

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

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie Physico-Chimique
Spécialité Génétique Fondamentale et Appliquée



Réf :

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Etude des mitoses racinaires de la variété 'Saïda'
de l'orge cultivée**

Présenté par :

Barkou Mélissa et Khaldi Sonia

Soutenu le : 03 juillet 2025 Devant

le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
-M ^{me} Atmani- Kilani D.	Pr	Présidente
-M ^{me} Ourari M.	MCA	Promoteur
- M ^{me} Djafri –Bouallag L.	MCB	Co-encadrant
-M ^{me} Rahmani-Berboucha M.	MAA	Examineur

Année universitaire : 2024 / 2025

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu, le Tout-Puissant, pour la force, la patience et la persévérance qu'Il nous a accordées tout au long de ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Madame Ourari Malika, notre encadrante, pour son accompagnement précieux et ses conseils avisés, ainsi qu'à Madame Bouallag Linda, notre Co-encadrante, pour sa disponibilité et son soutien constant.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail.

Nous tenons à remercier l'ensemble des enseignants qui nous ont accompagnées et qui nous ont transmis leur savoir avec passion et exigence tout au long de notre parcours universitaire, ainsi que nos camarades de laboratoire, pour leur aide, leurs échanges et leur soutien.

Enfin, nous remercions sincèrement toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce projet, par un mot d'encouragement, une aide, un conseil ou tout simplement par leur présence. Que chacun trouve ici l'expression de notre sincère gratitude.

Dédicaces

Ma maman « Drifa »

Je dédie ce travail, avant tout, à ma maman. À cette femme exceptionnelle, courageuse et aimante, qui a tout donné et tout surmonté pour moi.

A l'âme de mon Papa « Arezki »

À mon papa, parti trop tôt. J'espère, du fond du cœur, que là où il est, il est fier de moi. Son absence est grande, mais sa présence continue de m'inspirer chaque jour.

L'âme de ma grand-mère « Timouche »

À ma grand-mère paternelle, que je garde tendrement dans mon cœur. Son amour et sa douceur me manquent profondément.

Mon Frère « Lahcène »

À mon grand frère Lahcène, qui a assumé, bien trop jeune, un rôle immense. Et a été pour nous un pilier inestimable. Merci pour tous tes sacrifices.

Mes sœurs « Wahiba, Louriane »

À mes deux sœurs « Wahiba et Louriane », pour leur amour fidèle et leur soutien à chaque étape. Et à mes petites princesses Liliana, Maylisse, Dania et Aylene, qui remplissent ma vie de lumière.

À ma deuxième famille, la famille **Aberhouche**, pour son affection, son aide et sa présence sincère. Vous avez été un vrai soutien.

À ma meilleure amie, Liza, qui a su me redonner le sourire quand j'en avais le plus besoin. Merci pour ton aide précieuse et ton amitié sincère.

À mes amis proches « Lynda ; Manel ; Cylia », pour leur complicité, leurs encouragements et leurs petits gestes qui ont compté bien plus qu'ils ne l'imaginent.

Et enfin, à ma binôme Sonia, qui a partagé cette aventure avec moi du début à la fin. Merci pour ton écoute, ta patience, et ton énergie dans les moments les plus difficiles.

[Mélissa BARKOU]

Dédicaces

Je dédie ce travail

A Mon cher père

Je t'aime papa, tous les mots du monde ne seraient expliqués cela. Merci papa pour ton amour inconditionnel, tes conseils et pour être toujours là pour moi. Grace à toi je sais ce que signifie l'amour et la gentillesse, Je t'aime tellement papa. Avec toi, je suis comme une étoile brillante.

A Ma mère

Celle qui m'a aimée sans condition, qui m'a appris la patience et l'amour, qui ma prise dans ces bras quand j'étais petite et dans son cœur quand je suis devenue grande. Je t'aime maman.

A mon cher frère Sofiane, je t'aime tellement. Merci de me faire sourire et rire.

A ma sœur imane, la bougie de la maison. Je t'aime imane. A la plus belle et la plus gentille tante du monde, houda. Merci pour ton soutien, ta gentillesse et ta sagesse.

A ma grand-mère et mon grand-père Md Arezki, celui qui m'a accompagné le premier jour à l'université à ma tante Chérifa, merci pour ta gentillesse.

A mes chères cousines Yasmina et Lynda, et mes amies d'enfances et ma tante Nouara .

A ma meilleure amie Chanez, tu es vraiment unique et je suis heureuse de t'avoir comme amie

A mon amie et mon binôme Melissa cette fille adorable et gentille, et mon amie Zineb.

[SONIA KHALDI]

Liste des tableaux :

Tableaux	Titre	Page
Tab. I	Nomenclature chromosomique proposée par Levan et al. (1964).	20
Tab. II	Formules des paramètres chromosomiques et indices d'asymétrie du caryotype utilisés dans le programme IdeoKar 1.3	26
Tab. III	Paramètres du caryotype de la plaque métaphasique 1 de la variété « Saïda » de <i>Hordeum vulgare</i> L.	32
Tab. IV	Paramètres du caryotype de la plaque métaphasique 2 de la variété « Saïda » de <i>Hordeum vulgare</i> L..	34
Tab. V	Paramètres du caryotype de la plaque métaphasique 3 de la variété « Saïda » de <i>Hordeum vulgare</i> L..	36
Tab. VI	Paramètres statistiques des chromosomes du caryogramme de la variété « Saïda » de <i>Hordeum vulgare</i> L.	38

Liste des Figures :

Figures	Titres	Page
Figure 1	Les différentes phases du cycle cellulaire	12
Figure 2	Photographies de cellules en division observées au microscope optique montrant les différentes phase de la mitose	13
Figure 3	Activation du complexe CDK/Cycline B par la prophase Cdc25	14
Figure 4	Organisation du module du mini fuseau et développement du fuseau central	15
Figure 5	La cytokinèse : Deux faisceaux antiparallèles, constitués de microtubules (rouge) et de filaments d'actine (vert), créent le phragmoplaste, leurs extrémités étant davantage dirigées vers la plaque cellulaire en formation. Les empilements de Golgi se regroupent à proximité du plan de division, créant une sorte de « ceinture golgienne »	16
Figure 6	La fusion de la plaque cellulaire et de la membrane plasmique au site cortical de division est le résultat d'une expansion latérale orchestrée de la plaque cellulaire et du déplacement latéral des microtubules (en rouge)	17
Figure 7	Structure d'un chromosome (Dupont, 2008)	19
Figure 8	Solution utilisées dans la coloration des chromosomes de la variété analysée	23
Figure 9	Illustration photographique de la mise en germination des caryopses de l'orge	24
Figure 10	Illustration photographique des racines après la coloration	25

Figure 11	Illustration photographique de la méthode d'écrasement de la pointe racinaire	25
Figure 12	Photographies des différentes phases de la mitose dans les cellules méristématiques chez la variété 'Saïda' de l'orge cultivé <i>Hordeum vulgare</i> L., observées sous microscope optique au grossissement (8x40) après une double coloration au Feulgen et au carmin acétique. Barre d'échelle =10µm.	26
Figure 13	Photographie de la plaque métaphasique 1 d'une cellule d'un méristème racinaire de <i>Hordeum vulgare</i> en division mitotique observée au microscope optique après une double coloration au Feulgen et au carmin acétique (A), Dessin de la plaque métaphasique (B) et son caryotype (C). Barre d'échelle =10µm.	31
Figure 14	Photographie de la plaque métaphasique 2 d'une cellule d'un méristème racinaire de <i>Hordeum vulgare</i> en division mitotique observée au microscope optique après une double coloration au Feulgen et au carmin acétique (A), Dessin de la plaque métaphasique (B) et son caryotype (C). Barre d'échelle =10µm.	33
Figure 15	Photographie de la plaque métaphasique 3 d'une cellule d'un méristème racinaire de <i>Hordeum vulgare</i> en division mitotique observée au microscope optique après une double coloration au Feulgen et au carmin acétique (A), Dessin de la plaque métaphasique (B) et son caryotype (C). Barre d'échelle =10µm.	35
Figure 16	Caryogramme établi à partir des trois caryotypes de la variété 'Saïda' de <i>Hordeum vulgare</i> L. la barre d'échelle correspond à 2µm.	39

Remerciements

Dédicaces

Listes des Figures

Liste des Tableaux

Introduction.....	1
Chapitre I : Analyse Bibliographique	5
1. Présentation de l’orge cultivée	5
1.1. Classification phylogénétique de l’orge	
1.2. Caractérisation de l’orge	
1.3. Composition et utilisation de l’orge	
1.4. Le cycle de développement de l’orge	
1.5. Importance économique et alimentaire de l’orge au niveau mondial et en Algérie	
2. La variété ‘Saïda’	10
2.1. Présentation de la variété ‘Saïda’	
2.2. Adaptation de la variété ‘Saïda’ de l’orge aux condition locales	
3. La mitose chez les plantes.....	11
3.1. Définition et rôle biologique de la mitose	
3.2. Différentes phases du cycle mitotique	
4. La cytogénétique végétale et son application	17
4.1. Le caryotypage	
4.2. Hybridation in situ en fluorescence (FISH)	
4.3. Hybridation génomique comparative (CGH)	
5. Les chromosomes	19
Chapitre II : Matériels et Méthodes	22
1. Matériels.....	22
2. Méthodes	23
2.1. Lancement des germinations	
2.2. Prétraitement	
2.3. Fixation	

- 2.4. Hydrolyse acide
- 2.5. Coloration
- 2.6. Ecrasement et montage
- 2.7. Observation
- 2.8. Réalisation de caryotypes et caryogramme

Chapitre III : Résultats et discussion	28
1. Les différentes phases de la mitose.....	28
2. Dénombrement chromosomique	30
3. Etablissement de caryotype	30
4. Réalisation de caryogramme	39
Conclusion	41
Références Bibliographiques	44
Résumé.....	48

Introduction

Introduction

Le terme « céréale » vient du mot latin (*cerealis*). Les céréales désignent les grains comestibles appartenant à la famille des graminées (Gramineae). Divers pays cultivent une variété de céréales, y compris le seigle, l'avoine, l'orge, le maïs, le triticale, le millet et le sorgho. Les céréales constituent les éléments alimentaires les plus essentiels, et une consommation importante de celles-ci a été liée à une réduction du risque d'apparition de nombreuses maladies chroniques. Les produits dérivés des céréales fournissent une source importante d'énergie, de protéines, de vitamines B et de minéraux pour la population mondiale. Les vitamines et les sels se trouvent essentiellement dans le germe et dans les enveloppes (couches périphériques) du grain (Bouziane, 2015).

Les céréales partagent des caractéristiques structurelles et se composent d'un embryon (ou germe), qui renferme le patrimoine génétique de la plante future, et d'un endosperme, qui abrite les grains d'amidon. Il est crucial de bien stocker le grain après la récolte pour éviter sa détérioration due aux moisissures, l'infection par les parasites et à sa germination (Bouziane, 2015).

L'orge cultivée dénommée par Linné *Hordeum vulgare* occupe la quatrième position parmi les cultures céréalières majeures à l'échelle mondiale. L'orge, grâce à sa précocité, sa résistance et sa capacité d'adaptation à différents milieux, est une culture qui rencontre un succès mondial (Jiang et al., 2025).

Plusieurs éléments, tels que les conditions climatiques favorables, les techniques agricoles, les encouragements économiques et la demande du marché, ont une incidence sur la culture de l'orge dans certains pays. L'orge se développe bien dans les zones au climat plus frais, ce qui en fait un choix de culture adapté pour les régions tempérées telles que le Canada, la Russie et certaines portions de l'Europe, où les conditions météorologiques favorisent sa croissance (Kaur et al., 2024).

