



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique Et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



**Université Constantine 1 Frères Mentouri**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**

**جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري**  
**كلية علوم الطبيعة والحياة**

**Département : Biologie Végétale**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Biotechnologies**

**Spécialité : Biotechnologie et Génomique Végétale**

**N° d'ordre :**

**N° de série :**

Intitulé :

---

**Comportement de dix génotypes de triticales dans différents environnements algériens et effet du taux d'aneuploïdie sur la germination des graines**

---

**Présenté par : - BENAMER Youmna**

**Le :23/06/2025**

- FARID Ouarda

**Jury d'évaluation :**

Président : KELLOU Kamel (MAA) Université Mentouri Constantine 1.

Encadrant : BENBELKACEM Abdelkader (Directeur de recherche INRAA).

Examinateur : TEMAGOULT Mahmoud (MAA) Université Mentouri Constantine 1.

**Année universitaire  
2024 – 2025**

# **Remercîment**

Nous remercions avant tout le Grand Dieu Allah, le plus puissant, le miséricordieux.

Nous exprimons nos plus profonds remerciements à notre encadreur Monsieur **Benbelkacem Abdelkader** pour l'aide précieuse qu'il nous a porté et les conseils infiniment utiles qu'il nous prodiguait pour la réalisation de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury Monsieur **Kellou Kamel** pour avoir accepté de présider ce jury et monsieur **Temagoult Mahmoud** pour examiner ce travail.

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants qui ont assuré notre enseignement et apprentissage durant tout notre cursus universitaire et qui ont veillé à nous former.

Nous voudrions également exprimer nos vifs remerciements à Madame **Hammouda Dounia** directrice du laboratoire de cytogénétique, ainsi que tout son personnel pour toute l'aide qu'ils nous ont prodigué, et particulièrement monsieur **Baaziz Karim** et madame **Djeghar Radia**.

# Dédicace

Je dédie ce travail, en toute humilité et avec une profonde reconnaissance, à mes parents,

à **ma mère**, pour son amour inépuisable, sa tendresse constante et sa foi silencieuse qui ont accompagné chacun de mes pas.

Et à **mon père**, pour son exemplarité, sa patience et sa force tranquille, piliers essentiels dans mon cheminement personnel et académique.

À mes sœurs **Feriala, Iline et Mayssem**, pour leur affection, leur complicité et leur présence rassurante. Leur soutien affectif et moral a été, pour moi, une source de sérénité dans les moments de doute comme dans ceux de réussite.

À mes amies les plus chères, pour les liens sincères et durables qui nous unissent.

Une pensée toute particulière à **Athar**, dont l'écoute, la loyauté et les encouragements ont toujours représenté un repère précieux tout au long de ce parcours.

Enfin,  
à **Ouarda**, ma binôme, pour son engagement exemplaire, son sens du partage et sa rigueur scientifique. Ce travail est aussi l'aboutissement d'une collaboration harmonieuse, marquée par le respect, la persévérance et la confiance mutuelle.

*Youmna*

# Dédicace

Je dédie ce travail, avant tout, à **ma mère**, pour son amour inconditionnel, sa patience exemplaire et son soutien indéfectible tout au long de mon parcours. Elle demeure la source essentielle de ma persévérance et de mon équilibre.

## À mon père,

dont la droiture, les sacrifices silencieux et la confiance constante ont nourri ma volonté d'aller toujours plus loin.

## À Papa Salah,

pour sa bienveillance, sa présence rassurante et son rôle paternel qui m'a profondément marquée.

À mes frères : **Mohamed** (ainsi que son **épouse**), **Djaoued**, **Fares**, **Yaakoub**, **Rayen** et **Hyder**,

pour leur affection sincère, leur appui moral et leur présence réconfortante, qui ont constitué un véritable soutien tout au long de cette étape déterminante.

## À ma tante maternelle,

pour son accompagnement discret, sa sollicitude constante et sa générosité affective.

## À mes amies les plus proches, **Athar** et **Aya**,

pour leur fidélité, leur bienveillance et leur présence lumineuse, qui ont toujours su raviver en moi la confiance et l'enthousiasme.

Enfin,

## à **Youmna**, ma binôme,

pour son sérieux, son engagement exemplaire et l'esprit de collaboration qui a marqué chaque phase de cette recherche. Ce travail est également le reflet de notre complémentarité scientifique et humaine.

*Warda*

## Résumé

Le triticale ( $\times$  *Triticosecale Wittmack*), issu du croisement entre le blé et le seigle, représente une culture alternative prometteuse, notamment pour les régions soumises à des contraintes agro-climatiques. En Algérie, bien que sa rusticité et sa productivité soient reconnues, son potentiel reste sous-exploité.

Ce travail vise à étudier le comportement agronomique de dix génotypes de triticale dans trois sites contrastés (El Khroub, El Meita, El Oued), tout en évaluant l'effet de l'aneuploidie sur la germination. L'approche combine des observations en champ (épiaison, hauteur) et des analyses cytogénétiques sur des graines triées par calibre.

Les résultats révèlent une variabilité significative selon les sites et les génotypes. Certaines variétés se démarquent en fourrage ou en grain. L'étude montre également que les petites graines ont un taux d'aneuploidie élevé, souvent associé à une germination réduite.

Ces données soulignent l'importance d'intégrer la stabilité chromosomique dans les programmes de sélection. L'originalité de ce travail repose sur l'association d'évaluations agronomiques et cytogénétiques, ouvrant la voie à une amélioration ciblée du triticale en Algérie.

**Mots Clés :** Triticale, contraintes agro-climatique, aneuploidie, germination, stabilité chromosomale.

الترتيكال (*x Triticosecale Wittmack*)، الناتج عن التهجين بين القمح والشعير، يُعدّ محصولاً بديلاً واعداً، خاصةً في المناطق التي تواجه قيوداً زراعية ومناخية. في الجزائر، وعلى الرغم من الاعتراف بصلاحته وإنتجيته، إلا أن إمكاناته لا تزال غير مستغلة بالشكل الكافي.

يهدف هذا العمل إلى دراسة السلوك الزراعي لعشرة أنماط وراثية من التريتيل في ثلاثة مواقع متباعدة (الخروب، الميادة، والوادي)، مع تقييم تأثير اختلال الصيغة الصبغية (الأنوبليدية) على إنبات البذور. وتعتمد المنهجية على ملاحظات ميدانية (موعد طرد السنابل، ارتفاع النبات) وتحاليل سيتوجينية لبذور مصنفة حسب الحجم.

أظهرت النتائج وجود تباين كبير حسب الموقع والأنماط الوراثية. وتقوّت بعض الأصناف في إنتاج الكتلة الحيوية أو الحبوب. كما بيّنت الدراسة أن البذور الصغيرة تُظهر معدلاً مرتفعاً من الأنوبليدية، وغالباً ما يرتبط ذلك بانخفاض في معدل الإنبات.

ثُبّرَت هذه النتائج أهمية دمج الاستقرار الكروموزومي في برامج الانتقاء الوراثي. وتكمّن فرادة هذا العمل في الرابط بين التقييمات الزراعية والتحاليل السيتوجينية، مما يفتح آفاقاً لتحسين هادف وموّجه للترتيكال في الجزائر.

**الكلمات المفتاحية:** التريتيل، القيود المناخية الزراعية، اختلال الصيغة الصبغية، الإنبات، استقرار الكروموزومات.

## **Abstract**

Triticale ( $\times$  Triticosecale Wittmack), resulting from the hybridization between wheat and rye, represents a promising alternative crop, particularly suited for regions facing agro-climatic constraints. In Algeria, although its robustness and productivity are well recognized, its potential remains underutilized.

This study aims to assess the agronomic behavior of ten triticale genotypes across three contrasting sites (El Khroub, El Meita, El Oued), while evaluating the impact of aneuploidy on seed germination. The approach combines field observations (heading date, plant height) with cytogenetic analyses of seeds sorted by size.

The results reveal significant variability depending on both site and genotype. Some varieties stood out either for forage or grain production. The study also showed that small seeds exhibited a high rate of aneuploidy, often associated with reduced germination.

These findings highlight the importance of integrating chromosomal stability into breeding programs. The originality of this work lies in the combination of agronomic and cytogenetic evaluations, paving the way for targeted improvement of triticale in Algeria.

