombre  $2n = 2x = 12$  pourrait correspondre à un polyploïde avec  $x = 6$  soit  $2n = 4x = 12$ .

Dans ce cas, le nombre trouvé dans la steppe algérienne, serait un pentaploïde avec  $2n = 5x = 30$ .

Le nombre  $2n = 18$  cité chez *G. schachimardanica* par Davlianidze & Levichev (*in* Perruzi, 2003), correspondrait au niveau triploïde  $2n = 3x = 18$ .

Finalement, la présence dans la steppe algérienne des *Gagea* polyploïdes, est remarquable. De plus, l'asymétrie du caryotype observé chez *Gagea sp*, indiquerait un processus évolutif en cours (Stebbins, 1971).

## 2. Variabilité et relations interspécifiques dans le genre *Iris*

Selon Goldblatt *et al.* (2008), le genre *Iris* L. (1753) appartient à l'ordre des Asparagales, famille des Iridaceae, sous-famille des Iridoideae, tribu des Irideae.

Le genre *Iris* L. compte environ 300 espèces (Yu *et al.*, 2009). Il a une aire de distribution qui s'étend de la méditerranée jusqu'à l'Asie centrale mais aussi en Amérique du Nord. (Goldblatt *et al.*, 2008). Pour l'Afrique du nord, Maire (1959), avait décrit 7 sous-genres (*Eransia*, *pogoniris*, *Oncocyclus*, *Apogon*, *Juno*, *Xiphion* et *Gynandriris*) et 23 espèces dont 9 présentes en Algérie (Quézel & Santa, 1962): *I. tingitana*, *I. unguicularis*, *I. pseudoacorus*, *I. foetidissima*, *I. spuria*, *I. planifolia*, *I. juncea*, *I. sisyrinchium*, *I. xiphium*, les 2 premières espèces sont endémiques.

### 2.1. Déterminations taxonomiques

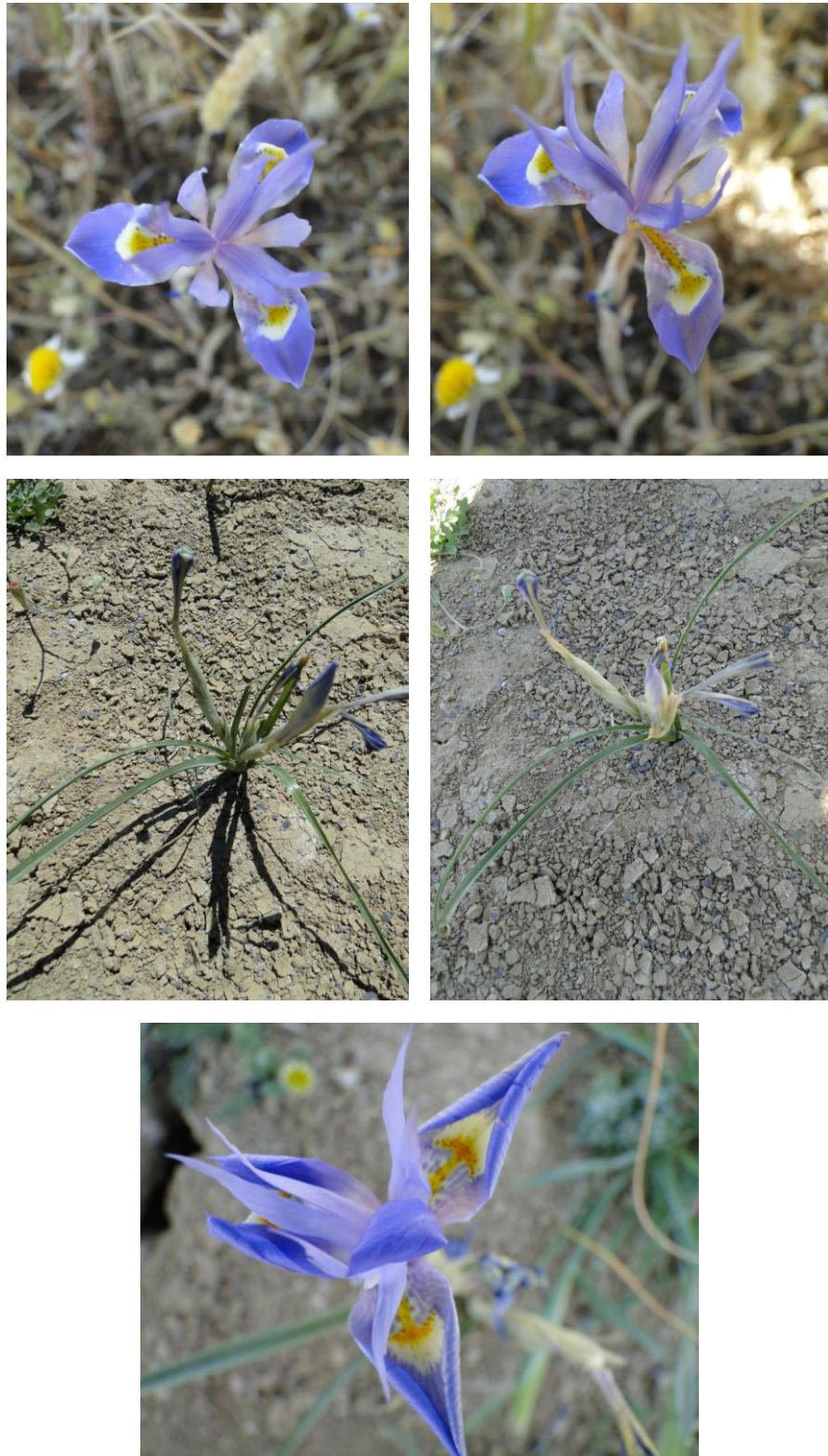
Les populations traitées de Boughezoul et Sidi Aissa se rattachent au complexe *Iris sisyrinchium* L. (1753) (Fig. 13). Toutefois, les déterminations taxonomiques restent imprécises car *I. sisyrinchium* est très polymorphe.

#### *Iris sisyrinchium* L. (1753)

- ≡ *Iris collina* Salisb., Prodr. Stirp. Chap. Allerton: 45 (1796), nom. superfl.
- ≡ *Moraea sisyrinchium* (L.) Ker Gawl., Ann. Bot. (König & Sims) 1: 241 (1804).
- ≡ *Gynandriris sisyrinchium* (L.) Parl., Nuov. Gen. Sp. Monocot.: 52 (1854).
- ≡ *Xiphion sisyrinchium* (L.) Baker, J. Bot. 9: 42 (1871).
- ≡ *Helixyra sisyrinchium* (L.) N.E.Br., Trans. Roy. Soc. South Africa 17: 349 (1929)

Ce sont des plantes à tubercule bulbiforme plein (sans écailles); à tuniques nombreuses; les externes se désagrégant en fibres noirâtres. Tige grêle, ne dépassant pas (cas extrême) 45 cm de long. Feuilles flexueuses. Fleurs délicates, de couleur variable (bleues, violettes, pourpres ou blanches), à limbe des divisions externes présentant sur la face intérieure une tache jaune claire bordée de blanc. Capsule oblonguelinéaire se prolongeant en rostre grêle. Graines brunes.

*I. sisyrinchium* n'est toutefois pas accepté par Goldblatt & Manning (2013); Dobignad (2014); Euro-Med plantBase (2014); Barker & Govaerts (2014). Il est synonyme de *Moraea sisyrinchium* (L.) Ker Gawl. Les autres synonymes homotypiques indiqués ci-dessus, traduisent la complexité systématique de ce taxon.