En Algérie, l'orge se positionne en deuxième place parmi les céréales, juste après le blé dur. Cette espèce est connue pour sa résistance à la salinité et son aptitude à s'adapter aux conditions de culture difficiles, comme les zones arides (Rechachi et al., 2020).

Le nombre de chromosomes dans toutes les variétés d'orge examinées est constant, soit $2n= 14$ (Ramesh et Singh, 1996). Pour étudier les chromosomes de l'orge cultivée, il faut établir un caryotype qui consiste à classer les chromosomes par paire, selon leur taille, la forme et la position de centromère.

La variété '*Saïda*' est une variété indigène de l'orge cultivée principalement dans les régions semi-arides algériennes, notamment la région de Saïda. Elle s'avère adaptée à la pluviométrie difficile et donne un rendement relativement important même pendant les périodes de sécheresse.

L'étude des caractéristiques cytogénétiques de la variété '*Saïda*' de l'orge cultivée nous permet une meilleure connaissance du patrimoine chromosomique. Elles constituent des outils indispensables pour comprendre la structure génétique et la diversité des plantes comme elles contribuent à la conservation, l'amélioration et à l'exploitation raisonnée des ressources génétiques (Zhang et al., 2019).

Le caryotypage est un élément clé, permet d'associer et de classer l'ensemble des chromosomes d'un organisme afin d'évaluer leur nombre et leur organisation. Dans le cas de l'orge, ces techniques présentent un intérêt particulier pour plusieurs raisons : la compréhension de la diversité génétique ; Cartographie des caractères génétiques ; Analyse des anomalies chromosomiques ; facilite l'identification des particularités et localiser certains caractères génétiques (Szakács et al., 2013).

Ces détails sont très utiles dans les programmes qui choisissent différentes variétés, en particulier lorsqu'ils sont confrontés à des stress abiotiques comme la sécheresse et la salinité (Ali et al., 2024).

L'outil essentiel pour évaluer la stabilité chromosomique de la variété '*Saïda*' est l'analyse des mitoses racinaires. Une bonne stabilité chromosomique reflète en effet une qualité génétique élevée. Cette approche souligne l'importance des techniques cytogénétiques classiques, qui restent des méthodes incontournables en recherche et en sélection végétale.

L'objectif de notre étude est d'analyser les mitoses racinaires de la variété 'Saida' de l'orge, afin de caractériser les phases mitotiques et de réaliser des caryotypes et un caryogramme.

Ce travail est structuré en trois chapitres principaux :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'espèce étudiée (*Hordeum vulgare*) et précisément la variété 'Saida' de l'orge cultivée, et une description des notions fondamentales relatives à la mitose et à la cytogénétique.
- Le deuxième chapitre est consacré au matériel végétal analysé ainsi que la méthodologie utilisée.
- Le troisième chapitre concerne les résultats obtenus et leur interprétation
- Enfin, nous terminons avec une conclusion générale et des perspectives

Chapitre I : Analyse bibliographique

Analyse bibliographique

1. Présentation de l'orge cultivée

L'orge cultivée dénommée par Linné *Hordeum vulgare* L. est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des Poaceae (ou Graminées). Elle présente un port dressé, avec des tiges creuses, segmentées par des nœuds, atteignant généralement entre 0,5 et 1,2 mètre de hauteur (Harlan, 1995). Elle figure parmi les premières plantes domestiquées, avec des traces remontant à environ 10 000 ans dans le Croissant fertile, au Moyen-Orient. Des vestiges d'orge à deux rangs datant du Néolithique y ont été découverts, constituant les plus anciennes preuves connues de sa culture (Baik et Ulrich, 2008).

Ces auteurs distinguent trois classes d'orges selon leur milieu de culture :

- Les orges d'hiver dont le cycle de développement varie de 240 à 265 jours, s'implantent en automne. Ces orges ont besoin, pour assurer leur montaison, de températures vernalisantes. Elles manifestent un degré plus au moins élevé de résistance au froid hivernal.
- Les orges de printemps dont le cycle de développement est très court (environ 120 à 150 jours), s'implantent au printemps. Ces orges s'affranchissent de la vernalisation pour assurer leur montaison.
- Les orges alternatives sont intermédiaires sur le plan tolérance au froid, entre les orges d'hiver et celles de printemps (Soltner, 2005).

1.1. Classification phylogénétique de l'orge :

Selon le système de classification phylogénétique APG IV (2016), l'orge cultivée se classe comme suit :

Règne : Plantae

Clade : Trachéophytes

Clade : Angiospermes

Clade : Monocotylédones

Clade : Commélinidées

Ordre : Poales

Famille : Poaceae (Graminées)

Sous-famille : Pooideae

Tribu : Hordeae

Genre : *Hordeum*

Espèce : *Hordeum vulgare* L.

1.2. Caractérisation de l'orge

- Les caractères agronomiques

L'orge cultivée constitue une source alimentaire importante pour les populations de plusieurs régions du monde, notamment en Afrique du Nord, au Proche-Orient et en Asie. Dans ces zones, la consommation annuelle moyenne par habitant varie entre 2 et 36 kg (El Haramain et Grando, 2010). Elle est largement cultivée dans le monde entier pour sa graine comestible et pour sa capacité à pousser dans des conditions environnementales difficiles (NCBI). Elle joue un rôle également essentiel dans l'alimentation du bétail, particulièrement durant la période hivernale, lorsque les ressources fourragères se font rares. Cette céréale présente l'avantage d'être exploitée en double usage : une première récolte en vert destinée au pâturage ou à la fauche, suivie d'une seconde récolte pour la production de grains (Khaldoun, 1989).

- Les caractères génétiques

Le génome de *Hordeum vulgare* se compose de sept paires de chromosomes nucléaires, d'un génome mitochondrial et d'un génome chloroplastique, dont un total de 5000 Mpb. Elle est une espèce à génome diploïde ($2n = 14$).

1.3. Composition et utilisation de l'orge

L'orge commune est une source alimentaire précieuse, principalement en raison de sa forte teneur en amidon. Un grain d'orge entier se compose de 78 % à 83 % de glucides, dont 60 % à 64 % d'amidon, ainsi que de petites quantités de sucres simples tels que le glucose et le fructose (entre 0,4 % et 2,9 %). Sa teneur en protéines varie de 8 % à 15 %, mais celles-ci sont limitées en lysine, un acide aminé essentiel, ce qui fait de l'orge une protéine incomplète. Par ailleurs, l'orge contient entre 2 % et 3 % de lipides, dont environ un tiers est localisé dans le germe (Soleymani , 2017).

Traditionnellement, l'orge était destinée à l'autoconsommation humaine et servait également de complément fourrager pour les troupeaux, notamment dans les régions steppiques où l'élevage est prédominant. L'orge peut être préparée de diverses manières, tant pour l'alimentation que pour des usages médicaux (Emmanuel et al., 2017).

En médecine, seule l'orge décortiquée est utilisée, généralement sous forme de tisanes ou de décoctions (à 20 %), reconnues pour leurs propriétés adoucissantes et légèrement nutritives. La tisane préparée à partir d'orge germée ou maltée est encore plus nutritive. La décoction d'orge est également employée en gargarismes, souvent associée à des substances comme le miel rosat, le chlorate de potasse ou l'alun. La farine d'orge, mélangée ou non à de la farine de graines de lin, est utilisée pour confectionner des cataplasmes. Enfin, l'orge est un ingrédient clé dans la fabrication de la bière (Marta, 2017).

1.4. Le cycle de développement

Le cycle évolutif de l'orge se divise en trois grandes périodes principales : La période végétative, la période reproductive et la période de maturation.

- La période végétative

Cette période comprend la germination, la levée et le tallage. La germination est la phase où la graine passe de l'état de dormance à une vie active. Elle débute par l'imbibition, c'est-à-dire l'absorption d'eau par la semence, ce qui active le métabolisme de l'embryon et initie sa croissance. La levée correspond à l'apparition progressive des premières feuilles de la jeune

plantule. Le développement foliaire est un indicateur important du stade de croissance de la plante (Giban et al., 2003). Le tallage commence avec l'apparition de la première feuille sur la tige secondaire (talle). Progressivement, d'autres hauteurs se développent successivement à la base de la plante, formant un plateau de hauteurs au niveau du sol. La fin du tallage coïncide avec la fin de la période végétative et marque le début de la phase reproductive (Hadria., 2006).

- La période reproductive

Cette période comprend la montaison, l'épiaison et la floraison.

La montaison débute lorsque l'ébauche de l'épi principal atteint environ 1 cm de hauteur au-dessus du plateau de tallage. Durant cette phase, les entre-nœuds de la tige s'allongent rapidement et la montaison se termine lorsque l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard, qui gonfle alors visiblement (stade de gonflement de la gaine) (Gautier, 1991). L'épiaison correspond à la période allant de l'apparition des premiers épillets hors de la gaine de la dernière feuille jusqu'à la sortie complète de l'épi. Cette étape marque l'émergence totale de l'inflorescence, rendant l'architecture de la plante pleinement visible (Giban et al., 2003). La floraison débute avec la sortie des premières étamines hors des épillets, généralement au milieu de l'épi, et lorsque 50 % des épis présentent cette anthèse (Brink et Belay, 2006)

- La période de maturation

Le développement du grain se déroule en deux stades principaux : Le stade laiteux et le stade pâteux. Au stade laiteux, le grain est vert clair, de consistance laiteuse, et atteint sa taille définitive. À ce stade, il contient environ 50 % d'humidité, et le stockage des protéines est presque terminé. Au stade pâteux le grain devient vert jaunâtre et s'écrase facilement sous la pression. Il a perdu une grande partie de son humidité, et l'amidon s'est constitué à l'intérieur (Brink et Belay, 2006).

1.5. Importance économique et alimentaire de l'orge au niveau mondial et en Algérie

Grâce à sa grande rusticité et à sa capacité à s'adapter à divers types de sols, l'orge occupe aujourd'hui une place importante dans l'agriculture mondiale et occupe une place majeure dans l'économie et la sécurité alimentaire mondiale ainsi qu'en Algérie.

- Importance économique et alimentaire mondiale de l'orge

L'orge est la 4ème céréale la plus cultivée dans le monde, avec environ 148 millions de tonnes produites chaque année sur près de 50 millions d'hectares. Elle est principalement utilisée pour l'alimentation animale (environ 70 % de la production mondiale), notamment dans l'industrie de l'alimentation animale, et pour la malterie, essentielle à la production de bière (Yara France, 2018). La production mondiale d'orge est en augmentation, avec une récolte estimée à 152,2 millions de tonnes pour la campagne 2022/23, portée par des gains de rendement dans plusieurs pays comme le Canada, la Turquie et la Russie (La Coopération Agricole, 2023). Les échanges mondiaux d'orge s'élèvent à environ 38 millions de tonnes par an, représentant environ 20 % de la production mondiale, la France étant un acteur majeur sur ce marché (Chambres d'agriculture France, 2025).

L'orge est semée en hiver ou au printemps selon les variétés, avec des usages différenciés: Orge de printemps pour la bière, orge d'hiver pour l'alimentation animale.