**Key words:** Triticale, agroclimatic constraints, aneuploidy, germination, chromosomal stability.

# SOMMAIRE

Résumé

SOMMAIRE

|  |          |
|--|----------|
| <b>INTRODUCTION .....</b>  | <b>0</b> |
| <b>Chapitre 01 : Généralités sur le triticale .....</b>            | <b>4</b> |
| 1. Le triticale (Première céréale créée par l'être humain) : ..... | 5        |
| 1.1 Historique et origine de triticale :.....                      | 6        |
| 1.2 Classification taxonomique de Triticales :.....                | 7        |
| 1.3 L'étude botanique du triticale ; .....                         | 7        |
| 1.4 Cycle de vie du triticale.....                                 | 9        |
| 2. Les classes et les types de triticale : .....                   | 11       |
| 3. La composition chimique du triticale : .....                    | 14       |
| 4. Les particularités du triticale : .....                         | 15       |
| 5. Caractéristiques agronomiques de l'espèce : .....               | 15       |
| 6. Le triticale dans le monde et en Algérie : .....                | 17       |
| 6.1 dans le monde : .....  | 17       |
| 6.2 En Algérie :.....  | 18       |
| 7. Domaines d'utilisation de triticale : .....                     | 19       |
| 7.1 Production de paille :.....                                    | 19       |
| 7.2 L'alimentation animale :.....                                  | 19       |
| 7.3 Triticale pour les biocarburants ;.....                        | 19       |
| 8. Importance économique : .....                                   | 20       |
| 9. Défis et Perspectives : .....                                   | 20       |

|  |           |
|--|-----------|
| 9.1 Défis : .....  | 20        |
| 9.2 Perspectives :.....  | 21        |
| <b>Chapitre 02 : l'aneuploïdie chez le triticale .....</b>                       | <b>22</b> |
| 1. Définition de L'aneuploïdie : .....   | 23        |
| 2. Types et mécanisme de l'aneuploïdie : .....                                   | 23        |
| 3. La relation entre l'aspect cytogénétique et la germination des graines :..... | 24        |
| 4. L'aneuploïdie chez le triticale :.....  | 26        |
| 4.1 Fréquence de l'aneuploïdie : .....   | 26        |
| 4.2 Effet de la consanguinité et de la sélection :.....                          | 26        |
| 4.3 Aneuploïdie dans les descendances issues de plantes euploïdies :.....        | 26        |
| 4.5 Effet du système de reproduction sur l'aneuploïdie .....                     | 26        |
| <b>Chapitre 03 : matériel et méthodes .....</b>                                  | <b>27</b> |
| 1. Expérimentation en plein champ : .....  | 28        |
| A) Les sites de l'expérimentation : .....  | 28        |
| 1) Site de Constantine .....   | 28        |
| 2) Site d'El Oued : .....  | 30        |
| 3) Site El Meita (Cosider - Khenchela Sud) .....                                 | 33        |
| 2. Conduite culturale et entretien phytosanitaire de l'essai :.....              | 35        |
| 2.1 Paramètres mesurés :.....  | 35        |
| 2.2 Paramètres phénologiques :.....  | 36        |
| 2.3 Paramètres morphologiques :.....   | 36        |
| 3. Analyses cytogénétiques : .....   | 36        |
| 3.1 Matériel utilisé au laboratoire :.....                                       | 37        |
| 3.2 Méthode de travail : .....   | 37        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4. Test de germination :.....                                  | 39        |
| <b>Chapitre 04: Résultats et discussion .....</b>              | <b>41</b> |
| 1. Résultats des essais au champ : .....                       | 42        |
| 1.1 Site d'El Oued :.....                                      | 42        |
| 1.2 El Meita (sud de Khenchla) : .....                         | 44        |
| 1.3 Constantine (El-khroub, baaraouia) : .....                 | 45        |
| 2. Les interprétations :.....                                  | 47        |
| 2.1Oued Souf : .....   | 47        |
| 2.2El Meita (Khenchela Sud) :.....                             | 47        |
| 2.3 Constantine (El Khroub) :.....                             | 47        |
| 3. Analyse de variance ( ANOVA) : .....                        | 49        |
| 3.1Site de Oued Souf .....                                     | 49        |
| 3.2Site d'El Meita (Khenchela) .....                           | 49        |
| 3.3 Site d'El Khroub (Constantine) : .....                     | 50        |
| 3.4Discussion : .....  | 50        |
| 4. Observation sanitaire du champ : .....                      | 51        |
| 5. Résultats du laboratoire de la cytogénétique : .....        | 53        |
| 5.1 Remarques générales et contraintes expérimentales : .....  | 53        |
| 5.1.1 Sur la germination : .....                               | 53        |
| 5.1.2 Sur l'efficacité du prétraitement à la colchicine :..... | 53        |
| 5.2 Résultats par variété :.....                               | 54        |
| 5.2.1 Génotype : Boutinel.....                                 | 54        |
| 5.2.2 Génotype : El Kouahi : .....                             | 55        |
| 5.3Interprétation : .....                                      | 56        |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| 5.4Discussion : .....        | 56        |
| 6. Résultats du CNCC : ..... | 57        |
| <b>CONCLUSION .....</b>      | <b>59</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>   | <b>62</b> |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tableau 1 classification du triticale (xTriticosecale Wittmack). Classification APG III (2009).</b> .....             | <b>7</b>  |
| <b>Tableau 2 composition du grain du triticale, du blé et du seigle (bushuk et larter 1980).</b> .....                   | <b>14</b> |
| <b>Tableau 3 Principales exigences pédo climatiques du Triticale.</b> .....  | <b>17</b> |
| <b>Tableau 4 Producteurs de triticale dans le monde.</b> .....   | <b>18</b> |
| <b>Tableau 5 Taux de germination et poids des différentes fractions de grains (M. Boujnah , M . Moudden 1997).</b> ..... | <b>25</b> |
| <b>Tableau 6 Matrice des corrélations de cinq variables (M. Boujnah , M . Moudden 1997).</b> .....                       | <b>25</b> |
| <b>Tableau 7 pluviométrie moyenne et températures enregistrées pendant l'année à Baaraouia 2024/2025.</b> .....          | <b>30</b> |
| <b>Tableau 8 récapitulatif des données climatiques.</b> .....  | <b>31</b> |
| <b>Tableau 9 Valeurs de pression (hPa) et de vent (km/h) extrêmes, période (2008-2022)..</b> ..                          | <b>32</b> |
| <b>Tableau 10 Matériel végétal utilisée dans l'étude (le triticale).</b> .....   | <b>34</b> |
| <b>Tableau 11 dispositif expérimentale utilisée dans notre étude.</b> .....  | <b>34</b> |
| <b>Tableau 12 :résultats des différents paramètre mesurés sur triticale à Ouermess (El Oued) 2024/2025</b> .....         | <b>43</b> |
| <b>Tableau 13 :ANOVA des résultats de site Ouermess</b> .....  | <b>43</b> |
| <b>Tableau 14 résultats des différents paramètre mesurés sur triticale à EL Meita (khenchla) 2024/2025</b> .....         | <b>44</b> |
| <b>Tableau 15 ANOVA des résultats du site El Meita</b> .....   | <b>45</b> |
| <b>Tableau 16 résultats des différents paramètre mesurés sur triticale à EL Khroub 2025</b> .....                        | <b>46</b> |
| <b>Tableau 17 ANOVA des résultats du site El khroub 2025</b> .....   | <b>46</b> |
| <b>Tableau 18Germination des différentes catégories de graines chez les variétés de triticale testées.</b> .....         | <b>58</b> |