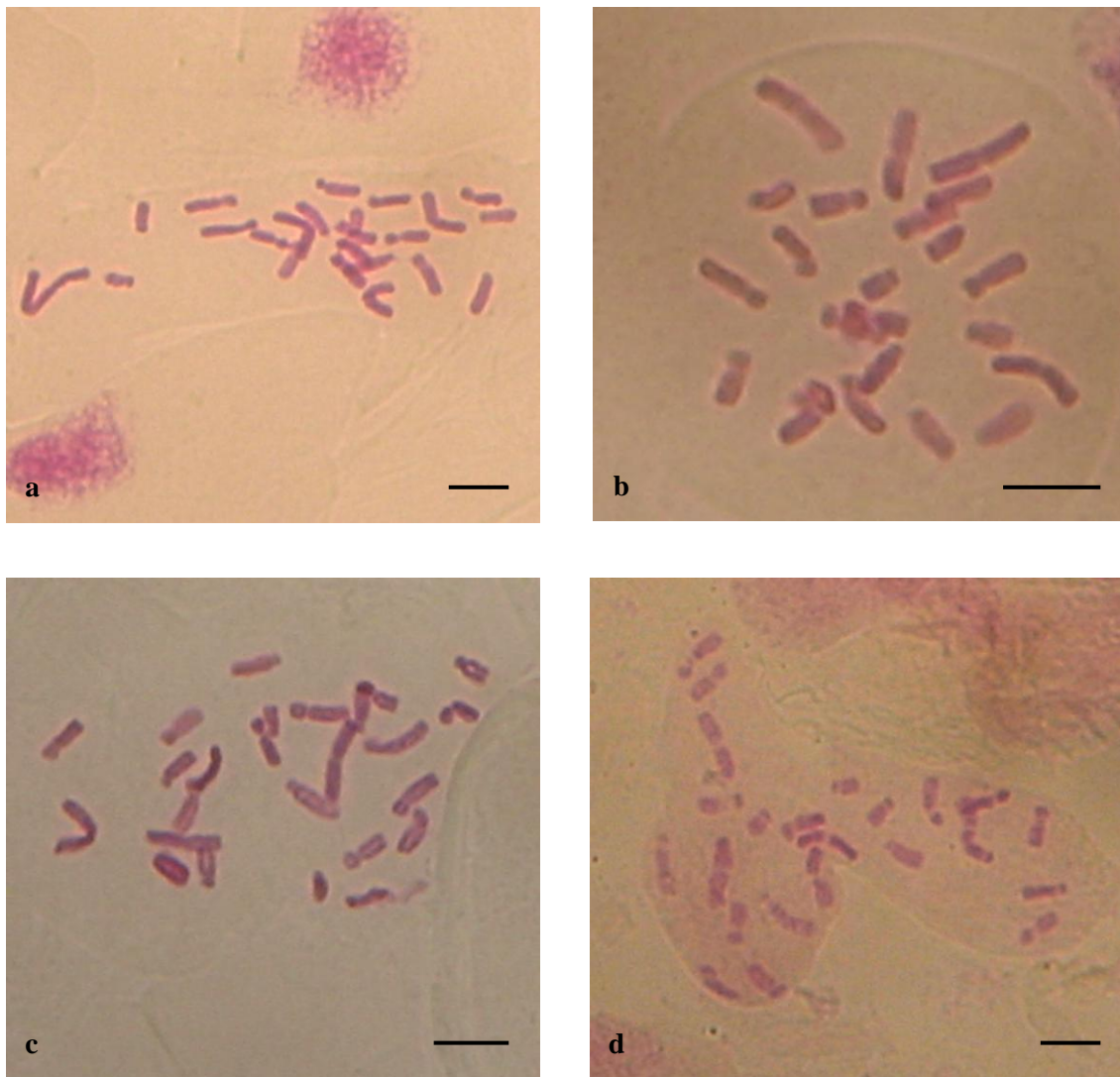


**Figure 13.** Photographies prises sur le terrain d'*Iris sisyrinchium* de la station de Sidi Aissa.  
Photos R. Amirouche.

## 2.2. Analyses caryologiques

### *Dénombrement chromosomique*

Le dénombrement chromosomique de 193 plaques métaphasiques, relatif aux échantillons d'*Iris sisyrinchium* prélevée à Boughezoul et à Sidi Aissa, relève un nombre chromosomique de  $2n = 24$  chromosomes. Les analyses caryologiques montrent une stabilité dans le nombre pour les deux populations étudiées. La Fig. 14 illustre différentes métaphases somatique chez *I. sisyrinchium* avec  $2n = 24$ .



**Figure 14.** Différentes métaphases somatiques chez *I. sisyrinchium* avec  $2n = 24$  chromosomes (a, b) Boughezoul; (c, d) Sidi Aissa. La barre = 10  $\mu$ m.

### **Idiogramme**

Les valeurs trouvées des différents paramètres pour la réalisation de l'idiogramme de la population d'*I. sisyrinchium* (Fig. 15), sont rapportés dans le Tab. 7.

L'analyse du caryotype ( $2n = 24$ ) montre 12 paires de chromosomes dont 2 chromosomes de type métacentrique ; les 10 restants sont submétacentriques.

La formule du caryotype est :  $2m + 10sm$ .

**Tableau 7.** Paramètres statistiques pour l'établissement de l'idiogramme d'*Iris sisyrinchium*  $2n = 24$

<b>P.C.</b>	<b>BL</b>	<b>BC</b>	<b>IC</b>	<b>Type</b>
1	5.79	5.19	47.23	m
2	5.00	4.55	47.63	m
3	5.78	2.11	26.78	sm
4	5.37	1.94	26.52	sm
5	4.97	2.07	29.44	sm
6	4.52	2.05	31.19	sm
7	4.51	1.87	29.27	sm
8	4.53	1.66	26.86	sm
9	3.99	1.92	32.41	sm
10	3.75	1.68	30.86	sm
11	3.47	1.43	29.14	sm
12	3.01	1.29	29.97	sm

**P.C.** paires chromosomiques; **BL.** Bras long; **BC.** Bras Court; **r** = rapport BL/BC; **IC.** Indice centromérique =  $BC/LT \times 100$ ; **Sm.** submétacentrique; **m.** métacentrique les valeurs sont exprimée en  $\mu m$ .



**Figure 15.** Idiogramme haploïde d'*Iris sisyrinchium* ( $n = 12$ ).

La longueur totale des chromosomes est approximativement de 82,45 $\mu\text{m}$ , avec une longueur moyenne de chromosomes comprise entre la plus petite 4.29  $\mu\text{m}$  et la plus grande 10.98  $\mu\text{m}$ . Les chromosomes semblent dépourvus de satellites. L'indice centromérique varie entre 26.52 et 47.63 %. Les 2 paires métacentriques représentent les paires les plus grandes, avec des tailles respectivement 10.98  $\mu\text{m}$  et 9.55 $\mu\text{m}$ , tandis que les 10 paires submétacentriques sont variables dans leurs tailles qui ne dépassent pas 8 $\mu\text{m}$ .

### 2.3. Discussion

Les nombres chromosomiques ( $2n$ ) dans la famille des Iridaceae varient de 6 à environ 230, ce qui suggère que la polyploïdie a joué un rôle important dans l'évolution des espèces de cette famille (Alves *et al.*, 2011). Cette variabilité est probablement liée selon Souza-Chies *et al.* (2012) à des cycles de polyploïdie et dispoloïdie descendante. La néopolyploïdie est aussi commune chez cette famille, au niveau intra- spécifique et intra-générique, surtout dans l'hémisphère Nord. Chez le genre *Moraea* Mill. = *Iris* L., le nombre de base ancestral est de  $x = 10$ . Un réarrangement chromosomique conduisant à des numéros de base réduit a eu lieu chez le sous-genre Polyanthes ( $x = 10$ ), dans lequel quatre sections, parmi elles *Gynandriris*, ont un nombre de base de  $x = 6$ . (Golblatt & Manning, 2013).