- Importance économique et alimentaire de l'orge en Algérie

L'orge est une culture stratégique en Algérie en raison de sa rusticité et de sa capacité d'adaptation aux conditions climatiques difficiles, notamment dans les zones semi-arides et arides. Historiquement, l'orge a été une céréale de première importance, utilisée pour l'autoconsommation humaine et l'alimentation animale, notamment des ovins, qui restent essentiels dans l'élevage algérien (Référentiel de connaissances de la FAO, 2023). La superficie cultivée en orge varie entre 300 000 et 1 600 000 hectares, représentant 35 à 40 % des grandes cultures céréalières du pays, principalement dans les régions agro-pastorales comme Batna, Khenchela, Tébessa et M'Sila (Statista, 2022).

L'orge est essentielle pour la sécurité alimentaire algérienne, face aux défis du changement climatique, de la rareté de l'eau et de la hausse des prix alimentaires. Sa rusticité en fait une culture adaptée aux systèmes agricoles locaux et moins exigeante en eau que le blé. Malgré son importance, l'Algérie importe encore une quantité significative d'orge (plus de 500 000 tonnes en 2013), ce qui souligne la nécessité d'une meilleure exploitation des ressources locales pour renforcer la souveraineté alimentaire.

L'orge est également valorisée dans l'alimentation humaine sous forme de grains entiers (mondé ; perlé) flocons ou couscous. Ses qualités nutritionnelles et sanitaires sont reconnues (Statista, 2022).

L'orge est considérée en étant une céréale clé au niveau mondial pour l'alimentation animale et la production de bière, et en Algérie, elle joue un rôle stratégique pour l'alimentation animale, la sécurité alimentaire et l'adaptation aux contraintes environnementales, tout en offrant des perspectives pour une meilleure autonomie alimentaire Statista (2022).

2. La variété 'Saïda'

2.1. Présentation de la variété 'Saïda'

La variété d'orge "Saïda" (appelée également *Saïda183*) est une variété locale algérienne semi-tardive, caractérisée par une paille moyenne et creuse, un tallage moyen et une bonne productivité, bien qu'elle soit sensible à certaines maladies. Elle est largement cultivée en Algérie et reconnue pour sa large adaptation à différentes conditions environnementales. Largement cultivée en Algérie, elle est reconnue pour sa grande capacité d'adaptation à des conditions environnementales variées (Boufenar et al., 2006).

La variété 'Saïda' a été développée dans le cadre de programmes de sélection visant les zones arides. Elle est spécialement adaptée pour résister aux conditions climatiques difficiles, ce qui en fait une variété performante dans ces environnements. Elle appartient au type d'orge à six rangs (orge hexastique). Ce type se caractérise par une section d'épi de forme rectangulaire, où, à chaque nœud du rachis, les trois épillets sont fertiles. Les orges à six rangs sont généralement des variétés d'hiver (Boufenar et al., 2006).

2. 2. Adaptation de la variété 'Saïda' de l'orge aux conditions locales

La variété d'orge 'Saïda' en Algérie se distingue par une large capacité d'adaptation aux conditions locales :

- Adaptation géographique

La variété 'Saïda' est connue pour son adaptation qui lui permet d'être cultivée avec succès dans une variété de régions algériennes, y compris les zones semi-arides comme ElKhroub et les zones humides comme Guelma, tout en obtenant de bons résultats agronomiques (Chaouche, 2017).

- Tolérance au stress hydrique

La variété 'Saïda' présente des caractéristiques morpho -physiologiques bénéfiques, telles qu'une longueur significative du col de l'épi, qui est considérée comme un indicateur clé de la tolérance à la sécheresse parmi les variétés étudiées (Guenez, 2020).

- Résistance à la salinité

La variété 'Saïda' se distingue également comme la variété la plus résistante à la salinité, avec une concentration réduite de sodium (Na⁺) dans sa biomasse aérienne. Cela lui confère le statut d'«exclusers» (excluant le sodium), un processus crucial pour sa survie dans des sols salins (Bouchetat, 2020).

- Adaptation au sol

Les sols sablo-limoneux, limoneux ou légèrement argileux sont les plus propices à la productivité de cette variété, une caractéristique que l'on peut observer dans plusieurs zones agricoles de l'Algérie.

- Variabilité génétique et agronomie

Des études génétiques indiquent que cette variété présente une importante variabilité et que ses caractéristiques sont régies par des gènes dominants à effets additifs et non additifs, offrant ainsi une adaptation flexible face aux variations environnementales (Boufenar et al., 2006).

3. La mitose chez les plantes

3.1. Définition et rôle biologique de la mitose

La mitose est définie comme un cycle cellulaire au cours duquel une cellule mère assure la répartition équitable de son matériel génétique, aboutissant à la formation de deux cellules filles génétiquement identiques. Pendant ce processus, les chromosomes répliqués sont séparés par le fuseau mitotique (caryocinèse). Les organites cellulaires ainsi que le cytoplasme sont également répartis (cytokinèse) (Criqui et Genschik, 2002).

La mitose joue un rôle fondamental chez les plantes, notamment dans la croissance et le développement des tissus végétaux. Elle permet la multiplication des cellules, contribuant ainsi à la formation des organes et à la régénération des parties endommagées. De plus, la mitose assure le maintien du nombre constant de chromosomes dans les cellules filles, garantissant la stabilité génétique de l'organisme (Prat, 2022).

Le cycle cellulaire comprend les phases G1, S, G2 et la mitose (M) qui elle-même comprend la prophase, la métaphase, l'anaphase et la télophase (Fig. 1). Lorsque la cellule se différencie, elle quitte le cycle cellulaire et passe en phase G0.

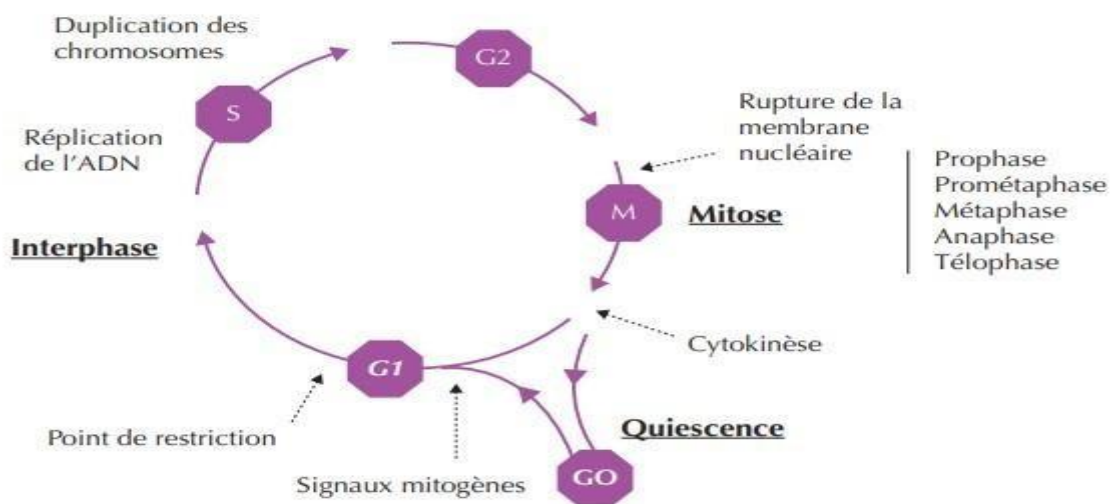


Fig. 1. Les différentes phases du cycle cellulaire (Carassou et al., 2012)

Les étapes sont organisées de manière coordonnée, chaque étape ne pouvant débuter que lorsque la précédente s'est déroulée d'une manière régulière. Plusieurs mécanismes de vérification (checkpoints) garantissent un « contrôle qualité » à chaque phase du processus et stoppent l'avancement du cycle lorsqu'une anomalie est identifiée (dommages à l'ADN, ADN partiellement répliqué, chromosomes pas fixés au fuseau mitotique...). Le déroulement de la mitose est conditionné par les CDK s (CDK pour cyclin-dependent kinases) et leur contrôle par les cyclines. La régulation du passage G2/M et l'initiation de la mitose sont assurées par la complexation CDK1cycline B (Carassou et al., 2012).

3.2. Différentes phases du cycle mitotique :

Ce cycle comprend la prophase, la métaphase, l'anaphase et la télophase (Fig. 2).

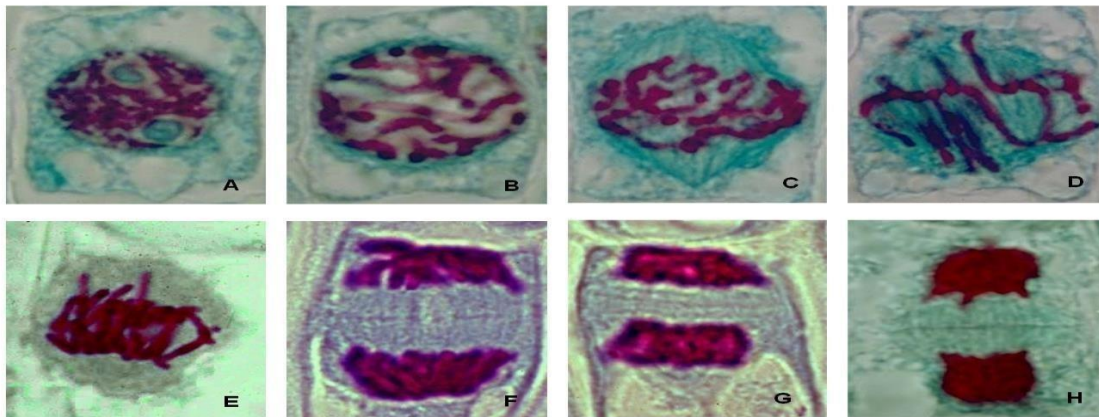


Fig. 2. Photographies de cellules en division observées au microscope optique montrant les différentes phases de la mitose. A = Interphase, B = Prophase, C = Prométaphase, D = Métaphase, E = Anaphase, F = Télophase (début), G = Télophase (milieu), H = Télophase (fin) (Prat, 2022)

Sur le plan moléculaire (Fig. 3), l'entrée en mitose est contrôlée par le complexe MPF (Cycline B/Cdk1), dont l'activation suit un processus rigoureusement régulé. En phase G2, l'accumulation de Cycline B permet sa liaison à Cdk1, induisant un changement conformationnel qui expose les sites clés de la kinase. L'activation complète nécessite ensuite la phosphorylation de Thr161 par CAK (Kinase Activatant Cycline-Dependante Kinase) et la déphosphorylation des résidus inhibiteurs Tyr15/Thr14 par la phosphatase Cdc25, tandis que l'inactivation du MPF en fin de mitose résulte de la dégradation de la cycline B par le

protéasome après ubiquitination par le complexe APC/C (Anaphase Promoting Complex/Cyclosome), marquant ainsi la transition vers la cytokinèse. Les kinases Wee1/Mik1 jouent un rôle antagoniste en phosphorylant ces mêmes résidus, maintenant ainsi Cdk1 sous forme inactive (Criqui et Genschik, 2002).

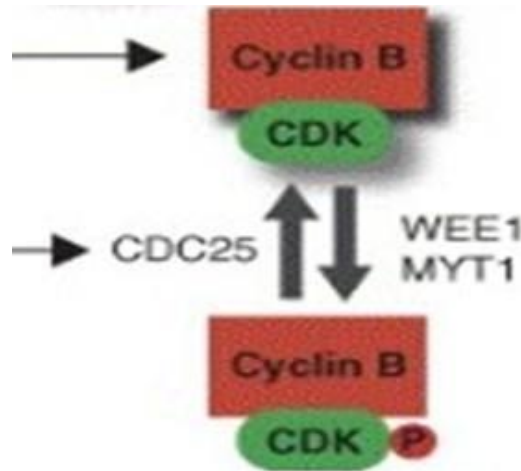


Fig. 3. Activation du complexe CDK/CyclineB par la phosphatase Cdc25 (Jürgens, 2005)

La transition vers la mitose s'accompagne de profondes réorganisations structurales. Les microtubules, particulièrement dynamiques durant cette phase, s'assemblent successivement en trois structures spécialisées : la bande préprophasique (marquant le futur plan de division), le fuseau mitotique (pour la ségrégation chromosomique) et le phragmoplaste (unique aux plantes, guidant la formation de la paroi cellulaire) (Criqui et Genschik, 2002 ; Dixit et Cyr, 2004).