## Liste des figures

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figure 1 photo d'un épi de triticale prise au site Baaraouia – el khroub, Constantine (2025) .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>Figure 2 Hybridation interspécifique et amphidiploïde (Cauderon ,1981).....</b>  | <b>12</b> |
| <b>Figure 3 Des triticales d'hiver, de printemps, ou les deux types, sont semés dans une partie des régions indiquées ci-dessus sur une superficie totale de plus d'un million d'hectares (Anonyme, 1987). .....</b>                        | <b>14</b> |
| <b>Figure 4 Image satellite de la parcelle de l'essai à El Baraouia-El Khroub.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>Figure 5 diagramme climatique (température et précipitation). .....</b>  | <b>32</b> |
| <b>Figure 6 Variations de pression (hPa) et de vent (km/h) extrêmes, période (2008-2022)</b>  | <b>33</b> |
| <b>Figure 7 Site de Baaraouia (El-khroub)2024/25 (2023/2024) .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>Figure 8 calibre des graines .....</b>   | <b>36</b> |
| <b>Figure 9 Produits utilisés dans le laboratoire de la cytogénétique.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>Figure 10 Pré germination des graines après 2 jours.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>Figure 11 site ouermes (El Oued) parcelle de triticale.....</b>  | <b>42</b> |
| <b>Figure 12 Essai du comportement des variétés de Triticale à ElMeita Khenchela 2025.</b>  | <b>44</b> |
| <b>Figure 13 Photo de triticale de la variété ALLALI à EL Khroub 2025.....</b>  | <b>45</b> |
| <b>Figure 14 Enherbement au champ.....</b>  | <b>52</b> |
| <b>Figure 15 plaque métaphasique chez le génotype Boutinel (grosse graine) de triticale montrant un nombre chromosomique complet (<math>2n = 42</math>), prise au microscope photonique à un grossissement <math>\times 100</math>.....</b> | <b>54</b> |
| <b>Figure 16 des chromosomes métaphasiques chez Boutinel (petite graine) révélant une aneuploïdie (<math>2n = 40</math>), au microscope photonique, grossissement <math>\times 100</math>. .....</b>  | <b>54</b> |
| <b>Figure 17 des chromosomes en métaphase chez le génotype El Kouahi (grosse graine) de triticale montrant une euploïdie (<math>2n = 42</math>), prise à <math>\times 100</math> au microscope photonique. ....</b>                         | <b>55</b> |
| <b>Figure 18 plaque métaphasique chez El Kouahi (petite graine), montrant une hypoploïdie (<math>2n = 40</math>), prise au microscope photonique à un grossissement <math>\times 100</math>. .....</b>                                      | <b>55</b> |

## Liste des abréviations (ordre alphabétique)

| Abréviation    | Signification   |
|----------------|---|
| %              | Pourcentage   |
| ADN            | Acide Désoxyribonucléique   |
| ANOVA          | Analyse de la Variance  |
| Arvalis        | Institut du Végétal (France)  |
| cm             | Centimètre  |
| CNCC           | Centre National de Contrôle et de Certification des semences        |
| cv             | Coefficient de variation  |
| c°             | Degré Celsius   |
| DAP            | Jours Après Plantation  |
| EP             | Épiaison  |
| F cal          | F calculé (test F de Fisher)  |
| F théo         | F théorique (test F de Fisher)                                      |
| FAO            | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture |
| g              | Gramme  |
| GIE            | Groupement d'Intérêt Économique                                     |
| h              | Heure   |
| HCl            | Acide chlorhydrique   |
| INRA           | Institut National de la Recherche Agronomique (France)              |
| INRAA          | Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie             |
| ITA            | Institut Technique de l'Agriculture                                 |
| ITGC           | Institut Technique des Grandes Cultures (Algérie)                   |
| Km/h           | Kilomètre par heure   |
| m              | Mètre   |
| mm             | Millimètre  |
| m <sup>2</sup> | Mètre carré   |
| PHL            | Pertes Post-Récolte   |
| PMG            | Poids de Mille Grains   |
| ppds           | Plus Petite Différence Significative                                |
| ql             | Quintal   |
| t/ha           | Tonne par hectare   |
| test F         | Test statistique de Fisher  |
| UFMC1          | Université Frères Mentouri Constantine 1                            |
| URC            | Unité de Recherche Céréalière                                       |

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

Les céréales constituent la base de l'alimentation humaine et animale à l'échelle mondiale, assurant près de 50 % des apports caloriques globaux et étant cultivées sur plus de 700 millions d'hectares. En 2024, la production mondiale de céréales a été estimée à environ 2,84 milliards de tonnes, dont près de 89 % sont assurés par trois espèces majeures : le maïs, le riz et le blé (FAO, 2024). Le blé, en particulier, occupe une place stratégique dans les pays du bassin méditerranéen, dont l'Algérie, où la sécurité alimentaire dépend largement de la production céréalière. Cependant, les rendements restent vulnérables face aux effets des changements climatiques, à la dégradation des sols et aux pressions phytosanitaires croissantes.

Dans ce contexte, le triticale ( $\times$  *Triticosecale* Wittmack) suscite un intérêt croissant en tant que culture alternative capable de s'adapter aux environnements marginaux. Cette céréale synthétique, issue d'un croisement interspécifique entre le blé (*Triticum* spp.) et le seigle (*Secale cereale*), a été développé au XIX<sup>e</sup> siècle pour combiner la qualité boulangère du blé avec la rusticité du seigle (Fossati et al., 1995).

Le triticale se distingue par sa tolérance au froid, sa capacité à valoriser des sols pauvres et sa tolérance aux stress hydriques et salins, ce qui en fait une ressource précieuse pour les systèmes agricoles contraignants, notamment en zones semi-arides (Zimny & Lukaszewski, 2011). Il présente également une bonne productivité en biomasse, utilisée notamment dans l'élevage. Toutefois, cette espèce est affectée par une instabilité chromosomique, l'aneuploïdie, qui peut compromettre la bonne installation de la culture, la qualité des semences et la viabilité des plants (Faux et al., 2020).

En Algérie, l'introduction et le développement du triticale dans différentes zones agro-écologiques du pays représentent une opportunité pour renforcer la sécurité alimentaire, en particulier dans les régions où les conditions climatiques sont difficiles. Cependant, la diffusion du triticale est freinée par des problèmes liés à la stabilité génétique, notamment la fréquence élevée d'aneuploïdie qui affecte la germination et la fertilité des graines (Benbelkacem & Sadli, 2014).

L'aneuploïdie, définie comme une variation anormale du nombre de chromosomes, est fréquente chez les espèces amphiploïdes comme le triticale. Elle résulte d'une mauvaise ségrégation chromosomique lors de la méiose, conduisant à la formation de gamètes déséquilibrés, ce qui se traduit par une baisse de la fertilité et une réduction de la capacité germinative des graines (Akgün & Altındal, 2010). Comprendre l'impact de l'aneuploïdie sur

## INTRODUCTION

la germination est essentiel pour améliorer la qualité du matériel semencier et optimiser la sélection variétale.

Dans cette optique, le présent travail vise à évaluer le comportement agronomique de dix génotypes de triticale cultivés dans trois environnements agro climatiques contrastés (El Oued, El Meita au sud de Khenchela et El-khroub (Constantine). Il s'agit aussi de s'enquérir et d'analyser l'effet du taux d'aneuploïdie sur la germination des graines. Cette double approche permettra de déterminer les génotypes les plus adaptés à chaque environnement, tout en examinant la relation entre stabilité chromosomique et viabilité des semences. Pour cela, des essais agronomiques ont été menés sur le terrain afin d'évaluer plusieurs caractères agromorphologiques (précocité, hauteur des plantes etc.) et de rendement, complétés par une analyse cytogénétique en laboratoire à partir de graines triées selon leur calibre (grosses et petites grains).

La présente étude cherche à répondre aux questions suivantes :

1. Quels génotypes de triticale présentent les meilleures performances agronomiques selon les environnements algériens testés ?
2. Quels types de variétés de triticale seront destinées pour la culture en vert ou pour le grain ?
3. Dans quelle mesure le taux d'aneuploïdie influence-t-il la capacité de germination des graines récoltées ?

L'intérêt scientifique de cette recherche réside dans l'intégration de données agronomiques et cytogénétiques pour une meilleure sélection du triticale en Algérie. Les résultats permettront de guider les programmes d'amélioration vers des génotypes plus stables, productifs et bien adaptés aux réalités locales. Ce travail contribuera également à approfondir la compréhension des facteurs biologiques limitant l'expansion de cette culture, tout en proposant des leviers pour améliorer la qualité des semences (Étude présente).

Ce mémoire est structuré comme suit :

- Après cette introduction, une revue bibliographique présente les connaissances actuelles sur le triticale, sa culture en Algérie et l'impact de l'aneuploïdie.
- Dans le chapitre suivant, il est question de décrire en détail le matériel végétal utilisé ainsi que la méthodologie appliquée aux expérimentations de terrain et aux analyses cytogénétiques Au laboratoire.
- Les résultats sont ensuite présentés et discutés dans une double perspective agronomique et génétique.

## **INTRODUCTION**

- Enfin, une conclusion générale reprend l'essentiel des résultats obtenus et propose aussi des recommandations et des perspectives de recherche future.

# **Chapitre 01 : Généralités sur le triticale**

## 1. Le triticale (Première céréale créée par l'être humain) :

le triticale (*X.Triticosecale Wittmack*) est une plante herbacée annuelle de saison froide, de type photosynthétique C3, appartenant à la famille des **Poaceae** (sous-famille des **Pooideae**). C'est une céréale annuelle développée en 1960 comme solution hybride combinant les qualités agronomiques du blé et la rusticité du seigle. Il s'agit d'un hybride inter-générique entre le blé (*Triticum spp.*), pouvant être du blé tendre (*T. aestivum L.*) ou du blé dur (*T. durum Desf.*), et le seigle (*Secale cereale L.*).