Les résultats obtenus dans notre étude réalisée sur la caryologie de l'espèce *Moraea sisyrinchium* rencontré à Boughezoul et Sidi Aissa, font apparaître un nombre chromosomique stable  $2n = 24$ .

Ce nombre est fréquemment cité dans la littérature. *Moraea sisyrinchium* (L.) Ker Gawl. serait tétraploïde avec  $2n = 24$  (Goldblatt, 1980b; Golblatt & Manning, 2013).

Le nombre  $2n = 24$  a également été observé chez *M. mediterranea* et *M. simulans* (Goldblatt, 1980b); *M. crista*, *M. marlothii*, *M. collina* (Goldblatt, 1980a). D'autres données cytologiques effectuées par Mao & Xue (1986) sur *Iris japonica* relèvent aussi le nombre chromosomique  $2n = 24$ .

Ce nombre chromosomique  $2n = 24$  chez l'espèce *M. sisyrinchium* correspond au niveau tétraploïde, avec  $x = 6$  et une formule caryotypique de  $2m + 10sm$ . Aucun satellite n'est observé dans cette espèce, ce qui est conforme avec les résultats de Chakhgari *et al.*, (2013) pour la même espèce cependant cette dernière a un nombre chromosomique  $2n = 32$  avec une longueur relative des chromosomes qui va de 18,88 $\mu\text{m}$  à 3,17 $\mu\text{m}$  semblablement a nos résultats ou ça

varie de 18,32  $\mu\text{m}$  à 05,21  $\mu\text{m}$ . Les chromosomes de toutes les espèces de *Moraea* et la plupart des autres espèces des Iridoideae , sont relativement grands par rapport à ceux des autres sous-familles des Iridaceae (Goldblatt & Takei 1997).

Un caryotype caractérisé par la prédominance de chromosomes métacentriques ou submétacentriques est dit symétrique ou ancestral. L'asymétrie d'un caryotype est évalué par le déplacement du centromère (du médian/ terminale ou subterminale), ou par la variation de la taille des chromosomes, qui est du aux remaniements chromosomiques (Zuo & Qiong, 2011) ; c'est un bon paramètre pour l'estimation de l'évolution des espèces. L'idiogramme du cytotype tétraploïde de *M. sisyrinchium* est assez homogène avec des chromosomes méta et submétacentriques, il peut être considéré comme symétrique l'asymétrie est donc modérée.

Ce sont surtout des populations européennes qui ont été étudiées. A notre connaissance, aucune étude caryologique détaillée sur le genre *Iris* n'a été réalisée en Algérie.

Dans le sous-genre *Polyanthes*, le caryotype de la section *Gynandriris* est le plus distinctif (Goldblatt & Manning, 2013): Il est constitué d'une longue paire métacentrique, une petite paire métacentrique et quatre subtélocentriques de taille moyenne, avec un ou parfois deux grands satellites sur leurs bras courts. Les polyploïdes *M. monophylla* et *M. sisyrinchium* ont le même caryotype représenté par deux ensembles de paires de chromosomes, correspondant aux caryotypes diploïdes. Cela est conforme avec une origine de  $x = 6$  dans la sect. *Gynandriris* et ainsi pour la sect. *polyanthes* et sect. *Pseudospicatae*, mais peut-être pas pour la sect. *Hexaglottis*. (Goldblatt & Manning, 2013).

La formule caryotypique des *Iris*, la polyploïdie et le réarrangement chromosomique ont un rôle important dans la procédure de spéciation des *Iris*. En outre, l'existence de plusieurs chromosomes différents dans chaque espèce peut impliquer l'adaptation de cette espèce avec les circonstances écologiques.

### 3. Variabilité et relations interspécifiques dans le genre *Allium*

D'après Takhtajan (1997) et APG III (2009), le genre *Allium* L. (1753) est classé dans la sous-famille des Alliioideae, famille des Amaryllidaceae, ordre des Asparagales.

Ce genre comprend plus de 800 espèces (Fritsch *et al.*, 2010), ce qui en fait l'un des plus grand parmi les monocotylédones. Il est largement répandu à travers le domaine holarctique, des subtropicales sèches à la zone boréale. Son centre de diversité s'étend du bassin méditerranéen à l'Asie centrale et au Pakistan. Un deuxième centre moins diversifié est situé en Amérique du Nord (Li *et al.*, 2010).

Pour l'Afrique du nord, Maire (1958), avait décrit 36 espèces dont 17 sont présentes en Algérie (Quézel & Santa, 1962) :

*A. trichocnemis*, *A. seirotrichum*, *A. triquetrum*, *A. chamaemoly*, *A. cupani*, *A. subhirsutum*, *A. moly*, *A. nigrum*, *A. roseum*, *A. flavum*, *A. paniculatum*, *A. margaritaceum*, *A. vineale*, *A. sphaerocephalum*, *A. pardoii*, *A. ampeloprasum*, *A. rotundum*) ; les 2 premières espèces sont endémiques strictes.

#### 3.1. Déterminations taxonomiques

Les échantillons prélevés dans la steppe et traités dans cette étude sont apparentés au groupe de l'*Allium cupani* Raf. (1810) (Fig. 16). Dans la flore d'Algérie, ce taxon est caractérisé par un fort polymorphisme et constitue un complexe spécifique, subdivisé en 2 unités: *A. cupani sensu stricto* et *A. hirtovaginatatum*.

##### *Allium cupani* Raf. (1810)

Ce taxon appartient au sous-genre *Allium* L. section *Brevispatha* Valsecchi. Le bulbe est généralement simple oblong 1,4-2,2 cm et produit plusieurs bulbilles. Les tuniques fibreuses, forment un manchon qui adhère solidement à la base du bulbe (Fig. 16b).

La tige est dressée grêle 12-15 cm à feuilles filiformes, faiblement poilues à densément pubescentes. L'ombelle est pauciflore, fastigiée (4 - 7 fleurs) dans une spathe pointue 1,8-2,2 cm (Fig. 16c). Les pédoncules floraux sont inégaux verts ou violacés. Le périanthe est campanulé à tépales blancs pâles et à nervure verte. Les étamines sont incluses à filets simples subulés et soudés entre eux. La capsule est triquète, papyracée, les graines sont noires, aigues à la base et arrondies au sommet.