Parallèlement, les cyclines B1 subissent une relocalisation dynamique. Principalement cytoplasmiques durant l'interphase, elles s'accumulent au niveau nucléaire lors de la transition G2/M, particulièrement au contact de l'enveloppe nucléaire, suggérant leur implication dans sa désintégration (Criqui et Genschik, 2002).

La prophase marque le début de la condensation chromosomique, processus dépendant de la phosphorylation de l'histone H3 par Aurora B et des sous-unités de condensine par les CDKs (Criqui et Genschik, 2002). Cette phase s'accompagne de la désintégration de l'enveloppe nucléaire et de l'assemblage du fuseau mitotique (Varman, 2025).

Durant la prométaphase, les chromosomes établissent des connexions avec les microtubules via leurs kinétochores. Ce processus implique le complexe γ -TuRC et évolue d'une capture latérale initiale vers une attache stable bout-à-bout (Liu et Lee, 2022).

À la métaphase (Fig. 4), l'alignement chromosomique sur la plaque équatoriale est maintenu par un réseau complexe de microtubules et de protéines associées comme MAP65 (Liu et Lee, 2022).

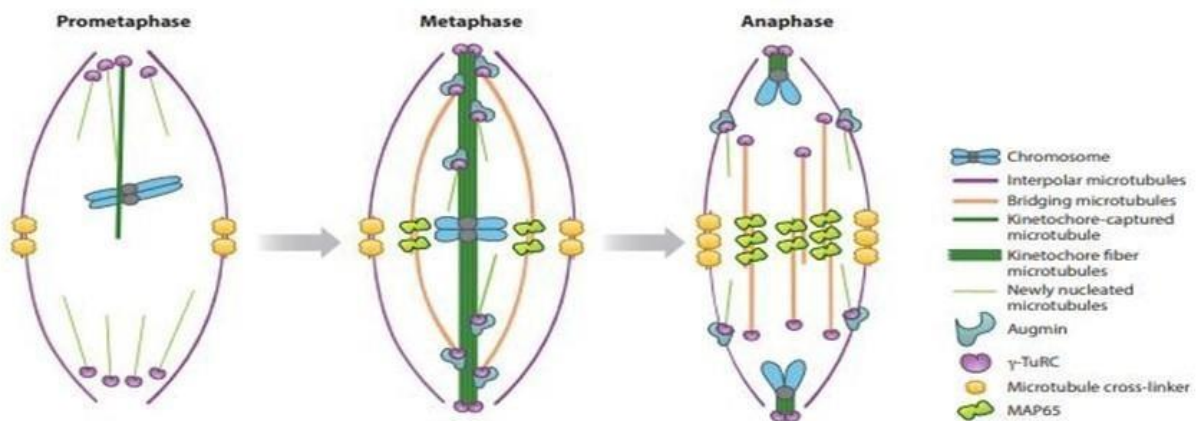


Fig. 4. Organisation du module du mini-fuseau et développement du fuseau central (Liu et Lee, 2022)

L'activation du complexe APC/CDC20 déclenche l'anaphase via l'ubiquitination et la dégradation de la sécurine, libérant ainsi la séparase qui clive les complexes de cohésine entre

chromatides sœurs (Aouadi et al., 2021). Cette dégradation concerne également la cycline B, conduisant à l'inactivation progressive de Cdk1.

Chez les plantes, la cytokinèse diffère fondamentalement du processus animal (Fig. 5). Elle implique la construction centripète d'une nouvelle paroi cellulaire guidée par le phragmoplaste, structure microtubulaire unique qui orchestre le transport et la fusion des vésicules golgiennes contenant les précurseurs pariétaux (Jürgens, 2005 ; Alberts et al., 2002).

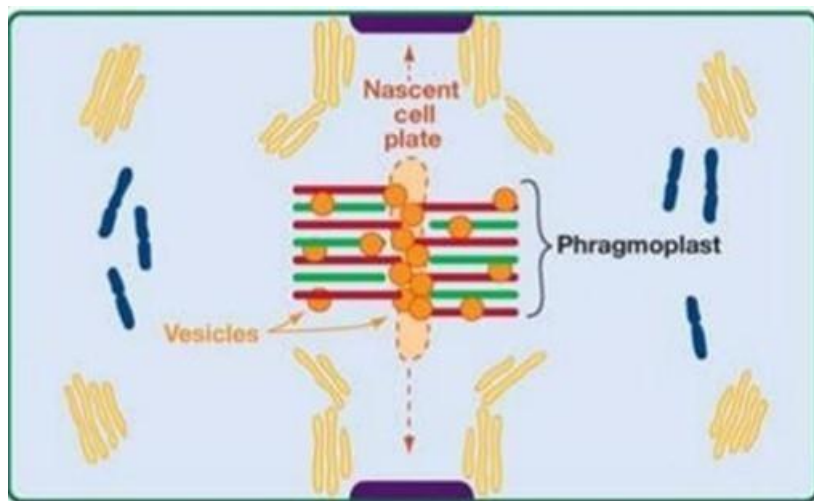


Fig. 5. La cytokinèse : Deux faisceaux antiparallèles, constitués de microtubules (rouge) et de filaments d'actine (vert), créent le phragmoplaste, leurs extrémités étant davantage dirigées vers la plaque cellulaire en formation. Les empilements de Golgi se regroupent à proximité du plan de division, créant une sorte de « ceinture golgienne » (Jürgens, 2005)

La télophase (Fig. 6) voit la reconstitution des noyaux filles et la dépolymérisation des microtubules mitotiques, tandis que la plaque cellulaire fusionne progressivement avec la membrane plasmique pour achever la division cellulaire (Varman, 2025).

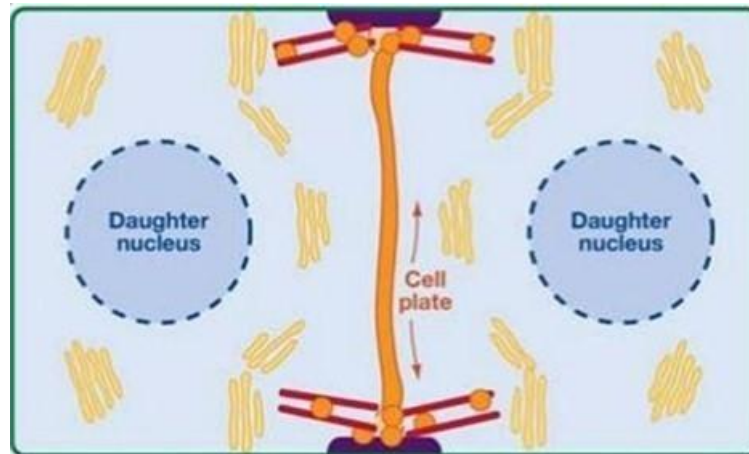


Fig. 6. La fusion de la plaque cellulaire et de la membrane plasmique au site cortical de division est le résultat d'une expansion latérale orchestrée de la plaque cellulaire et du déplacement latéral des microtubules (en rouge) (Jürgens, 2005).

4. La cytogénétique végétale et son application

La cytogénétique est le domaine de la génétique, de la cytologie et de la biologie cellulaire qui se consacre à l'étude des génomes nucléaires au niveau chromosomique. La cytogénétique fait du chromosome un élément central dans la biologie cellulaire végétale fondamentale, ainsi que dans d'autres disciplines comme les recherches sur la mutagenèse et la génotoxicité (Kwaśniewska, et Bara., 2022).

La cytogénétique établit une connexion entre la cytologie et la génétique. Elle joue un rôle important dans la compréhension des mécanismes de l'hérédité et de la diversité végétale (taxonomie, phylogénie) (Jahier, 1992). Cette discipline possède de nombreuses applications telles que :

- La compréhension du matériel génétique du végétal d'intérêt : le nombre de chromosomes, la polyploïdie, l'allopolyploïdie...
- La création de cartes génétiques par le biais de la production et l'analyse d'aneuploïdes (lignes monosomiques, télosomiques, lignes d'addition...) (Jahier, 1992).
- La cytogénétique utilise différentes techniques pour l'étude des chromosomes :

4.1. Le caryotypage

Cette technique implique la mise en culture de cellules végétales. La phase de la collecte des cellules est choisie afin d'obtenir autant que possible des cellules au stade métaphase. Les cellules sont ensuite fixées et étalées sur une lame. Les chromosomes sont colorés à l'aide de divers colorants. Par la suite, les chromosomes sont observés au microscope. Les chromosomes sont capturés en image et mis en correspondance pour leur analyse (caryotype) (Biomnis, 2016). Les anomalies chromosomiques peuvent être également mises en évidence.

4.2. Hybridation *in situ* en fluorescence (*FISH*)

L'hybridation *in situ* par fluorescence (*FISH*) est un outil de cytogénétique moléculaire essentiel qui permet de différencier des séquences d'ADN complémentaires à l'aide de sondes marquées par fluorescence. Elle offre aussi la possibilité d'effectuer une analyse qualitative et quantitative en utilisant des sondes d'acides nucléiques marquées en conjonction avec des chromosomes, des noyaux en interphase ou des fibres d'ADN (Park et al., 2024). L'approche *FISH* autorise la détection de séquences allant de 100kb à 1 Mb. Elle utilise des sondes fluorescentes pour se fixer à des parties spécifiques des chromosomes. L'existence de marqueurs spécifiques pour un grand nombre d'anomalies génétiques connus a considérablement amélioré la précision dans l'identification des microdélétions et des duplications (Biomnis, 2016). La *FISH* représente un instrument efficace pour déterminer la position d'une séquence d'ADN clonée sur les chromosomes en métaphase. Avec l'avènement de la *FISH*, les spécialistes en cytogénétique ont désormais la possibilité d'examiner les chromosomes en interphase tout comme ceux en métaphase utilisés dans les caryotypes (Ried et al., 1998).

4.3. Hybridation génomique comparative (CGH)

L'hybridation génomique comparative (CGH) est une approche avancée qui analyse les variations de séquence d'ADN entre un échantillon test et un échantillon de référence. Facilite l'identification des gains et des pertes d'ADN à grande échelle.

5. Les chromosomes

Les chromosomes sont des structures biologiques qui contiennent l'information génétique sous forme d'ADN. Ils sont constitués de longues molécules d'ADN enroulées autour de protéines dénommées histones. Ils sont localisés dans le noyau des cellules eucaryotes, et ils se disposent en diverses paires.

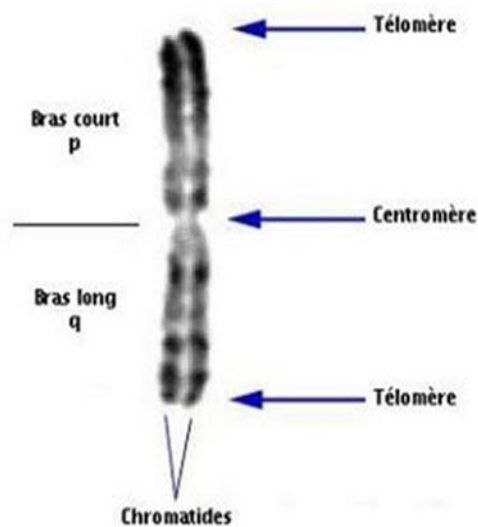


Fig. 7. Structure d'un chromosome (Dupont, 2008).