Sa création repose généralement sur plusieurs cycles de rétrocroisements avec le blé, afin d'améliorer la stabilité cytogénétique et d'introduire des caractères d'intérêt agronomique. Selon Kavanagh et al. (2010), « *le triticale, issu du croisement entre le blé et le seigle, est souvent rétro-croisé avec du blé pour optimiser ses performances agronomiques, en particulier en termes de rendement et de tolérance aux stress* ». En raison de son origine, le triticale exprime une morphologie et une physiologie intermédiaires, mais il tend à ressembler davantage au blé, notamment en termes de port, de structure foliaire et de mode de développement, comme le confirment Kavanagh & Hall (2015) : « *bien que le triticale hérite des gènes de ses deux parents, il présente généralement plus de similarités morphologiques et physiologiques avec le blé, en particulier avec le parent maternel* ».



Figure 1 photo d'un épi de triticale prise au site Baaraouia – el khroub, Constantine (2025)

Fruit des efforts de la sélection humaine, le triticale a fait l'objet de diverses appellations proposées par les chercheurs selon les époques de son amélioration. Ainsi, A.C. Key (1991), cité par Bachir Achir et al. (2000), a suggéré les dénominations *Triticum krolowi*, *Triticum turgidosecale* et *Triticum rimpaeui*, en fonction des niveaux de ploïdie observés. Toutefois, une majorité de chercheurs, dont Bernard (1992), Cauderon (1981) et Bonjean (1992), se sont accordés sur un nom soulignant la double origine génomique de cette céréale hybride. À partir du croisement blé × seigle, ils ont retenu l'appellation scientifique *Triticosecale Wittmack*, et ont adopté comme nom commun “triticale”, contraction de *Triticum* (blé) et *Secale* (seigle).

### 1.1 Historique et origine de triticale :

Le triticale, hybride inter-générique issu du croisement entre le blé (*Triticum*) et le seigle (*Secale*), a été expérimenté pour la première fois en 1873 par le biologiste écossais Wilson, qui cherchait à comprendre la stérilité observée chez la première génération F1 (Hammouda, 2013). Ce n'est qu'en 1891 que Wilhelm Rimpau réussit à obtenir la première variété fertile de triticale, marquant une étape cruciale dans son développement (Hammouda, 2013).

Au XXe siècle, plusieurs auteurs ont documenté l'histoire et l'évolution du triticale, notamment Fossati et al. (1978), Gregory (1987), Gupta et Priyadarshan (1982), Münzting (1979), Skovmand et al. (1984) et Varughese et al. (1987). En 1938, Münzting utilisa la colchicine pour doubler le nombre de chromosomes des hybrides, produisant ainsi des triticales octoploïdes combinant le génome hexaploïde du blé tendre (AABBDD) avec le génome diploïde du seigle (RR) (Münzting, 1979). Par la suite, les avancées dans la culture d'embryons permirent la production de triticales hexaploïdes issus du blé dur tétraploïde (AABB) (O'Mara, 1948), offrant des variétés plus prometteuses.

Dans les années 1950 et 1960, des programmes de sélection au Canada (Shebeski, Jenkins et Evans), en Espagne (Sanchez-Monge) et en Hongrie (Kiss) conduisirent à l'homologation des premières variétés commerciales (Fossati et al., 1978). Au CIMMYT, Borlaug puis Zillinsky initièrent un programme de sélection qui aboutit en 1967 à un croisement spontané entre un triticale et un blé demi-nain, donnant naissance à la variété Armadillo, plus courte, fertile naturellement et partiellement insensible à la photopériode (Gustafson et Zillinsky, 1973).

L'hybride ainsi obtenu combine la productivité et la qualité du grain du blé avec la rusticité, la résistance aux maladies et la tolérance aux stress biotiques et abiotiques du seigle (El Mahamadou Addo Abdoul Kader, 2022). Cette combinaison confère au triticale une grande adaptabilité, notamment dans les régions aux conditions climatiques difficiles ou aux sols

pauvres (Pfeiffer, 1993). Aujourd’hui, le triticale est cultivé dans plus de 30 pays, avec une progression notable en Europe, en Afrique du Nord, en Australie, au Brésil et en Afrique du Sud (Cooper, 1991 ; Baier, 1994 ; Littlejohn, 1991). En Pologne, sous l’impulsion de Wolski, la culture du triticale connaît un succès remarquable, avec près de 700 000 à 800 000 hectares cultivés, et la variété Lasko est devenue la plus répandue au monde (Wolski, 1992). Ainsi, le triticale s’affirme comme une culture polyvalente et résiliente, répondant aux enjeux agricoles contemporains liés à la sécurité alimentaire, à la durabilité et à l’adaptation aux changements climatiques (Pfeiffer et Fox, 1991).

### 1.2 Classification taxonomique de Triticales :

*Tableau 1 classification du triticale (*xTriticosecale Wittmack*). Classification APG III (2009).*

| Règne     | Plantae                |
|-----------|------------------------|
| Clade     | Angiospermes           |
| Clade     | Monocotylédones        |
| Clade     | Commelinidées          |
| Ordre     | Poales                 |
| Famille   | Poaceae                |
| S/Famille | Pooideae               |
| Tribu     | Triticeae              |
| Genre     | Triticosecale          |
| Espèce    | Triticosecale Wittmack |

### 1.3 L’étude botanique du triticale ;

Le triticale, du point de vue morphologique, présente une forte ressemblance avec le blé, notamment en ce qui concerne la taille, la forme et la couleur du grain. Néanmoins, ses grains sont généralement plus gros et plus allongés que ceux du blé. Les premières variétés de triticale montraient un aspect ridé, d’intensité variable. Les lignées développées entre la fin des années 1960 et le milieu des années 1970 produisaient fréquemment des grains ratatinés. Toutefois, ce défaut a été progressivement corrigé grâce à la pression de sélection exercée par les sélectionneurs en faveur de grains bien remplis (Sadiq, 1990 ; Naeem et Darvey, 1998).

Aujourd’hui, les cultivars améliorés de triticale présentent des grains allant de bien remplis à légèrement ratatinés. La couleur dominante reste le rouge, bien que des lignées à grains blancs et ambrés aient été développées. Ces dernières sont particulièrement adaptées à la fabrication de pains plats comme les chapatis indiens, ou encore à des produits de boulangerie nécessitant des grains de teintes claires (Sadiq, 1990 ; Naeem et Darvey, 1998).

- **Morphologie de la plante :**

Le triticale se distingue par une diversité morphologique notable. La taille de l’épi varie de 7 à 15 cm, les feuilles peuvent être érigées ou larges, et les épillets sont parfois aristés, parfois glabres. Selon Abdelmoutaleb (1990), cette variabilité inclut aussi des différences de pilosité, allant de glabre à pubescent, notamment en comparaison avec le *Triticum turgidum*.

- a) . **Système racinaire**

Le système racinaire du triticale est constitué à la fois de racines séminales, issues de l’embryon, et de racines adventices qui apparaissent au niveau des nœuds basaux. Ces racines adventices, plus développées que chez ses espèces parentales, confèrent au triticale une meilleure tolérance aux conditions édaphiques difficiles (Abbad, 1989, cité par Khatir, 2000), trois types de racines coexistent :

- Radicules : Racines embryonnaires initiales.
- Racines adventices embryonnaires : Issues de la germination.
- Racines adventices tardives : Émergeant au niveau des premiers entre-nœuds (Gasper et Butnaru, 1985).

- b) **Tige**

La hauteur de la tige varie entre 80 et 120 cm et même plus selon les génotypes (Hassani, 1997). Elle est composée de 5 à 7 nœuds. Les entre-nœuds inférieurs sont courts et remplis de tissu parenchymateux, tandis que les entre-nœuds supérieurs sont plus allongés (Abbad, 1989), contribuant à une architecture plus souple et à une meilleure portance de l’épi.

- c) **Feuille**

Chaque feuille du triticale est constituée d’une gaine qui entoure la tige, d’un limbe pouvant être étroit ou large, d’une ligule et de fines oreillettes membraneuses. La coloration des feuilles varie du vert foncé cireux au vert jaunâtre ponctué (Abdelmoutaleb, 1990), une variabilité influencée à la fois par le génotype et les conditions de croissance.