Maire (1958) cite deux variétés qui ne sont pas évoquées dans la flore de Quézel & Santa (1962):

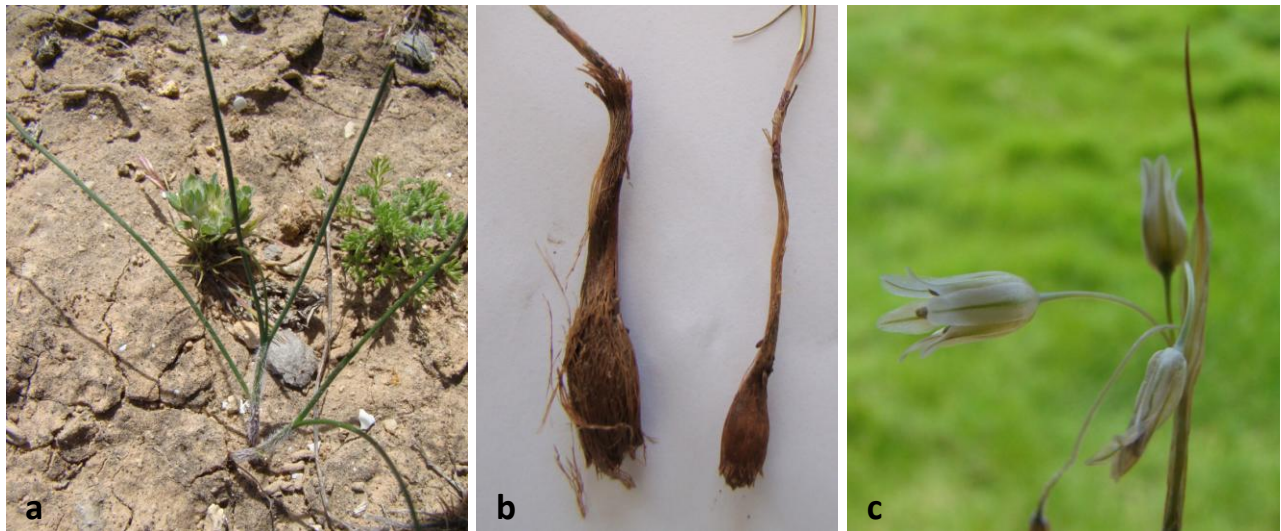
- var. *typicum* Maire (1931).
- var. *hirtovaginatatum* (Kunth) Hal. (1904).

Dans *Flora Europea*, Stearn (1980) élève ces deux taxons au rang de sous-espèces :

*A. cupani* Rafin. subsp. *cupani*, à bulbe conique avec des tuniques fibreuses adhérant à la base. Cette sous-espèce est validée (Dobignad, 2014; *Euro-Med plantBase*, 2014; Barker & Govaerts, 2014).

*A. cupani* subsp. *hirtovaginatatum* (Kunth) Stearn, avec des tuniques détachées de la base des bulbes, elle est à répartition surtout insulaire (Baléares, Chypre) et plus rarement continentale. Ce dernier taxon a été élevée au rang d'espèce (= *A. hirtovaginatatum* Kunth) et validé par Dobignard (2014), *Euro-Med plantBase* (2014), Barker & Govaerts (2014).

C'est à partir des critères caryologiques, surtout le nombre chromosomique, que nous avons fait correspondre les échantillons de la steppe algérienne à *A. cupani* subsp. *cupani* et à *A. cupani* subsp. *hirtovaginatatum*, respectivement pour la population de Sour El Gozlane et de Boughezoul.



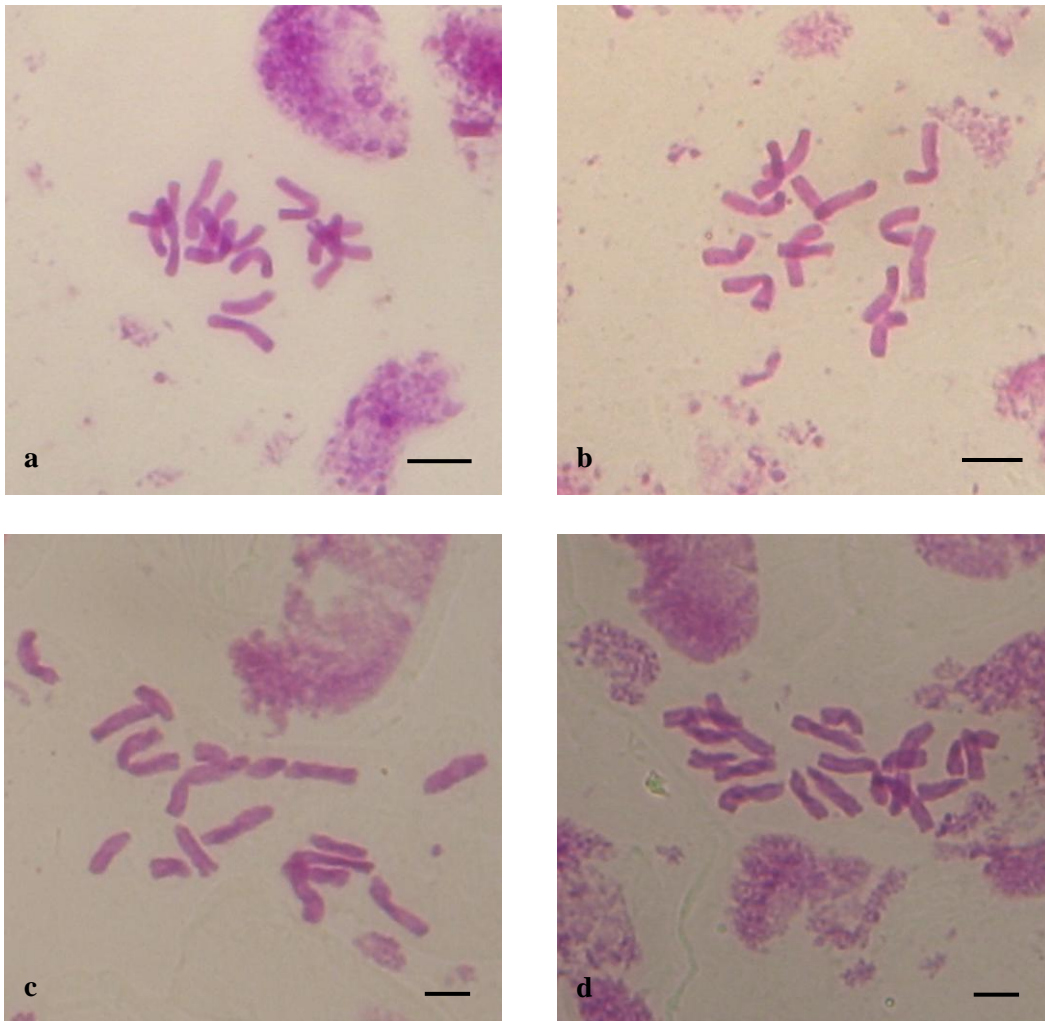
**Figure 16.** Photographies d'*Allium cupani* subsp. *hirtovaginatatum* de la station de Boughezoul. Plante (a), bulbe (b) et inflorescence (c). Photos R. Amirouche.

### 3.2. Analyses caryologiques

#### *Dénombrement chromosomique*

Le dénombrement chromosomique a été réalisé à partir de 109 plaques métaphasiques relatives au complexe *A. cupani*.

Les observations révèlent une variation dans le nombre chromosomique qui est de  $2n = 14$  pour la population de Boughezoul et  $2n = 16$  pour celle de Sour El Ghozlane (Fig. 17).



**Figure17.** Différentes métaphases somatique chez *A. cupani* (a,b) population Boughezoul avec  $2n = 14$  chromosomes; (c, d) Sour El Ghozlane  $2n = 16$ . La barre = 10  $\mu\text{m}$ .

### **Idiogramme**

Des idiogrammes ont été effectués pour les deux populations de Boughezoul ( $2n = 2x = 14$ ) et Sour El Ghozlane ( $2n = 2x = 16$ ) (Fig. 17). Les paramètres des caryotypes sont notés dans le Tab.8 ci-dessous.

Le caryotype d'*A. cupani* subsp. *hirtovaginatium* (Boughezoul  $2n = 14$ ) compte 7 paires de chromosomes dont 6 de type métacentrique et une de type subtélocentrique. La formule du caryotype est :  $6m + 1st$ .

Le caryotype de *A. cupani* subsp *cupani* (Sour El Ghozlane  $2n = 16$ ) comprend 8 paires de chromosomes toutes de type métacentrique avec une formule caryotypique  $8m$ .