On distingue trois groupes morphologiques de chromosomes selon la longueur respective des bras courts et longs :

- Les chromosomes métacentriques présentent des bras de longueurs semblables.
- Les chromosomes submétacentriques ont la longueur des bras courts nettement inférieure à celle des bras longs.
- Les chromosomes acrocentriques ont le bras court est peu ou pas visible (Dupont, 2008)

Nomenclature	Position du centromère	d(μm)	R	CI
M	Point médiane	0.00	1.00	50.00
m	Région médiane	0.00-2.50	1.0-1.70	50.5-37.5
sm	Région Sub-Médiane	2.50-5.00	1.70-3.00	37.5 – 25.0
st	Région Sub-Terminale	5.00-7.50	3.00-7.00	25.0 – 12.5
t	Région terminale	7.50-10.00	7.00-l'infini	12.5 – 00.0
T	Point terminale	10.00	l'infini	00.0

Tab.I. Nomenclature chromosomique proposée par Levan et al. (1964).

Chapitre II : Matériel et méthodes

Matériel et Méthodes

Une double coloration au Fulgen et au carmin acétique est réalisée sur des pointes racinaires de la variété '*Saïda*' de l'orge cultivée selon le protocole de Feulgen et Rosenbeck (1924), in Darlington et La Cour (1970) et celui de Löve and Löve (1976).

1. Matériel

1.1. Le matériel végétal analysé : De jeunes pointes racinaires issues de caryopses germés de la variété algérienne '*Saïda*' de l'orge.

1.2. Les Solutions utilisées :

- Le α -Bromonaphtalène : Le α -bromonaphtalène est un composé organique de formule chimique $C_{10}H_7Br$ qui appartient à la famille des halogénoarènes. Ce produit est formé lorsque le naphtalène réagit avec du brome, ce qui permet d'introduire un atome de brome en position α du noyau naphtalénique (Clarke et Schram, 1921) (Fig.8).
- La solution saturée à l' α -Bromonaphtalène : cette solution est obtenue en mettant une goutte de α -Bromonaphtalène, dans un litre d'eau distillée. Elle n'est valable et efficace que pendant une semaine. Elle est utilisée pour bloquer la formation du fuseau achromatique et les chromosomes restent au niveau de la plaque équatoriale.
- Le fixateur : le fixateur utilisé dans cette étude est l'éthanol à 70% (Fig.8).
- HCl (1N) : La solution aqueuse d'HCl (1N) est utilisée pour l'hydrolyse acide (Fig.8).
- La fuchsine basique : la formule chimique brute de la fuchsine est $C_{20}H_{20}N_3Cl$. C'est un colorant de la famille des triaminotriphénylméthanés. Ce produit est transformé en fuchsine décolorée par l'ajout de dioxyde de soufre (SO_2). La forme décolorée réagit avec les groupements aldéhydes libres présents dans les tissus et cette réaction entraîne la formation d'un produit de condensation coloré en rouge violacé ce qui permet la visualisation des structures contenant des aldéhydes (Schiff, et Liebig, 1866) (Fig.8).
- Le carmin acétique : Le carmin acétique est un colorant couramment utilisé en microscopie pour mettre en évidence les noyaux et la chromatine. Il présente l'avantage de colorer et de fixer simultanément l'échantillon, facilitant ainsi l'observation. Il est préparé à partir du

carmin rouge, qui est un dérivé de l'acide carminique extrait de la cochenille femelle, dissout dans de l'acide acétique à 45 % (AquaPortail, 2020) (Fig.8).

- L'eau distillée : Elle est utilisée pour la préparation des solutions et les rinçages(Fig.8).

1.3. Matériel de laboratoire : Le matériel utilisé consiste en un bain-Marie, une plaque chauffante, une loupe binoculaire et un microscope optique. Des boites de Pétri, des béchers, des verres de montre, des tubes à essai, des tubes Eppendorf, un scalpel, une pince et du papier filtre sont également nécessaires pour la réalisation de cette étude.



Fig.8 : Solutions utilisées dans la coloration des chromosomes de la variété analysée

2. Méthodes d'étude

2.1. Lancement des germinations

Des caryopses d'orge sont mis à germer dans une boîte de Pétri tapissée d'un papier filtre humidifié à l'eau distillée. La boîte est laissée à l'abri de la lumière à la température ambiante jusqu'à la germination et développement des jeunes racines (Fig.9).



Fig. 9. Illustration photographique de la mise en germination des caryopses de l'orge

2.2. Prétraitement

Après la germination, les jeunes racines d'une longueur de 0.5 à 1 cm sont prélevées et mises dans un tube contenant la solution saturée de α -Bromonaphtalène pendant trois heures à température ambiante afin de bloquer les divisions cellulaires au stade métaphasique. Ce prétraitement peut se réaliser également pendant 24h dans le réfrigérateur à 4°C.

2.3. Fixation

Les jeunes racines sont fixées dans un tube contenant de l'éthanol à 70%. Les échantillons sont fixés pendant au moins une semaine avant leur l'hydrolyse.

2.4. Hydrolyse acide

Après la fixation, les racines sont mises dans un tube Eppendorf contenant du HCl (1N). Les tubes sont placés dans un bain-Marie à 60 °C. Après 15 minutes d'hydrolyse, les échantillons sont rincés à l'eau distillée.

2.5. Coloration

Les racines hydrolysées sont colorées, dans un verre de montre contenant de la fuchsine basique, pendant deux heures à l'obscurité. Elles sont, ensuite, rincées et mises dans un tube Eppendorf contenant du carmin acétique pendant 5 minutes dans un bain marin à 60°C (Fig.10).



Fig.10. Illustration photographique des racines après la coloration

2.6. Ecrasement et montage

Les pointes racinaires, coupées, sont écrasées entre lame et lamelle dans une goutte de carmin acétique à l'aide d'un embout en plastique (Fig.11).



Fig.11. Illustration photographique de la méthode d'écrasement de la pointe racinaire

2.7. Observation au microscope optique

Une fois la lame préparée, l'observation est réalisée à l'aide d'un microscope optique. On observe au grossissement 8X10, pour repérer les cellules en division, pour ensuite rechercher les stades métaphasiques. Une fois les cellules avec les plaques métaphasiques au nombre complet de chromosomes, bien colorés et bien éparpillés sont trouvées, elles sont photographiées au grossissement 8X40. D'autres stades de la mitose sont également photographiés.

2.8. Réalisation de caryotypes et caryogramme

La réalisation des caryotypes et du caryogramme s'effectue à partir des plaques métaphasiques, où les chromosomes sont clairement individualisés. Les logiciels utilisés sont Photoshop et IdeoKar 1.3 qui analyse les différents paramètres chromosomiques et caryotypiques afin de produire des caryotypes, puis de réaliser un caryogramme ou un caryotype moyen (Tab. II).

Abréviation	Signification	Formule	Référence
L	Longueur du bras long		Levan et al. (1964)
S	Longueur du bras court		Levan et al. (1964)
CL	Longueur totale du chromosome	$CL = L + S$	Levan et al. (1964)
RL%	Longueur relative du chromosome	$RL\% = (CL/\sum CL) \times 100$	Levan et al. (1964)
AR	Arm ratio	$AR = L/S$	Levan et al. (1964)
r-Value		S/L	Levan et al. (1964)
CI	Indice centromérique	$Ci = S/CL$	Levan et al. (1964)
R	Indice de symétrie	$R=(CL_{max}/CL_{min})$	Stebbins (1971)
IAs	Indice d'asymétrie du caryotype	$IAs = (\sum L/\sum CL) \times 100$	Arano (1981)

Tab. II. Formules des paramètres chromosomiques et indices d'asymétrie du caryotype utilisés dans le programme IdeoKar 1.3

Chapitre III : Résultats et discussion

Le présent travail consiste à suivre le déroulement des divisions cellulaires racinaires en mitose d'une variété d'orge cultivée traditionnellement en Algérie afin d'établir des caryotypes et un caryogramme. Une double coloration au réactif de Schiff (Feulgen et Rosenbeck 1924 *in* Darlington et La cour, 1970) et à l'orcéine acétique (Löve and Löve, 1976).

1. Les différentes phases de la mitose

Après la double coloration des pointes racinaires de la variété cultivée 'Saïda', les différentes étapes de la mitose sont observées à l'aide d'un microscope optique. Les quatre phases observées sont données dans la figure 12.

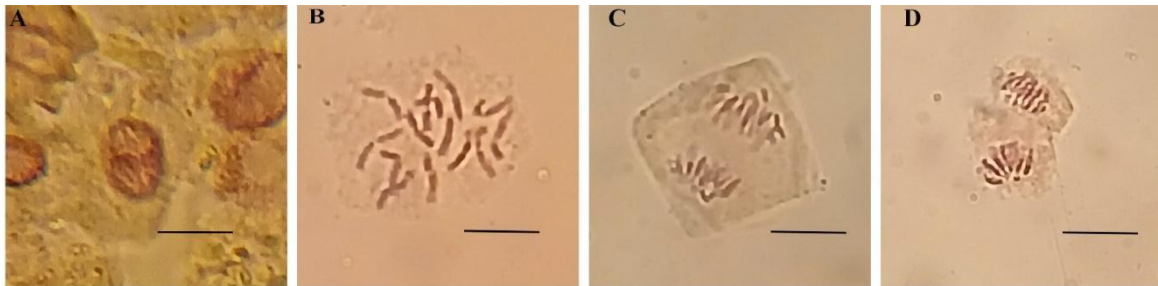


Fig. 12. Photographies des différentes phases de la mitose dans les cellules méristématiques chez la variété 'Saïda' de l'orge cultivé *Hordeum vulgare* L., observées sous microscope optique au grossissement (8x40) après une double coloration au Feulgen et au carmin acétique. Barre d'échelle = 10µm. **A** : Prophase, **B** : Métaphase, **C** : Anaphase, **D** : Télophase

Durant la **prophase** (Fig. 12A), les chromosomes se condensent et deviennent distincts, composés de deux chromatides reliés par leur centromère. Les filaments de la lamina sont dépolymérisés, les pores nucléaires se séparent et les lamines ainsi que les nucléoporines se dispersent sous forme de particules solubles dans le cytoplasme. Les membranes de l'enveloppe sont dispersées, évincées du fuseau mitotique, et par conséquent, elles perdent tout lien avec les chromosomes (Tournebize et al., 2002).

Plusieurs protéines liant l'ADN, comme la cohésine et la condensine, catalysent le processus de condensation. La cohésine crée des anneaux qui maintiennent les chromatides sœurs

ensemble, tandis que la condensine génère des anneaux qui enroulent les chromosomes dans des formes extrêmement compactes (Nature Education, 2010).

Initialement, les microtubules sont orientés de manière aléatoire, mais à la fin de la prophase, ils s'alignent parallèlement à la surface du noyau en suivant l'axe du fuseau. Ils constituent donc le fuseau préprophasique, première indication de la formation du fuseau mitotique : il se forme alors que la bande préprophasique est encore présente (Raven et al., 2007).

À la fin de cette phase, le nucléole disparaît progressivement, en même temps l'enveloppe nucléaire se désintègre.

Pendant la **métaphase**, les chromosomes se regroupent au niveau de l'équateur de la cellule (Fig. 12B).