**d) Inflorescence**

L'inflorescence du triticale est un épi mesurant de 10 à 15 cm de longueur. Elle est généralement constituée de 30 à 40 épillets, chacun portant de 3 à 9 fleurs, dont 3 à 5 sont habituellement fertiles (Abbad, 1989). Cette fertilité partielle influence directement la capacité productive de la plante, critère important en sélection variétale.

**e) Grain**

Le grain du triticale, de type caryopse ridé, présente des teintes allant du jaune-brun au jaune-vert (Abdelmoutaleb, 1990). Il est particulièrement sensible à l'échaudage, en raison d'une forte activité enzymatique, notamment celle de l'alpha-amylase, durant les phases de maturation. Cette sensibilité est également corrélée à la présence d'hétérochromatine télosérique issue du seigle, à l'aneuploidie, ainsi qu'aux conditions culturales (Bachir et al., 2000). Le poids de mille grains (PMG) varie considérablement selon les génotypes, allant de 32 g à 61,4 g (Abdulhussein, 1987).

**f) Épi**

L'épi du triticale, souvent grand et barbu, présente une ressemblance marquée avec celui du seigle (Simon et al., 1989). Il se compose de 30 à 40 épillets, chacun capable de produire jusqu'à 9 fleurs. En moyenne, 3 à 5 de ces fleurs sont fertiles, ce qui détermine le potentiel reproductif de l'épi.

## 1.4 Cycle de vie du triticale

### A. Germination

Comparé au blé et au seigle, le triticale présente une vitesse de germination nettement supérieure . Ce phénomène s'observe particulièrement dans des conditions thermiques optimales comprises entre 22 et 25 °C, où l'activité enzymatique joue un rôle déterminant (Zillinsky & Borlaug, 1971). En effet, l' $\alpha$ -amylase, enzyme responsable de l'hydrolyse de l'amidon durant la phase de dormance embryonnaire, favorise significativement la rapidité de la germination (Abdulhussein, 1987).

La réalisation et la durée de ce processus dépendent de deux types de facteurs. Les facteurs intrinsèques sont liés aux caractéristiques génétiques propres au grain, tandis que les facteurs extrinsèques relèvent des conditions environnementales telles que la température, l'humidité ou encore la structure du sol (Zillinsky & Borlaug, 1971).

### B. Levée

Environ un à deux jours après l'émission de la radicule, le bourgeon principal commence à émerger, protégé par la coléoptile. Celui-ci agit comme un tuteur biologique jusqu'à atteindre une hauteur de 6 à 7 cm, moment où la première feuille fait son apparition. Cette étape marque le début visible de la croissance aérienne de la plantule (Abdulhussein, 1987).

### C. Tallage

Au stade du tallage, la jeune plante développe plusieurs bourgeons axillaires qui évoluent en tiges secondaires, augmentant ainsi le potentiel de production de l'épi. Le triticale affiche une capacité de tallage élevée, comparable à celle du seigle (Abdulhussein, 1987). Les génotypes octoploïdes et hexaploïdes se révèlent particulièrement performants, produisant davantage de talles que le blé (Belaïd, 1987).

Ce processus est fortement influencé par des facteurs agronomiques tels que la date de semis, la fertilité du sol et l'espacement des plants, ainsi que par les conditions climatiques comme l'humidité, la température et l'intensité lumineuse (Abdulhussein, 1987). En général, le nombre de talles varie de 1 à 6 par plante, mais il peut augmenter de façon significative en présence de conditions environnementales favorables (Belaïd, 1987).

### D. Montaison

La montaison est caractérisée par l'allongement rapide des entre-nœuds, conférant à la plante une vigueur végétative remarquable. À ce stade, les tiges du triticale deviennent plus robustes, et ses feuilles s'élargissent davantage que celles des autres céréales (Abdulhussein, 1987).

La floraison d'un épis dure en moyenne de 3 à 5 jours. Toutefois, lorsque la plante porte plusieurs épis, la période de floraison totale peut s'étendre de 7 à 20 jours. Ce phénomène floral est particulièrement sensible aux paramètres climatiques, notamment la température et l'ensoleillement, qui régulent la vitesse de développement floral (Abdulhussein, 1987).

### E. Maturation

Le triticale atteint sa maturité physiologique plus tardivement que le blé (Laroche, 1984). Cette phase dure généralement entre 40 et 45 jours après la floraison, et est marquée par une réduction progressive de l'humidité des grains, passant de 45 % à l'état pâteux à environ 15 % à maturité complète (Soltner, 1980).

Cependant, cette période est critique pour le rendement, car elle coïncide souvent avec des épisodes de sécheresse, exposant le triticale au risque d'échaudage. Ce stress thermique,

bien qu'influencé par la génétique de la plante, est considérablement aggravé par la longue durée de la maturation (Anonyme, 2008). Il peut ainsi entraîner des pertes de rendement importantes (Benbelkacem, 1991).

## 2. Les classes et les types de triticale :

Le triticale (*Triticosecale* Wittmack) est un hybride intergénérique issu du croisement entre le blé (*Triticum* sp.) et le seigle (*Secale cereale* L.). Son nom scientifique combine les termes *Triticum* (blé) et *Secale* (seigle), marquant son appartenance à un genre botanique nouveau.

- a. **Triticales Octoploïdes** ; Ces variétés résultent de l'utilisation du **blé tendre** (*Triticum aestivum*) comme parent maternel. Elles possèdent quatre génotypes : **A, B, D** (hérités du blé) et **R** (provenant du seigle), totalisant **56 chromosomes**. Bien que génétiquement instables à l'origine, elles jouent un rôle clé dans l'amélioration des triticales hexaploïdes grâce à leur richesse en matériel génétique.
  - Malgré leur instabilité initiale, les triticales octoploïdes servent de réservoir génétique pour enrichir les hexaploïdes, notamment en traits de résistance ou de productivité.
- b. **Triticales Hexaploïdes** ; Majoritairement utilisées aujourd'hui, ces variétés proviennent du croisement entre **blé dur** (*Triticum durum*) et seigle. Leur génotype, composé de trois ensembles (A, B et R), compte **42 chromosomes**. Leur stabilité reproductive et leur vigueur hybride en font la base des programmes de recherche internationaux.
- c. **Triticales primaires** ; Obtenues directement par hybridation blé-seigle, ces lignées présentent une **stérilité partielle** et des grains mal formés. Toutefois, un doublement chromosomique permet d'obtenir des plantes homozygotes stables, bien que leurs performances agronomiques restent limitées.
- d. **Triticales secondaires** ; Issus de croisements entre triticales primaires ou avec du blé, ces hybrides dominent l'industrie mondiale. La variété *Cananea79*, née du croisement entre *Armadillo* (hexaploïde) et *Maya* (octoploïde), illustre leur potentiel comme ressources génétiques de référence.
  - Les triticales secondaires et de substitution dominent les cultures intensives, tandis que les complets répondent aux défis des zones marginales. Cette diversité génétique positionne le triticale comme une culture pivot pour l'agriculture durable.
- e. **Triticales complets** ; Caractérisés par la présence intégrale des chromosomes du seigle, ces types excellen dans les milieux hostiles (sols pauvres, sécheresse). Leur taux de **lysine**, supérieur à celui du blé, en fait une solution nutritionnelle prometteuse.

f. **Triticales de substitution** ; Optimisés pour les conditions favorables, ces triticales intègrent des chromosomes spécifiques du blé en remplacement de ceux du seigle. Par exemple, le remplacement du chromosome **2R** par le **2D** améliore la précocité et la qualité boulangère. En Europe, la substitution **6D/6A** est également utilisée pour renforcer ces traits.