**Tableau 8.** Paramètres statistiques pour l'établissement de l'idiogramme d'*Allium cupani*

<b>PC</b>	<b>BL</b>	<b>BC</b>	<b>R</b>	<b>LT</b>	<b>IC</b>	<b>Type</b>
<i>A. cupani</i> subsp. <i>hirtovaginatium</i> (Boughezoul) $2n = 14, x = 7$						
1	7.29	5.69	1.28	12.98	43.86	m
2	6.57	5.24	1.26	11.81	44.34	m
3	6.75	4.54	1.49	11.29	40.22	m
4	5.96	4.81	1.24	10.77	44.68	m
5	5.97	4.34	1.38	10.31	42.08	m
6	5.07	3.80	1.34	8.87	42.80	m
7	6.35	2.06	3.08	8.41	24.52	st
<i>A. cupani</i> subsp <i>cupani</i> (Sour El Ghozlane) $2n = 16, x = 8$						
1	11.09	7.98	1.39	19.06	41.87	m
2	8.79	6.31	1.39	15.09	41.82	m
3	7.31	5.90	1.24	13.21	44.66	m
4	6.83	4.84	1.41	11.67	41.47	m
5	6.50	4.22	1.54	10.72	39.37	m
6	5.58	4.04	1.38	9.61	42.04	m
7	4.36	3.67	1.19	8.03	45.70	m
8	3.91	2.73	1.43	6.65	41.05	m

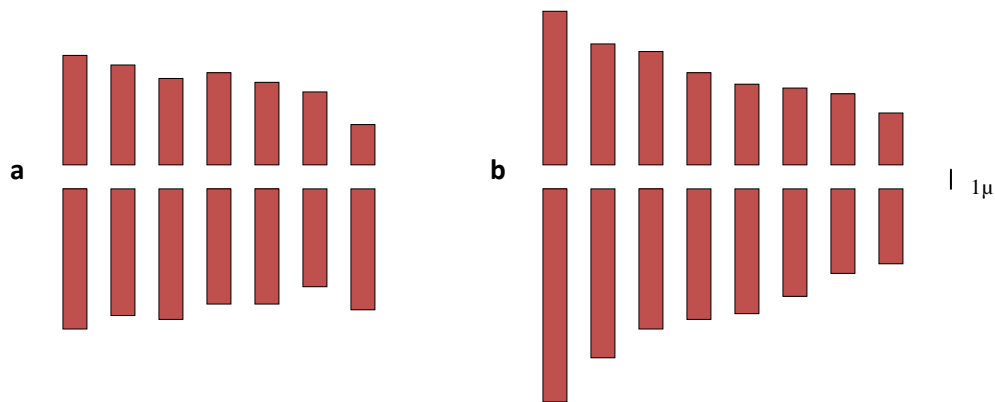
**P.C.** paires chromosomiques; **BL.** Bras long; **BC.** Bras Court; **r** = rapport BL/BC; **LT.** Longueur totale; **IC.** Indice centromérique =  $BC/LT \times 100$ ; **m.** métacentrique les valeurs sont exprimée en  $\mu m$ .

**Cytotype à n = 7 (subsp. *hirtovaginatum*)**

La longueur totale des chromosomes est approximativement de 74,44 $\mu$ m, avec une longueur moyenne de chromosomes comprise entre la plus petite 8.41  $\mu$ m et la plus grande 12.98  $\mu$ m. Les chromosomes semblent dépourvus de satellites. L'indice centromérique varie entre 24.52 et 44.68 %. Les 6 paires métacentriques sont variables dans leurs tailles, elles vont de 8.86  $\mu$ m à 12.98 $\mu$ m, tandis que la seule paire subtélocentrique représente la paire la plus petite qui est de 8.4 $\mu$ m.

**Cytotype à n = 8 (subsp. *cupani*)**

La LTC longueur totale des chromosomes est ici d'environ 94,05 $\mu$ m, avec une longueur moyenne de chromosomes comprise entre 6.65  $\mu$ m et 19.06  $\mu$ m. Les chromosomes semblent dépourvus de satellites. L'indice centromérique varie de 39.36 à 4.70 %. Les 8 paires sont métacentriques et très variables dans leurs tailles.



**Figure 18.** Idiogramme haploïde d'*Allium cupani* **a** (n = 7); **b** (n = 8).

### 3.3.Discussion

Chez les *Alliaceae*, il existe une variation du niveau de ploïdie avec une série de nombre de base  $x = 7, 8, 9, 10$  et  $11$ , le nombre  $x = 8$  est le plus répandu (Miceli & Garbari, 1979). Selon Mes *et al.* (1999), le nombre  $x = 7$  est considéré comme ancestral à partir du quel auraient dérivés les autres nombres par addition de 1 ou 2 chromosomes.

Dans le complexe *A. cupani*, les deux populations de Boughezoul et Sour El Gozlane, sont toutes deux diploïdes avec respectivement  $x = 7$  et  $x = 8$ .

Dans ce complexe spécifique, les deux nombres chromosomiques de base ont été enregistrés par Garbari *et al.* (1979) qui les ont liés aux deux taxons méditerranéens *cupani s.str.* et *hirtovaginum*. Nos données caryologiques appuient donc leur appartenance taxonomique.

Le nombre  $2n = 2x = 14$  trouvé à Boughezoul, a été également rapporté pour des échantillons *A. hirtovaginum*, dans la région de Timgad et du Madrecen et sur le Mont Zaccar (Khedim, 2009; Khedim *et al.*, 2010). Ce même nombre est cité surtout en Méditerranée orientale, en Grèce, dans les Balkans et en Turquie (Garbari *et al.*, 1979; Özhatay, 2002).

Du point de vue symétrie, nos résultats de la structure des chromosomes et de la formule caryotypique, sont conformes à ceux rapportés pour la subsp. *hirtovaginum* (Tzanoudakis *et al.*, 1991).

En ce qui concerne le cytotype à  $x = 8$  (Sour El Ghozlane), il correspond au niveau diploïde et a été rapporté comme subsp. *cupanii* par Özhatay (2002). D'autres données cytologiques pour ce taxon, effectuées par Stearn (1980) relèvent un niveau tétraploïde à  $2n = 4x = 32$ .

Le cytotype  $2n = 16$  est constitué de chromosomes de taille très variable avec une asymétrie inter chromosomiques similaire à celle indiquée par Levan *et al.* (1935) dans le cas de caryotypes à  $x = 8$  et à  $x = 9$ .

## **CONCLUSION**

Des investigations cytotaxonomiques ont été effectuées afin d'appréhender la diversité de quelques Liliales et Asparagales de la steppe algérienne. Les taxa étudiés constituent un modèle de travail très intéressant pour la compréhension du rôle de la polyploïdie dans l'évolution et la structuration écogéographique des espèces.

Le travail s'est articulé autour de populations échantillonnées dans des stations steppiques. Quelques échantillons de bioclimat humide et subhumide ont été intégrés à l'étude à des fins de comparaison.

La première partie de ce travail était consacrée à établir le statut taxonomique des espèces étudiées. L'identification des échantillons récoltés a été réalisée à partir des anciennes flores d'Algérie et à partir des nouveaux référentiels synonymiques des bases de données :

*Gagea reticulata*;

*Gagea arvensis*;

*Gagea mauritanica*;

*Morea sisyrinchium* (= *Iris sisyrinchium*);

*Allium cupani*.