Dans un premier temps, les chromosomes doivent établir une connexion bipolaire. Cela signifie que les chromatides sœurs de chaque chromosome bivalent doivent se lier aux microtubules provenant des pôles opposés du fuseau via les kinétochores (Labbé et Lorca, 2001). Une structure allongée connue sous le nom de fuseau mitotique est formée par l'organisation des microtubules. Les chromatides sont désormais prêtes à se séparer.

Pendant l'**anaphase** (Fig. 12C), les chromatides sœurs sont séparées et se déplacent vers les pôles opposés du fuseau, un processus qui est crucial pour garantir une distribution égale du matériel génétique.

Les chromosomes se déplacent vers les pôles grâce au désassemblage des microtubules attachés au kinétochore, ce qui raccourcit les fibres les reliant aux pôles du fuseau mitotiques (Asbury, 2017).

Durant la **télophase** (Fig. 12D), l'enveloppe nucléaire commence à se reformer autour de chaque ensemble de chromosomes, qui sont encore dans un état condensé, transitionnant progressivement vers une forme moins condensée à mesure que l'interphase approche (Kaduchová et al., 2023).

La cytokinèse est la dernière étape de la division cellulaire, caractérisé par la formation de la plaque cellulaire, qui conduit finalement à la division du cytoplasme et à la création de deux cellules filles distinctes.

La plaque cellulaire se développe vers l'extérieur, fusionnant avec la membrane plasmique parentale, et est composée de vésicules liées à la membrane qui contiennent des matériaux de la paroi cellulaire (Fowke et al., 1975). Les deux cellules filles, maintenant séparées, entrent en interphase.

2. Dénombrement chromosomique

Le dénombrement chromosomique a été réalisés sur des cellules en division mitotique des méristèmes racinaires de la variété d'orge '*Saïda*' (*Hordeum vulgare* L.) à l'aide d'une double coloration Feulgen-carmin acétique.

L'observation des plaques métaphasiques (Fig. 13-15) montre que la variété '*Saïda*' est diploïde avec $2n = 14$ chromosomes avec un nombre chromosomique de base $n = 7$.

Ces résultats confirment ceux de Kasha et Sadasivaiah (1971) pour cette espèce étudiée.

3. Etablissement des caryotypes

L'étude cytogénétique de l'orge cultivée variété '*Saïda*' a permis d'identifier 7 paires de chromosomes, leurs identifications et leurs mesures sont réalisés à l'aide du logiciel ideokar 1.3.

Plaque métaphasique 1

La figure 13 présente une plaque métaphasique d'une cellule en division mitotique issue du méristème racinaire de *Hordeum vulgare* avec son caryotype correspondant.

Les résultats dérivés de l'étude de la plaque métaphasique 1 sont présentés dans le (Tab III).

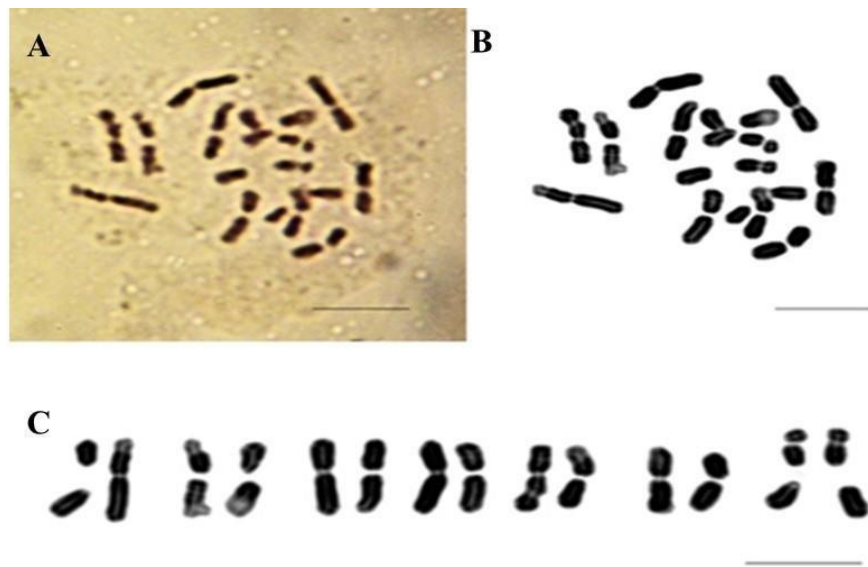


Fig. 13. Photographie de la plaque métaphasique 1 d'une cellule d'un méristème racinaire de *Hordeum vulgare* en division mitotique observée au microscope optique après une double coloration au Feulgen et au carmin acétique (A), Dessin de la plaque métaphasique (B) et son caryotype (C). Barre d'échelle =10 μ m.

Tab. III. Paramètres du caryotype de la plaque métaphasique 1 de la variété ‘Saïda’ de *Hordeum vulgare* L.

L=Longueur du bras long, S=Longueur du bras court, CL=Longueur totale du chromosome, RL%= longueur relative du chromosome, AR=Arm ratio (L/S), r_value= S/L, CI=Indice centromérique, R=indice de symétrie (CLmax/CLmin), Ias=indice d'Arano d'asymétrie du caryotype ($Ias = (\sum L / \sum CL) \times 100$).

Chromosome	L(μm)	S(μm)	CL(μm)	IC	RL%	AR	r-value	Chromosome Type	
1	6,63	3,25	9,88	0,33	8,07	2,04	0,49	sm	
2	5,13	4,50	9,63	0,47	7,87	1,14	0,88	m	
3	4,88	4,63	9,50	0,49	7,76	1,05	0,95	m	
4	4,75	4,38	9,13	0,48	7,46	1,09	0,92	m	
5	5,13	3,88	9,00	0,43	7,35	1,32	0,76	m	
6	5,00	3,38	8,38	0,40	6,84	1,48	0,68	m	
7	4,50	3,75	8,25	0,45	6,74	1,20	0,83	m	
8	4,13	3,88	8,00	0,48	6,54	1,06	0,94	m	
9	4,88	3,00	7,88	0,38	6,44	1,63	0,62	sm	
10	4,00	3,63	7,63	0,48	6,23	1,10	0,91	m	
11	4,00	3,50	7,50	0,47	6,13	1,14	0,88	m	
12	3,50	3,25	6,75	0,48	5,52	1,08	0,93	m	
13	6,25	4,38	10,63	0,41	8,68	1,43	0,70	m	SAT
14	5,50	4,75	10,25	0,46	8,38	1,16	0,86	m	SAT
Σ	68,25	54,13	122,38						
R= 1,57							IAS= 55,77%		

Les données présentées dans ce tableau mettent en évidence :

- La présence de 14 chromosomes dont deux chromosomes (13 et 14) présentent des satellites (SAT). Selon la classification de Levan et al. (1964), la majorité des chromosomes sont métacentriques ‘région médiane’ (m), dont deux submétacentriques (sm) :

Chromosomes 1 avec un CI = 0,33 et chromosome 9 avec un CI= 0,62

- La longueur totale du génome est de $112,38\mu\text{m}$ avec des tailles individuelles (CL) variant de $6,75\ \mu\text{m}$ à $10,63\ \mu\text{m}$, et l'indice d'asymétrie total (IAS = 55.77%) suggère un caryotype asymétrique (Tab. III)

Plaque métaphasique 2

La figure 14 présente une plaque métaphasique d'une cellule en division mitotique issue du méristème racinaire de *Hordeum vulgare* avec son caryotype correspondant.

Les résultats dérivés de l'étude de la plaque métaphasique 2 sont présentés dans (Tab. IV).

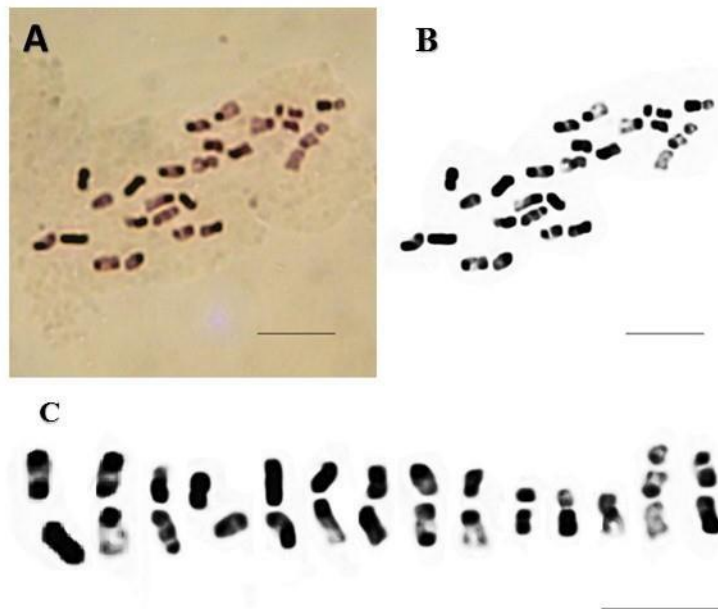


Fig. 14. Photographie de la plaque métaphasique 2 d'une cellule d'un méristème racinaire de *Hordeum vulgare* en division mitotique observée au microscope optique après une double coloration au Feulgen et au carmin acétique (A), Dessin de la plaque métaphasique (B) et son caryotype (C). Barre d'échelle = $10\mu\text{m}$.

Tab. IV. Paramètres du caryotype de la plaque métaphasique 2 de la variété 'Saïda' de *Hordeum vulgare* L.

L=Longueur du bras long, S=Longueur du bras court, CL=Longueur totale du chromosome, RL%= longueur relative du chromosome, AR=Arm ratio (L/S), r_value= S/L, CI=Indice centromérique, R=indice de symétrie (CLmax/CLmin), Ias=indice d'Arano d'asymétrie du caryotype ($Ias = (\sum L / \sum CL) \times 100$).

Chromosome	L(μm)	S(μm)	CL(μm)	IC	RL%	AR	r-value	Chromosome Type	
1	5,53	4,15	9,68	0,43	9,56	1,33	0,75	m	
2	5,00	4,26	9,26	0,46	9,14	1,18	0,85	m	
3	5,32	3,40	8,72	0,39	8,61	1,56	0,64	sm	
4	4,26	4,04	8,30	0,49	8,19	1,05	0,95	m	
5	4,36	3,72	8,09	0,46	7,98	1,17	0,85	m	
6	4,15	3,94	8,09	0,49	7,98	1,05	0,95	m	
7	3,94	3,30	7,23	0,46	7,14	1,19	0,84	m	
8	3,83	3,40	7,23	0,47	7,14	1,13	0,89	m	
9	4,36	2,45	6,81	0,36	6,72	1,78	0,56	sm	
10	2,34	1,70	4,04	0,42	3,99	1,38	0,73	m	
11	2,45	1,60	4,04	0,39	3,99	1,53	0,65	sm	
12	2,45	1,49	3,94	0,38	3,89	1,64	0,61	sm	
13	5,53	2,87	8,40	0,34	8,30	1,93	0,52	sm	SAT
14	3,72	3,72	7,45	0,50	7,35	1,00	1,00	M	SAT
Σ	57,23	44,04	101,28						
R= 2,46							IAS=56,51%		

Les données présentées dans ce tableau mettent en évidence :

- La présence de 14 chromosomes dont deux chromosomes (13 et 14) présentent des satellites (SAT). Selon la classification de Levan et al. (1964) la majorité des chromosomes sont métacentriques 'région médiane' (m), avec Cinq submétacentriques (sm) (chromosomes 3, 9) 11, 12 et 13) à l'exception du chromosome 13 Métacentrique 'point médiane' (M) avec un AR =1,00.