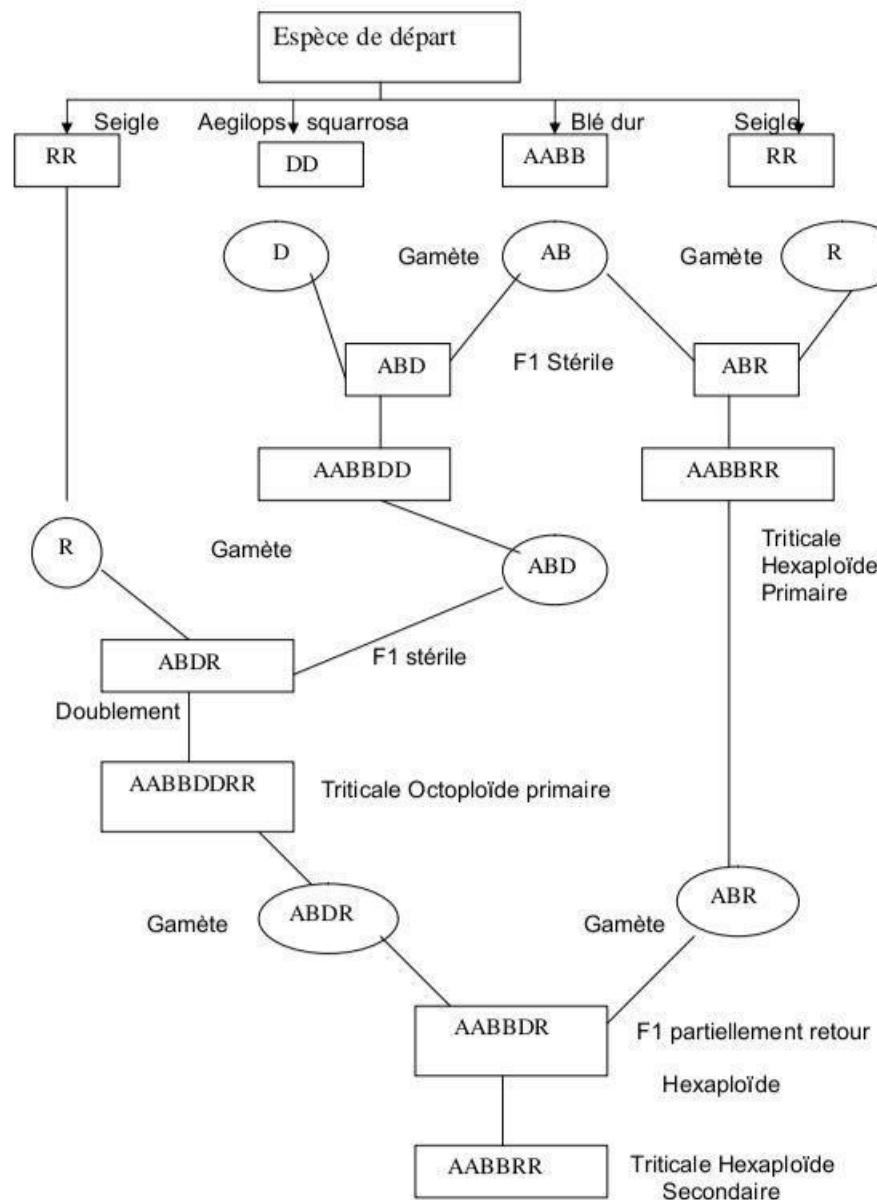


Figure 2 Hybridation interspécifique et amphidiploïde (Cauderon ,1981)

- Les triticales sont classés en trois catégories distinctes selon leur cycle végétatif et leur adaptation agro-climatique.

❖ **Triticales de type « hiver » :**

Ces variétés sont généralement tardives et adaptées aux zones froides ou tempérées à hivers rigoureux. Elles présentent une paille haute et nécessitent une période de vernalisation (exposition prolongée au froid) pour déclencher leur floraison. Un exemple emblématique est la variété *Lasko*, développée en Pologne, qui a connu un succès mondial grâce à sa robustesse dans les régions aux hivers longs et froids. Ces triticales sont généralement semés à l'automne pour profiter des températures basses et assurer une croissance optimale au printemps.

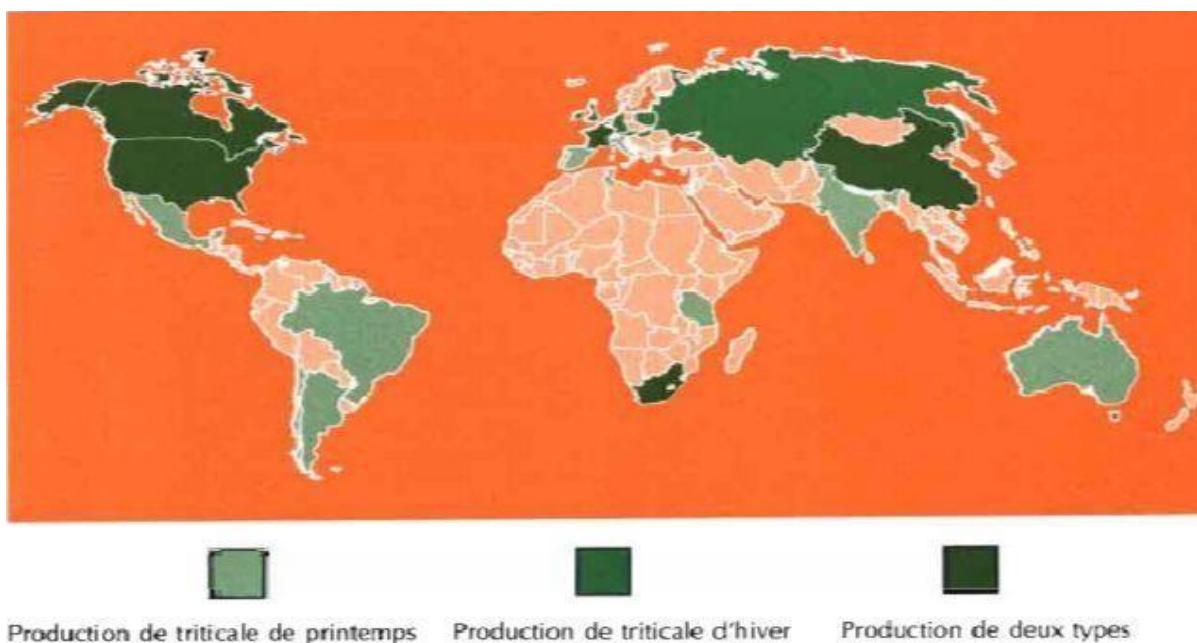
❖ **Triticales de type « printemps » :**

Ces variétés sont précoces, adaptées aux zones arides ou semi-arides, et caractérisées par une paille courte et une faible exigence en froid. Elles sont semées en fin d'hiver (février-mars) dans les régions tempérées, évitant ainsi les gelées hivernales. La variété *Triticor* illustre ce type : elle combine une maturation rapide et une tolérance aux stress hydriques, la rendant idéale pour les zones où les précipitations sont irrégulières.

❖ **Triticales de type « facultatif » :**

Ces variétés offrent une flexibilité de semis, pouvant être implantées en automne ou au printemps dans les zones tempérées. Leur cycle s'adapte dynamiquement aux conditions climatiques, ce qui les rend polyvalentes. La variété française *Clercal* en est un exemple : elle maintient des rendements stables qu'elle soit semée avant l'hiver ou au début du printemps, grâce à sa capacité à ajuster son développement selon la température et la photopériode.

- En Algérie, ces trois types de variétés ont fait l'objet d'essais de comportement dans différentes zones du pays et c'est le type "printemps" semé en hiver (novembre) qui a donné des résultats positifs et qui a été recommandé.
- Les essais de comportement menés à la station de Sétif (Hauts-plateaux) ont fait ressortir les variétés qui ont le mieux répondu à cette zone (à hiver froid) et qui sont *Asseret 83, Juanillo, Doc7, Triticor, Clercal, Newton, Torpedo, IFTT314*, etc (Amrani, 2004).



*Figure 3 Des triticales d'hiver, de printemps, ou les deux types, sont semés dans une partie des régions indiquées ci-dessus sur une superficie totale de plus d'un million d'hectares (Anonyme, 1987).*

### 3. La composition chimique du triticale :

La composition chimique du triticale est similaire à celle de ses espèces parentales. Par rapport au blé, au riz et au maïs, il se distingue généralement par une teneur plus élevée en protéines, avec un profil en acides aminés mieux équilibré. En particulier, ses protéines contiennent davantage de lysine que celles du blé (Kies et Fox, 1970). Le triticale se caractérise également par une teneur importante en minéraux (Lorenz et al., 1974).

La valeur nutritive du triticale comparée à celle du blé a été analysée par plusieurs chercheurs (Kies et Fox, 1976b ; Sadiq et al., 1985 ; Monab et Shamon, 1976), qui ont tous conclu que les protéines du triticale présentent une qualité nutritionnelle supérieure à celle du blé.