Chez *Gagea*, l'étude de la variabilité morphologique a été menée sur des populations naturelles de *Gagea reticulata* ; *Gagea arvensis* ; *Gagea mauritanica*. Les différentes analyses multivariées (Analyse en Composantes Principales (ACP), Analyse factorielle des correspondances (AFC), Classification ascendante hiérarchique (CAH)) nous montrent que pour le matériel algérien, les 3 taxons analysés sont nettement distincts. L'analyse des correspondances indique que les caractères, longueur du pédoncule floral et longueur des feuilles, sont les plus discriminants.

La troisième partie de ce travail consiste en une analyse caryologique de *Gagea sp.*, *Gagea reticulata* ; *Iris sisyrinchium*, et *Allium cupani*.

*Gagea reticulata* est tétraploïde avec  $2n = 4x = 24$  chromosomes.

*Gagea sp.*, est pentaploïde avec  $2n = 5x = 30$  chromosomes avec des chromosomes en majorité métacentriques.

*Iris sisyrinchium* est tétraploïde  $2n = 4x = 24$  chromosomes ; les chromosomes sont métacentriques et sub-métacentriques.

*Allium cupani* présente deux cytotypes différents sur les deux populations étudiées. Un cytotype diploïde avec  $2n = 2x = 14$  chromosomes avec un nombre de base  $x = 7$  et un autre cytotype diploïde  $2n = 2x = 16$  avec un nombre de base  $x = 8$ .

Nos résultats montrent une manifestation de la polyploïdie dans les zones steppiques.

Un échantillonnage plus large et l'utilisation de techniques supplémentaires telles que le marquage moléculaire, l'hybridation *in situ* et les phylogénies moléculaires, devraient permettre de mieux cerner la diversité, les liens phylétiques et la fragilité caractérisant les taxons algériens.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Alves L.I., Lima S.A.A., Felix L.P. 2011. Chromosome characterization and variability in some Iridaceae from Northeastern Brazil. *Genet Mol Biol* 34:259–267.
- Amirouche R., Misset MT., 2009. Flore spontanée d'Algérie: différenciation écogéographique des espèces et polyploidie. *Cahiers Agricultures* **18** (6): 474-480.
- APG III .2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Bot. J. Linnean Society* 161: 105–121.
- Barker C. & Govaerts R. 2014. World Checklist of Selected Plant Families. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; <http://apps.kew.org/wcsp/> Retrieved.
- Battandier J.A., Trabut L. 1884. *Flore d'Alger et catalogue des plantes d'Algérie*. Monocotylédones. Ed. A. Jourdan, Alger, 208 p.
- Battandier J.A., Trabut L. 1902. *Flore analytique et synoptique de l'Algérie et de la Tunisie*. Edition Vve Girault, Alger.
- Bidault M., 1971. Variation et spéciation chez les végétaux supérieurs. Notions fondamentales de systématique moderne. Ed. Doin, Paris. 145p.
- Bousmaha T. 2012. Contribution à l'étude de l'évolution de la nappe alfatière dans la mise en défens de Nofikha. (Naâma). Thèse Mag., Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen, 87p.
- Bretagnolle F., Felber F., Galame F.G., Kupfer P. 1998 - La polyploidie chez les plantes. *Bot. Helv.* 108: 5-37.
- Chakhgari M., Mozafari J., Lahiji M.F. 2013 Karyotypic Study in Some Iranian Iris species Populations. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. Vol., 4 (S), 3651-3658.
- Cui L., Wall P.K., Leebens-Mack J., Lindsay B.G., Soltis D.E., Doyle J.J., Soltis P.S. 2006. Widespread genome duplications throughout the history of flowering plants. *Genome Research*, 16: 738-749.
- Daoudi A., Benterki N., Terranti S. 2010. La lutte contre la desertification des parcours steppiques : l'approche du développement agro-pastoral intègre. ISDA 2010, Montpellier : France. ISBN/ISSN : 978-2-7380-1284-5.
- Desfontaines A.R., 1798. *Flora Atlantica*. Tome 1. Ed. L.G. Desgranges, Paris.
- Djebaili S. 1978. Recherches phytosociologique et phytoécologique sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doct., Montpellier, 229p.

- Djebaili S. 1984. Steppe Algérienne Phytosociologie et écologie. O.P.U. Alger, 177p.
- Djellouli Y. et Nedjraoui D., 1995. Evolution des parcours méditerranéens. In Pastoralisme, troupeau, espaces et société. Hatier ed. 440-454.
- Djellouli Y. 1990. Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Thèse Doct., USTHB., Alger, 210 p.
- Dobignard A. 2014. African Flowering Plants Database et Index synonymique et bibliographique de la flore d'Afrique du Nord. <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/>
- Doyle J.J., Doyle J.L., Rauscher J.T. & Brown A. H. 2003. Diploid and polyploid reticulate evolution throughout the history of perennial soybeans (*Glycine* subgenus *Glycine*). *New phytol.*, 161: 121-132.
- Doyle J.J., Flagel L.E., Paterson A.H., Rapp R.A., Soltis D.E., Soltis P.S., Wendel J.F., 2008. Evolutionary genetics of genome merger and doubling in plants. *Annual Review of Genetics* 42: 443–461.
- Euro+Med. 2014. *Euro+Med PlantBase* - the information resource for Euro-Mediterranean plant diversity. Published on the Internet. <http://ww2.bgbm.org/EuroPlusMed/> [accessed DATE]
- Ferrer Gallego P. P. & Guara Requena M. 2007. Especies del género *Gagea* Salisb. (Liliaceae) presentes en el levante peninsular Ibérico. *Lagasalia* 27: 31-51 (2007).
- Fritsch R.M., Blattner F.R., Gurushidze M. 2010. New classification of *Allium* L. subg. *Melanocrommyum* (Webb & Berthel) Rouy (Alliaceae) based on molecular and morphological characters. *Phyton* 49: 145–220.
- Garbari F., Greuter W. Miceli P. 1979. The *Allium cupanii* groupe: a preliminary taxonomic, cytological and leaf anatomical study. *Webbia* 34(1): 459-480.
- Ghaffari S.M. 2008. Chromosome reports for some plant species from Iran. *Iran. J. Bot.* 14 (1): 39-46.
- Golblatt P & Manning J.C. 2013. Review of chromosome cytology in *Moraea* (Iridaceae: Irideae): what chromosomes reveal about the evolution of the genus. *Bothalia* 43,1: 43-54.
- Goldblatt P. 1980. Polyploidy in Angiosperms: monocotyledons. In: Lewis W. ed. Polyploidy, biological relevance. New York: Plenum.