- La longueur totale du génome est de $101,28\mu\text{m}$ avec des tailles individuelles (CL) variant de $3,94\ \mu\text{m}$ à $9,68\ \mu\text{m}$, et l'indice d'asymétrie totale ($\text{IAS} = 56,51\%$) suggère un caryotype modérément asymétrique (Tab. IV)

Plaque métaphasique 3 : La figure 15 présente une plaque métaphasique d'une cellule en division mitotique issue du méristème racinaire de *Hordeum vulgare* avec son caryotype correspondant.

Les résultats dérivés de l'étude de la plaque métaphasique 3 sont présentés dans le Tab. V.

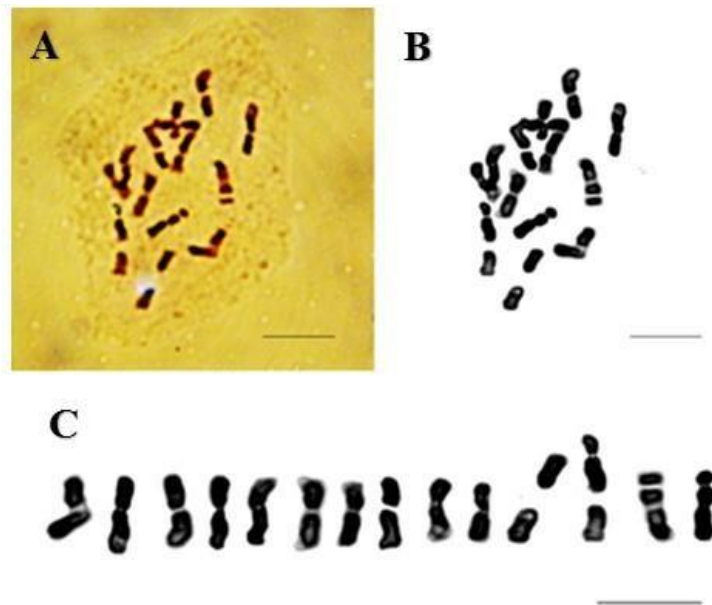


Fig.15. Photographie de la plaque métaphasique 3 d'une cellule d'un méristème racinaire de *Hordeum vulgare* en division mitotique observée au microscope optique après une double coloration au Feulgen et au carmin acétique (A), Dessin de la plaque métaphasique (B) et son caryotype (C). Barre d'échelle = $10\mu\text{m}$.

Tab.V. Paramètres du caryotype de la plaque métaphasique 3 de la variété « Saïda » de *Hordeum vulgare* L :

L=Longueur du bras long, S=Longueur du bras court, CL=Longueur totale du chromosome, RL%= longueur relative du chromosome, AR=Arm ratio (L/S), r_value= S/L, CI=Indice centromérique, R=indice de symétrie (CLmax/CLmin), Ias=indice d'Arano d'asymétrie du caryotype (Ias=($\sum L / \sum CL$)x100).

Chromosome	L(µm)	S(µm)	CL (µm)	IC	RL%	AR	r-value	Chromosome Type	
1	4,60	3,68	8,28	0,44	7,64	1,25	0,80	m	
2	4,71	3,22	7,93	0,41	7,32	1,46	0,68	m	
3	4,02	3,56	7,59	0,47	7,00	1,13	0,89	m	
4	3,79	3,79	7,59	0,50	7,00	1,00	1,00	M	
5	4,02	3,56	7,59	0,47	7,00	1,13	0,89	m	
6	4,02	3,45	7,47	0,46	6,89	1,17	0,86	m	
7	3,68	3,10	6,78	0,46	6,26	1,19	0,84	m	
8	3,68	3,10	6,78	0,46	6,26	1,19	0,84	m	
9	3,56	3,10	6,67	0,47	6,15	1,15	0,87	m	
10	3,33	2,76	6,09	0,45	5,62	1,21	0,83	m	
11	6,21	4,25	10,46	0,41	9,65	1,46	0,69	m	
12	5,75	5,52	11,26	0,49	10,39	1,04	0,96	m	SAT
13	3,68	3,68	7,36	0,50	6,79	1,00	1,00	M	SAT
14	3,45	3,10	6,55	0,47	6,04	1,11	0,90	m	SAT
Σ	58,51	49,89	108,39						
R= 1,85							IAS= 53,58%		

L'analyse des données présentées dans ce tableau révèle :

- 14 chromosomes dont trois chromosomes (12, 13 et 14) avec (SAT), avec une longueur totale de 108,39 µm. La longueur chromosomique varie de 6,09 µm à 11,26 µm.
- La majorité des chromosomes sont classés comme métacentriques 'région médiane' (m) avec les chromosomes 4 et 13 Métacentrique 'point médiane' (M) avec un AR =1,00.

- L'indice d'asymétrie totale (IAS = 53,58%) indique une asymétrie modérée à faible (Tab. V).

4. Réalisation d'un caryogramme

Un caryogramme représente une synthèse graphique des chromosomes, dérivée de l'analyse de multiples caryotypes au sein d'une même population.

Dans ce cas, l'analyse des 3 caryotypes (Fig.13C, Fig.14C, Fig.15C) a permis de schématiser un caryogramme représentatif de la variété '*Saïda*' (Fig.16). Les données ayant servi pour sa réalisation sont présentées dans le (Tab. VII).

La population étudiée possède un caryotype diploïde, avec des chromosomes métacentriques dont la longueur moyenne varie de 6,52 à 9,11 μm . L'indice centromérique (IC) se situe entre $0,42 \pm 0,12$ et $0,45 \pm 0,06$, tandis que le rapport des bras (AR) varie de $1,13 \pm 0,18$ à $1,37 \pm 0,45$. La valeur r est comprise entre $0,73 \pm 0,23$ et $0,88 \pm 0,14$. L'indice d'asymétrie du caryotype est de $55,43 \pm 1,12$ %, indiquant une faible différence de taille entre les chromosomes, avec un rapport entre la paire la plus longue et la plus courte de 1,40.

Tab. VII. Paramètres statistiques des chromosomes du caryogramme de la variété 'Saïda' de *Hordeum vulgare* L.

L=Longueur du bras long, S=Longueur du bras court, CL=Longueur totale du chromosome, RL%= longueur relative du chromosome, AR=Arm ratio (L/S), r_value= S/L, CI=Indice centromérique, R=indice de symétrie (CLmax/CLmin), Ias=indice d'Arano d'asymétrie du caryotype ($Ias=(\sum L/\sum CL)\times 100$).

Chromosome	L (µm)	S (µm)	CL (µm)	IC	RL%	AR	r-value	Chromosome Type		
1	5,27±1,33	3,84±0,96	9,11±1,45	0,42±0,12	16,46 ± 2,82	1,37 ± 0,45	0,73 ± 0,23	M		
2	4,50±0,53	3,97±0,43	8,47±0,72	0,47±0,06	15,30 ± 1,52	1,13 ± 0,18	0,88 ± 0,14	M		
3	4,45 ± 0,45	3,66 ± 0,21	8,10 ± 0,51	0,45 ± 0,03	14,63 ± 1,05	1,22 ± 0,15	0,82 ± 0,10	M		
4	3,96 ± 0,29	3,42 ± 0,30	7,38 ± 0,56	0,46 ± 0,01	13,33 ± 1,11	1,16 ± 0,12	0,86 ± 0,09	M		
5	3,75 ± 0,81	2,77 ± 0,60	6,52 ± 1,26	0,43 ± 0,04	11,78 ± 2,43	1,35 ± 0,40	0,74 ± 0,22	M		
6	4,06 ± 1,47	3,27 ± 1,42	7,33 ± 2,83	0,44 ± 0,05	13,24 ± 5,47	1,24 ± 0,73	0,81 ± 0,48	M	SA T	
7	4,69 ± 1,10	3,75 ± 0,81	8,44 ± 1,52	0,45 ± 0,06	15,25 ± 3,12	1,25 ± 0,38	0,80 ± 0,24	M	SA T	
Σ	30,68 ± 0,59	24,68 ± 0,45	55,35 ± 0,98							
R= 1,40							IAS= 55,43 ± 1,12%			

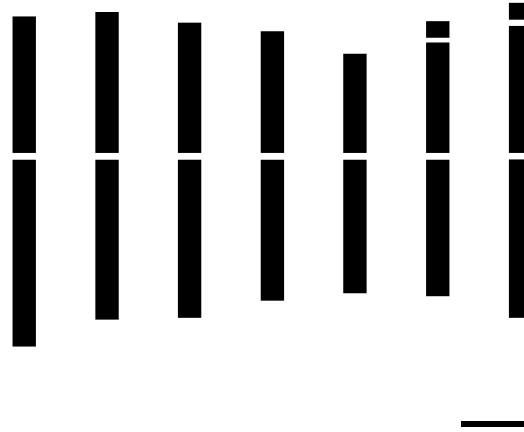


Fig. 16. Caryogramme établi à partir des trois caryotypes de la variété 'Saïda' de *Hordeum vulgare* L. la barre d'échelle correspond à 2 μ m.

Le génome présente un caryogramme constitué de sept paires de chromosomes, classées de 1 à 7 en fonction de la longueur totale (CL), laquelle varie de 6,52 μ m à 9,11 μ m avec R=1.4 indiquant une variabilité modérée des tailles chromosomique, l'indice d'asymétrie totale est de 55.43 % ce qui révèle un caryotype relativement asymétrique bien que composé uniquement de chromosomes métacentriques.

Les longueurs totales des chromosomes mesurés dans notre étude, comprises entre 6,52 μ m et 9,11 μ m, sont supérieures à celles rapportées dans certaines études antérieures. Cette variation peut s'expliquer soit par le degré de condensation de la chromatine soit par des remaniements éventuels des chromosomiques.

Cependant les résultats obtenus de notre analyse s'accordent avec ceux de Kasha et Sadasivaiah (1971).

Le caryogramme obtenu met en évidence la présence de deux paires de chromosomes porteurs de satellites. Ces satellites sont visibles sous forme de segments secondaires reliés aux bras courtx par une constriction secondaire.

Conclusion

Conclusion

En conclusion, l'étude des cellules méristématiques racinaires en mitose de la variété '*Saïda*' de l'orge cultivé (*Hordeum vulgare*) a été menée à travers l'observation de métaphases mitotiques ce qui a permis la réalisation de mesures morphométriques précises sur les chromosomes (longueurs des bras courts et longs, longueurs totales), ainsi que le calcul de plusieurs indices cytogénétiques tels que l'indice centromérique (CI), le rapport d'asymétrie (R), l'indice de forme (AR) et la r-valeur ; qui à partir de ces données, un caryotype et un caryogramme ont été établis.

Les résultats obtenus révèlent que le nombre chromosomique est conforme à celui attendu chez l'orge diploïde ($2n = 14$), et que les chromosomes sont symétriques avec un indice d'asymétrie IAs % de $55,43 \pm 1,12\%$, et tous les chromosomes sont métacentriques $2x=2n=14m$ avec une longueur qui varie de $6.52\mu\text{m}$ à $9.11\mu\text{m}$.

La présence des chromosomes à satellites dans ce caryogramme suggère une organisation chromosomique particulière à cette variété, indiquant la présence de régions organisatrices nucléaires (N.O.R) sur ces chromosomes. Ces régions sont connues pour coder les gènes ribosomiques essentiels à la synthèse des ribosomes et au fonctionnement cellulaire qui peut être liée à ses caractéristiques génétiques et physiologiques de la variété '*Saïda*'.

Cette observation est importante car elle enrichit la connaissance cytogénétique sur *Hordeum vulgare* et pour construire une base pour des études futures sur la variabilité chromosomique, la tolérance aux stress ou encore l'amélioration génétique de cette espèce.