*Tableau 2 composition du grain du triticale, du blé et du seigle (bushuk et larter 1980).*

| Constituant         | Triticale | Blé % | Seigle % |
|---------------------|-----------|-------|----------|
| Protéines ( Nx 5.7) | 14.8      | 11.8  | 12.4     |
| Lipides             | 1.5       | 1.9   | 1.8      |
| Sucres totaux       | 78        | 78    | 80       |
| Fibres              | 2.1       | 3.9   | 2.6      |
| Cendres             | 2.0       | 2.0   |          |

#### 4. Les particularités du triticale :

Le triticale se distingue principalement du blé par un nombre supérieur de grains par épis (Ford et al., 1984). Le poids des grains et le tallage sont cependant généralement comparables entre les deux espèces (Sweeney et al., 1992 ; Ellen, 1993). Les rendements et la biomasse du triticale égalent ou excèdent souvent ceux du blé (Bänziger, 1992). Toutefois, son indice de récolte (IR) est généralement plus faible, avec une moyenne de 35,5 % contre 46,5 % pour le blé de printemps (Fossati, 1995). Cette différence suggère un potentiel d'amélioration du rendement via l'augmentation de l'IR (Austin et al., 1980). Le maximum théorique de l'indice de récolte est estimé à **62 %** (Austin et al., 1980).

La structure du rendement du triticale repose sur un nombre élevé de grains par mètre carré, favorisé par un tallage abondant. Certains génotypes échappent à la corrélation négative classique entre la teneur en protéines du grain et rendement (Fossati et al., 1993), offrant des perspectives pour combiner productivité et qualité nutritionnelle.

Bien que les variétés traditionnelles de triticale présentent une hauteur supérieure et une sensibilité accrue à la verse par rapport au blé, des lignées naines (< 100 cm), issues de mutations ou de gènes de nanisme (Rht3), ont été développées. Cependant, ces génotypes courts montrent des rendements réduits en raison d'un tallage insuffisant, associés à des grains ridés et un poids à l'hectolitre (PHL) faible, défauts inhérents à l'espèce. Les grains à forte densité résultent d'une croissance modérée et prolongée, avec une contraction post-maturité sans formation de cavités, liée à une perte d'eau contrôlée (Fossati, 1995).

#### 5. Caractéristiques agronomiques de l'espèce :

Le triticale est avant tout une céréale d'hiver, semée généralement en octobre et récoltée à la même période que le blé, soit entre fin juillet et début août dans nos régions. Il est souvent utilisé comme deuxième culture de paille dans les systèmes de rotation céréalière. Grâce à sa forte capacité de tallage, sa densité de semis est généralement fixée à environ 85 % de celle du blé (Agricultures et Territoires, 2013).

Du point de vue agronomique, le triticale présente de nombreux atouts. Cette culture est en effet plus facile à conduire que d'autres céréales en raison de sa compétitivité vis-à-vis des adventices, grâce à la vigueur de son système racinaire, mais aussi à sa hauteur de paille (Juin et al., 2015). Sa tolérance aux stress biotiques et abiotiques, ainsi que la robustesse de son enracinement, permettent au triticale, contrairement au froment, à l'orge ou à l'avoine, d'obtenir

de bons rendements même sur des sols à faible potentiel, tels que les sols salins, alcalins ou en conditions sèches (International Triticale Association, s.d.).

À titre d'exemple, entre 2018 et 2020, le rendement moyen en agriculture biologique de trois variétés témoins atteignait 7,175 t/ha, contre 6,945 t/ha pour le blé (Faux et al., 2020). En agriculture conventionnelle, les rendements moyens en 2019 étaient de 9,33 t/ha avec protection fongicide et de 8,12 t/ha sans protection (Eylenbosch et al., 2020).

Le triticale offre également un rendement en paille supérieur à celui du froment, ce qui constitue un avantage important pour les exploitations d'élevage (Agricultures et Territoires, 2013 ; Faux et al., 2020). Toutefois, il présente certaines faiblesses, notamment une sensibilité à la germination sur pied en cas de conditions humides juste avant la récolte. Ce phénomène s'explique par la sensibilité héritée de ses espèces parentes, le seigle et le blé dur (Arvalis – Institut du Végétal, 2020).

Le triticale est principalement sensible à l'oïdium et à la rouille jaune, mais aussi à la fusariose et à la rouille brune. Il est également sujet à la verse, ce qui nécessite une gestion rigoureuse de la densité de semis en agriculture biologique. De plus, sa filiation avec le seigle le rend sensible à l'ergot, et certaines variétés présentent aussi une sensibilité à la rhynchosporiose (Arvalis – Institut du Végétal, 2020).

Selon Moule (1980), la germination du triticale nécessite une température minimale de 1 °C, tout comme le blé, le seigle et l'orge. La plante peut tolérer des températures allant jusqu'à -16 °C et a besoin de 2200 à 2300 °C cumulés au cours de son cycle de développement. Les besoins en eau de l'orge sont estimés entre 300 et 350 mm par an (Moule, 1980).

Le triticale s'adapte assez bien à presque tous les types de sols, qu'ils soient sableux ou même superficiels en cours de formation (Fossati & Kleijer, 1970).

Les besoins en substances nutritives du triticale pendant la période de végétation varient selon l'état des plantes, les conditions climatiques, l'assolement ainsi que les engrains utilisés. La fumure azotée recommandée est de 150 kg/ha selon l'état de la plante. La fumure phosphatée recommandée est de 100 à 150 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Abbad, 1989). Pour la fumure potassique, la dose recommandée est de 90 kg/ha (I.T.G.C, 1995).

Par ailleurs, le calcium (Ca<sup>2+</sup>) joue également un rôle important dans la nutrition du triticale, car une carence entraîne un dérèglement dans la synthèse des sucres et de l'albumen, en réduisant l'intensité de la respiration et de la photosynthèse (I.T.G.C, 1995).

*Tableau 3 Principales exigences pédoclimatiques du Triticale.*

| Paramètre          | Exigence  |
|--------------------|---|
| <b>Climat</b>      | L'espèce triticale comporte différents types d'alternative :<br><br>Les variétés de type hiver sont très résistantes au froid, et sont adaptées aux zones à climat tempérés.<br><br>Les variétés de type alternatif et de type printemps sont moins sensibles au froid. |
| <b>Type de sol</b> | Le triticale supporte les sols hydro morphes et est très adapté aux sols sablonneux et aux sols à tendance acides.  |
|                    | Le triticale supporte également la présence de niveaux assez élevés d'aluminium libre dans le sol.  |
| <b>PH</b>          | Le Triticale reste peu sensible à des pH compris entre 5 et 7,5.  |
| <b>Eau</b>         | Grâce à son système racinaire plus développé, le triticale a un meilleur comportement que le blé et l'orge en cas de déficit hydrique, avec une meilleure efficience d'utilisation d'eau  |
| <b>Salinité</b>    | Le triticale tolère la salinité et la carence en cuivre.  |

## 6. Le triticale dans le monde et en Algérie :

### 6.1 dans le monde :

Le triticale, bien que n'étant pas cultivé à grande échelle mondialement, attire un intérêt croissant principalement grâce à sa valeur alimentaire, notamment sa forte teneur en protéines (BELAID, 1986). Les chercheurs ont également exploré sa faisabilité à grande échelle en raison de ses caractéristiques hybrides héritées du blé et du seigle. On distingue deux principaux types: les variétés d'hiver, surtout dans le nord de l'Europe, et les variétés de printemps, adaptées aux zones semi arides (Laroche et al., 1994). En France, le triticale a gagné la faveur des agriculteurs, dépassant même le seigle en superficie cultivée (Soltner, 1999). Aujourd'hui, malgré un développement limité par rapport aux céréales traditionnelles, il occupe plus de trois millions d'hectares dans le monde, avec une centaine de génotypes différents (Bernard, 1992). Le tableau ci-dessous présente les principales superficies de culture dans les pays producteurs.

**Tableau 4 Producteurs de triticale dans le monde.**

| Rang      | Pays        | Production de triticale (million de tonnes) |
|-----------|-------------|---|
| <b>1</b>  | Pologne     | 5,2   |
| <b>2</b>  | Allemagne   | 3   |
| <b>3</b>  | Biélorussie | 2,1   |
| <b>4</b>  | France      | 2   |
| <b>5</b>  | Russie      | 0,7   |
| <b>6</b>  | Chine       | 0,5   |
| <b>7</b>  | Hongrie     | 0,5   |
| <b>8</b>  | Espagne     | 0,4   |
| <b>9</b>  | Lituanie    | 0,4   |
| <b>10</b> | Autriche    | 0,3   |

## 6.2 En Algérie :

Benbelkacem & Sadli (2014) rapportent que le triticale, introduit en Algérie à la fin des années 1970, a d'abord suscité peu d'intérêt. Après une période de déclin dans les années 1990, sa culture a repris, notamment pour l'alimentation animale. Le triticale est désormais cultivé sur des sols variés, y compris en conditions arides. Des essais menés entre 2009 et 2012 dans des zones contrastées ont montré une amélioration continue des rendements, atteignant jusqu'à 5,45 t/ha en zone favorable et 4,92 t/ha en zone sèche, grâce à la sélection génétique progressive des variétés.