- Goldblatt P. 1980a. Redefinition of *Homeria* (Iridaceae) in the light of biosystematic data, with *Rheome* gen. nov. *Botaniska Notiser* 133: 85–95.
- Goldblatt P. 1980b. Systematics of *Gynandriris* (Iridaceae), a Mediterranean–southern African disjunct. *Botaniska Notiser* 133: 239–260.
- Goldblatt P. & Takei M. 1997. Chromosome cytology of Iridaceae-patterns of variation, determination of ancestral base numbers and modes of karyotype change. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 84: 285–304.
- Goldblatt P., Rodriguez A., Powell MP., Davies T.J., Manning J-C., van der Bank M. & Savolainen V. 2008. Iridaceae ‘Out of Australasia’? Phylogeny, Biogeography, and Divergence Time Based on Plastid DNA Sequences. *Systematic Botany*, 33(3): 495–508.
- Gorenflot R. & Raicu P. 1980. Cytogénétique et évolution. Ed. Masson.Paris.198p.
- Gutiérrez M. & Vázquez F.M. 2009. Anotaciones Corológicas a la Flora en Extremadura: 035. *Gagea granatelli* (Parl.)Parl. *Folia Botanica Extremadurensis*, 4: 93-94.
- Hamouche Y., Amirouche N., Misset MT., Amirouche R. 2010 - Cytotaxonomy of autumnal flowering species of Hyacinthaceae from Algeria. *Plant Systematics and Evolution* **285**: (3-4): 177-187.
- Husband B.C. & Saraba H.A., 2003. Reproductive isolation between autotetraploids and their diploid pogenitors in fire weed, *Chamerion angustifolium* (Onagraceae) *New phytol.*,161: 703-713.
- Jahier J., Chèvre A.M. Delourme R. Eber F.S. Tanguy A.M. 1992. Techniques de cytogénétique végétale. ED. INRA, 184p.
- Jiao Y., Wickett N.L., Ayyampalayam S., Chanderbali A.S., Landherr L., Ralph P.E., Tomsho L.P, Y. Hu, Liang H., Soltis P.S., Soltis D.E., Clifton S.W., Schlarbaum S.E., Schuster S.C., Ma H., Leebens-Mack J., dePamphilis C.W. 2011. Ancestral polyploidy in seed plants and angiosperms. *Nature* 473(7345): 97-100.
- Judd, W. S., Campbell C.S., Kellogg E.A., Stevens P. F. 2002 – Botanique systématique, une perspective phylogénétique. Edition de Boek université Université. France. p. 488.
- Kaabeche M. 1990. Les groupements végétaux de la région de Bou Saada (Algérie). Essai de synthèse sur la végétation steppique du maghreb. Thèse doct., Paris-Sud, Centre d’Orasay, 132p.

- Kaabeche M. 2000. Conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles. Guide des habitats aride et saharien. Typologie phytosociologique de la végétation d'Algérie. (Setif, Algérie) p.59.
- Kaabeche M. 2003. Conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles étude sur la réhabilitation de la flore locale au niveau de la réserve d'el Mergueb (Wilaya de M'sila, Algérie).
- Khedim T., 2009. Contribution à la connaissance biosystématique du genre *Allium* (Alliaceae) en Algérie. Thèse de Magister, USTHB., Alger, 99 p.
- Khedim T., Amirouche N., Amirouche R., 2010 - Caractérisation cytotaxonomique du genre *Allium* (Amaryllidaceae) en Algérie. Ann. Inst. Nat. Agron. 31 (1-2): 17-59.
- Kihara H. and Ono T. 1926. Chromosomenzahlen und systematische Gruppierung der *Rumex*-Arten. Zeitschr. f. Zellforsch. *Mikro Anat.* 4: 475-481.
- Le Comber S.C., Ainouche M.L., Kovarik A., and Leitch A.R., 2010. Making a functional diploid: from polysomic to disomic inheritance. *New Phytol.* 186(1): 113-122. doi:10.1111/j.1469- 8137.2009.03117.x. PMID: 20028473.
- Leitch I. J. & Bennett M.D. 1997 - Polyploidy in Angiosperms. Trends in Plant Sciences 2 (12): 470- 476.
- Levan A. 1935. Cytological studies in *Allium* V. The chromosomes morphology of some diploid species of *Allium*. *Hereditas.* 20: 289-330.
- Levan A., Freda K., Sandberg A.A., 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas.* 52: 201-220.
- Lévêque, C. & Mounolou, J.C. 2001. Biodiversité. Dynamique biologique et conservation. Dunod, Paris, 248 pages.
- Li Q-Q., Zhou S-D., He X-J, Yu Y., Zhang Y-C. & Wei X-Q. 2010. Phylogeny and biogeography of *Allium* (Amaryllidaceae: Allieae) based on nuclear ribosomal internal transcribed spacer and chloroplast rps16 sequences, focusing on the inclusion of species endemic to China. *Annals of Botany* 106: 709–733.
- Löve, A. & Löve D. 1961. Chromosome numbers of Central and Northwest European plant species. *Opera bot. (Lund)*, 5, 1-581.
- Lynch M. 2007. The origins of genome architecture. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. 494p.

- Maceira OM.,1990. Signification évolutive de la polyploïdie: Mécanismes et conséquences. Exemple de *Dactylis glomerata* L.(Graminacées) Thèse de Doctorat. Univ. Montpellier II. Sciences et Techniques du Languedoc 123p.
- Maire R. 1953-85. *Flore de l'Afrique du Nord*. Ed. Le Chevalier. Paris. Vol. I – XIV.
- Maire R. 1958. Flore de l'Afrique du Nord. Édition Le chevalier. Paris. Vol. V. p. 243-302.
- Maire R. 1959. Flore de l'Afrique du Nord. Edition Paul Le chevalier. Paris. Vol VI. p. 396.
- Mao, J. Q., & Xue X. J. (1986). Chromosome numbers of thirteen iridaceous species from Zhejiang Province. *Acta Agric. Univ. Zhejiang*. 12.
- Médail F. & Diadema K., 2006. Biodiversité végétale méditerranéenne et anthropisation : approches macro et micro-régionales. *Annales de Géographie*, numéro thématique «Les territoires de la biodiversité», 651: 618-649.
- Médail F. & Quézel P. 1997. Hot-spot analysis for conservation of plants biodiversity in the Mediterranean Basin. *Ann. Mo. Bot. Gard*. 84: 112–127.
- Médail F.& Diadema K., 2009. Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of Biogeography*. 36: 1333-1345. Memtsas D, Dimitrakopoulos PG, Siamantziouras A-SD, Troumbis AY (2002) Changes in structure and function in response to changing diversity within Mediterranean grassland communities. *Ecol Mediterr* 28:5–18.
- Médail F., 2006. Agir pour la conservation de la flore méditerranéenne. *Espaces Naturels*, 15: 17-18.
- Médail F., Baumel A., Diadema K., Migliore J. 2012. La biodiversité végétale méditerranéenne, organisation et évolution. (IMBE, UMR-CNRS 7263).
- Mes T., Fritsch R., Pollner S., Bachmann S. 1999. Evolution of the chloroplast genome and polymorphic ITS regions in *Allium* subg. *Melanocrommyum*. *Genome*. 42: 237-247.
- Miceli P. & Garbari F. 1979. Chromosomie anatomia fogliare di quattro *Allium* diploidi di Grecia. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Pisa Mem. B*. 86: 1-23.
- Mohammedi H., Labani A., Benabdeli K. 2006. Essai sur le rôle d'une espèce végétale rustique pour un développement durable de la steppe algérienne, Développement durable et territoires [En ligne], Varia, mis en ligne le 17 juillet, consulté le 15 août 2014. URL :<http://developpementdurable.revues.org/2925>.