Ce travail met en lumière l'importance de la cytogénétique dans la compréhension de la structure chromosomique des plantes cultivées et son rôle dans les programmes de sélection variétale. Elle apporte une contribution significative à la cytogénétique de l'orge en mettant en évidence la particularité des chromosomes satellites dans la variété '*Saida*', ce qui pourrait avoir des implications pour la recherche agronomique et la gestion de la diversité génétique au sein de cette espèce et ouvre la voie à des recherches futures plus approfondies sur le patrimoine génétique de l'orge en Algérie

En perspective, cette étude devra être approfondie par l'observation d'un plus grand nombre de mitoses et par l'intégration de techniques cytogénétiques moléculaires (telles que la *FISH* hybridation *in situ* fluorescente), afin de mieux localiser les régions génomiques d'intérêt.

Références bibliographiques

Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts K, Walter P. Cytokinesis. In: *Molecular Biology of the Cell*. 4th ed. New York: Garland Science; 2002.

Ali M, Polgári D, Sepsi A, Kontra L, Dalmadi Á, Havelda Z, Sági L, Kis A. Caryotypage moléculaire rapide et économique du blé, de l'orge et de leurs descendants croisés par PCR multiplex chromosomique-spécifique. *Plant Methods* 2024;20:11.

Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot J Linn Soc* 2016;181:1-20.

Aouadi E, Fornier M, Gosseye A, Castillo-Ferrer C, Frachet V. La séparase, protéine-clé de la mitose. *Med Sci (Paris)* 2021;37(6-7):684-686

Asbury CL. Anaphase A: Disassembling microtubules move chromosomes toward spindle poles. *Biol* 2017;6:15.

Baik BK, Ulrich SE. Barley for food: characteristics, improvement and renewed interest. *J Cereal Sci* 2008;48:233-42.

Biomnis. Cytogénétique et génétique moléculaire constitutionnelles : Caryotypage, FISH et puce d'hybridation génomique comparative (aCGH). *Focus* 2016;56:1-5.

Bouchetat F. Etude de comportement et de la qualité technologique du grain de cultivars d'orge introduits et de la variété locale Saïda. Thèse de doctorat, Université Blida 1, 2020.

Boufenar A. Étude des caractères racinaires et morpho-phénologiques de quelques variétés d'orge sous stress hydrique, notamment sur la variété Saïda 183. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mentouri Constantine, 2006.

Brink M, Belay GM. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1. Céréales et légumes secs. Wageningen : Foundation PROTA/Backhuys Publishers/CTA, 2006.

Bréon FM, Frouin R, Gautier C. Irradiance descendante à ondes longues à la surface de l'océan : évaluation des mesures et paramétrisations in situ. *J Appl Meteor* 1991;30:17-31.

Carassou P, Meijer L, Le Moulec S, Aoun J, Bengrine-Lefèvre L. Le cycle cellulaire et ses cibles: inhibition des CDK. *Bull Cancer* 2012;99(2):163-171

Chambres d'agriculture France. Analyse détaillée de la production d'orge en France, premier producteur européen, avec données sur les surfaces cultivées, rendements et usages (malterie, alimentation animale). Chambres d'agriculture France, 2025.

Chaouche M. Étude de comportement de l'orge (Saida 183) dans deux régions différents (zones humide et semi-aride) [Mémoire de Master]. Guelma: Université de Guelma, Département d'Écologie et Génie de l'Environnement; 2017.

Criqui MC, Genschik P. Mitosis in plants: how far we have come at the molecular level? *Curr Opin Plant Biol* 2002;5(6):487–93.

Dupont JM. Ultrastructure du chromosome. *Atlas Genet Cytogenet Oncol Haematol* 2008;12:112-7.

Dixit R, Cyr R. A microtubule perspective on plant cell division. *Plant Cell* 2004;16(4):999–1010

FAO. Données globales sur la production céréalière incluant l'orge, avec focus sur les tendances mondiales et projections. FAO, 2024.

Fowke LC, Bech-Hansen CW, Gamborg OL, Constabel F. Electron-microscope observations of mitosis and cytokinesis in multinucleate protoplasts of soybean. *J Cell Sci* 1975;18:491507.

Guenez R. Étude de caractères racinaires et morpho-phénologiques de quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous stress hydrique [Mémoire de Master]. Constantine: Université de Constantine, Enseignement Supérieur et Recherche Scientifique; 2020.

Harlan J. *The living fields: our agricultural heritage.* Cambridge : Cambridge University Press, 1995.

Jahier J. *Techniques de cytogénétique végétale.* Paris : INRA Éditions, 1992 : 5.

Jiang C, Kan J, Gao G, Dockter C, Li C, Wu W, Yang P, Stein N. Barley2035: A decadal vision for barley research and breeding. *Mol Plant* 2025;18:195-218.

Jürgens G. **Cytokinesis in higher plants.** *Annu Rev Plant Biol* 2005;56:281–299

Kaur A, Purewal SS, Phimolsiripol Y, Punia Bangar S. Unraveling the Hidden

Potential of Barley (*Hordeum vulgare*): An Important Review. *Plants* 2024;13:2421.

Kwaśniewska J, Bara AW. Plant Cytogenetics in the Micronuclei Investigation—The Past, Current Status, and Perspectives. *Int J Mol Sci* 2022;23:1306.

Kaduchová K, Marchetti CF, Ovečka M, Galuszka P, Bergounoux V, Šamaj J, Pecinka A. Spatial organization and dynamics of chromosomes and microtubules during barley mitosis. *Plant J* 2023;;e16355.

Labbé JC, Lorca T. Contrôle de la transition métaphase-anaphase. *Med Sci (Paris)* 2001;17:1325–6.

La Coopération Agricole. Rapport complet sur la filière orge, malt et bière en France, incluant chiffres de production, exportations et importance économique. La Coopération Agricole, 2023.

Le Louarn H, Quéré JP. Les rongeurs de France: faunistique et biologie. Versailles : Editions Quae, 2003.

Liu B, Lee YRJ. Spindle assembly and mitosis in plants. *Annu Rev Plant Biol* 2022;73(1):227–254

Nature Education. Mitosis. *Nat Educ* 2010;3:1. Disponible sur : <https://www.nature.com/scitable/topicpage/mitosis-14046258/>

Park H-W, Sevileno SS, Ha MKT, Cabahug-Braza RA, Yi J-H, Lim K-B, Cho W, Hwang Y-J. The Application of Fluorescence In Situ Hybridization in the Prescreening of Veronica Hybrids. *Plants* 2024;13(9):1264.

Plant Physiology Growth, Development, and Metabolism | WorldCat.org. (2025).

Potential of Barley (*Hordeum vulgare*): An Important Review. *Plants* 2024;13:2421.

POWO. *Hordeum vulgare* L. Plants of the World Online. Royal Botanic Gardens Kew; 2024. Disponible sur : <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:403382-1>

Prat R. Observation des différentes phases de la mitose au microscope optique. *Planet-Vie* 2022

Rahal-Bouziane H. L'orge en Algérie : passé, présent et importance pour la sécurité alimentaire, face aux nouveaux défis. *Rech Agron* 2015;17:1–24 .

Ramesh B, Singh VP. Somatic karyotype analysis in barley (*Hordeum vulgare* L).

Raven P., Evert R., Eichhorn S. Biologie végétale. Bruxelles : De Boeck, 2007 : 61.

Rechachi MZ, Abdelhafid Y, Menasria H, Mellah A, Lakhdari F, Hiouani F. Mécanisme(s) de tolérance au sel chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). J Alger Régions Arides 2020;14:66–79.

Ried T, Baldini A, Rand TC, Ward DC. Fluorescence in situ hybridization (FISH). Sci Aging Knowledge Environ 1998;1998:pe1.

Smirnova EA, Bajer AS. Microtubule converging centers and reorganization of the interphase cytoskeleton and the mitotic spindle in higher plant *Haemanthus*. Cytoskeleton 1994;27:219-33.

SOLTNER D. Les grandes productions végétales, 20^{ème} édition, collection des sciences et techniques agricoles. 2005 : 245p.

Statista. Production mondiale d'orge 2008-2023. Statistiques actualisées. Statista, 2022.

Supérieur E, Guenez R. Etude de caractères racinaires et morpho-phénologiques de quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous stress hydrique. 2020.

Szakács É, Kruppa K, Molnár-Láng M. Analyse du polymorphisme chromosomique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L ssp vulgare) et entre H vulgare et H chilense par hybridation in situ en fluorescence tricolore (FISH). J Appl Genet 2013;54:427-33.

Tournebize R, Gönczy P, Goud B, Bornens M. La mitose : de l'entrée en mitose à la ségrégation des chromosomes. Med Sci (Paris) 2002;18:1017-27.

Yara France. Production mondiale d'orge, données sur les principaux pays producteurs, superficies et rendements mondiaux. Yara France, 2018.

Zhang S, Zhu M, Zhu M, Shang Y, Wang J, Zhuang L, Zhang J, Chu C, Qi Z. Organisation physique des séquences répétitives et diversité chromosomique de l'orge révélées par hybridation in situ en fluorescence (FISH). Genome 2019;62:329-39.

Site internet :

<https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/5094/carmin-acetique>

<https://www.studysmarter.fr/resumes/biologie/informationgenetique/cytogenetique/>

<https://www.mabiologie.com/2025/01/comprendre-les-chromosomes-etleur.html>

Résumé

L'étude des mitoses racinaires de la variété 'Saïda' de l'orge cultivé en Algérie (*Hordeum vulgare*) nous a permis de visualiser la morphologie des chromosomes en différentes phases de mitose, en particulier à la métaphase.

Une double coloration, utilisant la méthode de Feulgen et le carmin acétique, a été appliquée sur de jeunes racines de la variété 'Saïda' après blocage de la division cellulaire en métaphase, afin de rendre les chromosomes condensés et visibles au microscope optique, cela a permis leur dénombrement et l'établissement des caryotypes et caryogramme.

Les résultats obtenus confirment que la variété 'Saïda' de l'espèce étudiée *Hordeum vulgare* L. présente un nombre chromosomique diploïde ($2n= 2x = 14$ chromosomes), et les chromosomes sont majoritairement de type métacentrique et avec la présence de chromosomes à satellites.

Selon le degré d'asymétrie chromosomique, le caryogramme de cette variété 'Saïda' de *Hordeum vulgare* L est classé comme symétrique avec un indice d'asymétrie IAs de 55,43%.

Mots clés : *Hordeum vulgare* L. ; Variété 'Saïda'; Coloration au feulgen ; Caryotype; Caryogramme

Abstract

A The study of root mitosis in the Algerian barley variety "Saïda" (*Hordeum vulgare*) enabled us to visualize chromosome morphology at different phases of mitosis, particularly at metaphase.

A double staining, using Feulgen's method and acetic carmine, was applied to young roots of the "Saïda" variety after blocking cell division in metaphase, in order to make the chromosomes condensed and visible under the light microscope, enabling their enumeration and the establishment of karyotypes and karyograms.

The results confirm that the Saïda variety of the species studied, *Hordeum vulgare* L., has a diploid chromosome number ($2n= 2x = 14$ chromosomes), and the chromosomes are predominantly of the metacentric type, with the presence of satellite chromosomes.

According to the degree of chromosome asymmetry, the karyogram of this "Saïda" variety of *Hordeum vulgare* L is classified as symmetrical with an asymmetry index IAs of 55.43%.

Key words: *Hordeum vulgare* L.; Variety "Saïda"; Feulgen staining; Karyotype; Karyogram