- Munby G. 1847. Flore de l'Algérie (Catalogue des plantes indigènes du royaume d'Alger) Edition J. B. Baillière, Paris p.34-35.
- Naciri Y., Cavat F., Jeanmonod D. 2010. *Silene patula* (Siphonomorpha, Caryophyllaceae) in North Africa: A test of colonisation routes using chloroplast markers. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 54: 922–932.
- Nedjraoui D. & Bédrani S. 2008. « La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte », VertigoO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne] s, Vol. 8 Num.1, mis en ligne le 15 Avril 2008, consulté le 21 Juillet 2014. URL : <http://vertigo.revues.org/5375> ; DOI : 10.4000/vertigo.5375.
- Nedjraoui D. 2004. Evaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation. In : Ferchichi A. (comp.), Ferchichi A. (collab.). Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens. Zaragoza : CIHEAM, 2004. p. 239-243 (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 62).
- Nedjraoui D. 2003. Profil fourrager, Algérie. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 30p.
- Özhatay N. 2002. Diversity of bulbous monocots in Turkey with special reference. Chromosome numbers. *Pure Appl. Chem.*, Vol. 74, No. 4, pp. 547–555.
- Peruzzi L. & Aquaro G. 2005. Contribution to the cytotaxonomical knowledge of *Gagea* Salisb. (Liliaceae). II. Further karyological studies on Italian populations. *Candollea* 60: 237–253.
- Peruzzi L. 2003. Contribution to the cytotaxonomical knowledge of *Gagea* Salisb. (Liliaceae) sect. *Foliatae* A. Terracc. and synthesis of karyological data. *Caryologia*, 56(1): 115-128.
- Peruzzi L. 2008. Contribution to the cytotaxonomical knowledge of the genus *Gagea* Salisb. (Liliaceae). III. New karyological data from the central Mediterranean area. *Caryologia*. 61: 92-106, 2008.
- Peruzzi L. Tison J.M., Peterson A., Peterson J. 2008. On the phylogenetic position and taxonomic value of *Gagea trinervia* (Viv.) Greuter and *Gagea* sect. *Anthericoides* A. Terracc. (Liliaceae). *TAXON* 57 (4) 1201–1214. 2008.
- Peruzzi L., Leitch I. J., Caparelli K.F. 2009. Chromosome diversity and evolution in Liliaceae. *Annals of Botany* 103: 459–475.

- Peterson A., John H., Koch E., Peterson J. 2004. A molecular phylogeny of the genus *Gagea* (Liliaceae) in Germany inferred from non-coding chloroplast and nuclear DNA sequences. *Plant Systematics and Evolution* 245: 145–162.
- Petit C., Bretagnolle F. & Felber F. 1999. Evolution consequences of diploid-tetraploid hybrid zones in wild species. *Tree*, 14 (8): 306-310.
- Poiret JML. 1786. Voyage en Barbarie ou Lettres Ecrites de l'ancienne Numidie pendant les années 1785 et. Seconde partie. Recherches sur l'Histoire Naturelle de la Numidie. Paris : JBF née de la Rochelle, 1789.
- Quézel P. & Médail F. 2003. Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier, Collection Environnement, Paris, 573 p.
- Quézel P. & Santa S. 1962-1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tomes 1 et 2. Paris : CNRS.
- Ramsey J. & Schemske D.W. 1998. Pathways, mechanisms and rates of polyploid formation in flowering plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 29: 467-501.
- Reeves A. 2001. MicroMeasure: A new computer program for collection and analysis of cytogenetic data. *Genome* 44: 439–443.
- Rohlf F.J. 1990. Numerical taxonomy and multivariate analysis system (NTSYS-Pc, version 1.60). exte software, New york.
- Schnittler M., Pfeiffer T., Harter D., Hamann A. 2009. Bulbils contra seeds: reproductive investment in two species of *Gagea* (Liliaceae). *Plant Syst Evol.* 279:29–40.
- Sneath P. H. & Sokal R. R. 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. Freeman.W. H. & Co, San Francisco. P 571.
- Soltis DE., Soltis PS., Tate JA. 2003. Advances in the study of polyploidy since Plant speciation. *New Phytologist* 161: 173–191.
- Souza-Chies T.T., Kaltchuk Dos Santos E., Eggers L., Flores A.M., Alves E.M., Fachinnetto J., Lustosa J., Corrêa L.B., Tacuatiá L.O., Piccoli P., Miz R.B. 2012. Studies on diversity and evolution of Iridaceae species in southern Brazil. *Genet Mol Biol* 35: 1027–1035.
- Stearn W. 1980. *Allium* L.. In: Tutin T., Heywood H., Burges N., Moore M., Valentine D., Walters M., Webb D. *Flora Europea* vol. V. Cambridge Univ. Press, Cambridge. P 49-69.
- Stebbins G.L. 1971. Chromosomal evolution in higher plants. Edtion Arnold London p.216.

- Sultan S. E. 2003. Phenotypic plasticity in plants : a case study in ecological development. *Evolution & Development* 5 (1): 25-33.
- Takhtajan A. 1997. Diversity and Classification of Flowering Plants. (Columbia University Press, New York) 643p.
- Thompson J.D. 2005. Plant evolution in the Mediterranean. Oxford University Press, Oxford.
- Tzanoudakis D., Iatrou G., Kypriotakis Z., Christodoulakis D. 1991. Cytogeographical studies in some Aegean Liliaceae. *Botanika Cronika* 10: 761-775.
- Véla E. & Benhouhou S. 2007. Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *C. R. Biologies* 330: 589–605.
- Verlaque R., Médail F., Quézel P., Babinot J.F. 1997. Endémisme végétal et paléogéographie dans le bassin méditerranéen. *Geobios, M.S.* 21 : 159-166.
- Wendel J. F., 2000: Genome evolution in polyploids. *Plant Molecular Biology*, 42 (1): 225-249.
- Winkler H., 1916. Über die experimentelle Erzeugung von Pflanzen mit abweichenden Chromosomenzahlen. *Zeitschr f Bot.* 8:417–531.
- Wood T. E., Takebayashi N., Barker M. S., Mayrose I., Greenspoon P. B., Rieseberg L. H., 2009. The frequency of polyploid speciation in vascular plants. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 106 (33): 13875-13879.
- Yu X.F., Zhang H.Q., Yuan M., Zhou Y.H. 2009. Karyotype studies on ten Iris species (Iridaceae) from Sichuan, China. *Caryologia*. 62(3): 253-260.
- Zarrei M., Wilkin P., Ingrouille M.J., Leitch I.J., Buerki S., Fay M.F., Chase M.W. 2012. Speciation and evolution in the *Gagea reticulata* species complex (Tulipeae; Liliaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 62: 624–639.
- Zuo L. & Yuan Q. 2011. The difference between the heterogeneity of the centromeric index and intrachromosomal asymmetry. *Plant Syst. Evol.* 297: 141–145.

# **ANNEXE**

### Préparation du Réactif de Schiff

Pour un litre de solution :

- 4 g de fuschine basique
- 800 ml d'eau distillée
- 120 ml d'HCL 1N
- 12 g de métabisulfite de potassium

- Faire bouillir l'eau distillée dans un Erlenmeyer de 2 litres. Eteindre la source de la chaleur, attendre l'arrêt total de l'ébullition et verser lentement la fuschine
- Agiter puis laisser refroidir jusqu'à 50°C.
- Ajouter l'acide chlorhydrique normal.
- Filtrer, puis ajouter le métabisulfite de potassium
- Agiter fortement (agitateur magnétique), pendant 2 mn, puis filtrer

La conservation se fait dans l'obscurité dans un flacon en verre fumé bien bouché.

### Préparation de 0.002 % de 8-hydroxyquinoleine

- Dissoudre 290 mg de 8-hydroxyquinoleine dans 1000 ml d'eaux distillées à 60°C et sous agitateur pendant 5 h
- Stoker à 4°C

La solution ne se conserve que quelques jours

### Préparation du Carmin acétique

- 10 g de carmin
- 1 litre d'eau acétique 45% Dans un grand Erlenmeyer (2 litres) porter l'eau acétique à ébullition.
- Verser le carmin et faire mijoter la solution pendant 5mn puis filtrer.
- La solution de carmin acétique obtenue se conserve très longtemps dans un flacon en verre fumé.

### Préparation du Carnoy II

- Alcool : 6 volumes
- Acide acétique : 3 volumes
- Chloroforme : 1 volume
- Cette préparation peut se conserver pendant plusieurs mois à température ambiante.