L'Algérie est un pays extrêmement déficitaire en céréales alimentaires et en aliments pour le bétail. Une proportion importante des terres céréaliers est fortement érodée et donc peu fertile. De plus, les précipitations annuelles, dont dépendent ces cultures, sont très irrégulières. Au cours des deux dernières décennies, la production céréalière moyenne annuelle en Algérie a été de 3,6 million de tonnes, un niveau qui ne couvre qu'un tiers des besoins de consommation (humains et animaux) (Benbelkacem, 1998).

Le triticale (*X Triticosecale Wittmack*) était cultivé en Algérie sur une superficie totale d'environ 20 500 hectares en 2001 (Tableau 1). Plus de 60 % de cette superficie se concentrerait dans la région nord-est du pays. Cette culture vise à réduire les importations de maïs et d'orge. Le triticale est principalement destiné à la production de fourrage (grains ou plante entière) ou à un usage double (fourrage et grain).

La superficie consacrée au triticale a atteint un maximum de 35 000 hectares en 1996-1997 (Tableau 5). Depuis, elle s'est stabilisée autour de 21 000 hectares au cours de la dernière décennie. Le rendement moyen en grains est de 1,5 tonne/hectare, soit un niveau relativement supérieur à celui des autres céréales (moyenne de 1,2 tonne/hectare) (Statistiques Agricoles, 2000).

## 7. Domaines d'utilisation de triticale :

### 7.1 Production de paille :

Le triticale présente un avantage important dans les zones d'élevage éloignées des régions céréaliers grâce à sa forte production de paille. D'après les essais menés par ARVALIS-Institut du végétal, cette culture offre un rendement en paille supérieur de plus de 60 % à celui du blé. Ainsi, même si les éleveurs préfèrent généralement la paille d'orge pour son usage, ils se tournent vers le triticale en raison de sa production nettement plus abondante que celle de l'orge ou du blé ; ceci est vrai aussi au niveau du sud du pays (El Oued par exemple) où tous les éleveurs se sont orientés vers la paille de Triticale beaucoup plus abondante que celle des autres céréales.

### 7.2 L'alimentation animale :

Le triticale est principalement destiné à l'alimentation animale en raison de ses qualités nutritionnelles : il contient 25 % de lysine de plus que le blé, offre une bonne digestibilité du phosphore et présente une forte valeur énergétique. En 2002, 34 % de sa production était destinée à cet usage. Il convient bien aux ruminants, avec une valeur alimentaire proche de celle du blé, donne d'excellents résultats chez les porcs, et peut être utilisé avec modération chez les volailles en raison de sa viscosité. Il est également adapté à l'alimentation des lapins, avec des performances similaires au blé. Le triticale est généralement utilisé sous forme de grain ou de foin ensilé. En élevage biologique, sa robustesse, sa forte production de paille et ses rendements élevés en font une réponse efficace au déficit en céréales fourragères. Il s'agit d'une céréale polyvalente et durable.

### 7.3 Triticale pour les biocarburants ;

Les variétés modernes de triticale représentent une matière première intéressante et compétitive pour la production d'éthanol. Elles présentent notamment l'avantage de posséder un système enzymatique auto-amylolytique, facilitant la transformation de grandes quantités d'amidon en sucres fermentescibles.

## 8. Importance économique :

Selon Brouwer (1976), le triticale est une céréale particulièrement appréciée, non seulement pour la richesse nutritionnelle de ses grains, mais aussi pour sa plasticité et sa rusticité, qui lui permettent d'assurer des rendements satisfaisants même dans des conditions pédoclimatiques difficiles. Son importance économique est renforcée par la diversité de ses usages, tant dans l'alimentation humaine que dans l'alimentation animale, notamment comme fourrage. Cette polyvalence pourrait contribuer à réduire le déficit de la production céréalière nationale et, par conséquent, à diminuer la dépendance aux importations.

Par ailleurs, les avantages économiques du triticale sont multiples : une gestion économique des intrants, grâce à sa robustesse naturelle ; une productivité en grains élevée ; une production de paille supérieure à celle des autres céréales d'hiver ; une valorisation en alimentation animale permettant de réduire l'utilisation de tourteaux importés ; l'utilisation de la farine de triticale, souvent mélangée à celle de blé tendre, participe à la diminution des importations de blé ; ainsi qu'une marge brute par hectare plus importante que celle de l'avoine et de l'orge (Anonyme, 2006).

Cependant, bien que le triticale ne soit pas encore en mesure de remplacer complètement les céréales traditionnelles, son utilisation dans la meunerie et d'autres secteurs demeure un axe prometteur à développer (Anonyme, 2006).

## 9. Défis et Perspectives :

### 9.1 Défis :

Selon Annaig Bouguennec (INRA, 2003), la création de nouvelles variétés de triticale rencontre plusieurs obstacles majeurs :

- **Barrières génétiques** : Les croisements entre blé et seigle restent difficiles, avec un faible taux de réussite (moins de 3 % de grains viables). Il faut donc recourir à des rétrocroisements successifs pour introduire des gènes de compatibilité.
- **Longueur du processus** : Passer du laboratoire à la grande culture prend beaucoup de temps, car il faut à la fois enrichir la variabilité génétique et adapter les nouvelles variétés aux conditions locales.
- **Faiblesses agronomiques** : Jean-Paul Le Goff (RAGT, 2003) souligne que, malgré les progrès, des problèmes persistent, notamment la sensibilité à la verse, la germination sur pied, et l'adaptation de certains parasites.

- **Manque d'outils de prédition** : Il existe peu d'outils fiables pour anticiper la qualité des nouvelles variétés en cours de sélection, ce qui complique l'amélioration des qualités nutritionnelles pour l'alimentation animale.

## 9.2 Perspectives :

Les perspectives sont néanmoins encourageantes :

- **Enrichissement génétique** : Les programmes actuels (Bouguennec, 2003 ; Lonnet, 2003) visent à diversifier la base génétique du triticale, notamment par la création de nouveaux triticales primaires et des croisements avec des blés et seigles modernes.
- **Réponse aux attentes des utilisateurs** : Philippe Lonnet (Florimond-Desprez, 2003) indique que la sélection s'oriente vers une meilleure prise en compte des besoins des utilisateurs, en particulier pour l'alimentation animale (meilleure digestibilité, faible viscosité, rendement en paille).
- **Progrès agronomiques** : En vingt ans, la sélection a permis d'améliorer la résistance à la verse, le rendement et la qualité du grain, rapprochant le triticale du blé tendre.
- **Collaboration et innovation** : Le Groupement d'Intérêt Économique (GIE) triticale, créé en 1996, regroupe plusieurs acteurs majeurs pour accélérer la sélection et répondre aux enjeux futurs (Lonnet, 2003).

## **Chapitre 02 : l'aneuploïdie chez le triticale**

## 1. Définition de L'aneuploïdie :

L'aneuploïdie est une anomalie chromosomique de nature cytogénétique, caractérisée par une altération du nombre normal de chromosomes dans une cellule (Comai, 2005). Elle peut se manifester par la présence d'un ou de plusieurs chromosomes supplémentaires dans une paire donnée (hyperdiploïdie), ou à l'inverse, par l'absence d'un ou des deux chromosomes homologues dans une paire (hypodiploïdie) (Comai, 2005). Ce phénomène perturbe l'équilibre chromosomique normal, entraînant souvent des conséquences phénotypiques notables chez les organismes affectés (Birchler & Veitia, 2012).

Un aneuploïde est défini comme un individu ou une cellule dont le caryotype diffère du type normal (dit sauvage) par un excès ou une déficience partielle dans le nombre de chromosomes (Ravi & Chan, 2010). Cette variation n'affecte généralement que quelques chromosomes, sans modifier l'ensemble du jeu chromosomique (Otto, 2007). En d'autres termes, un aneuploïde présente un nombre de chromosomes supérieur ou inférieur au nombre habituel, résultant d'une perte (monosomie) ou d'un gain (trisomie) d'un chromosome spécifique (Ravi & Chan, 2010). Ce phénomène peut engendrer des déséquilibres développementaux, notamment chez les végétaux polyploïdes comme le triticale (Otto, 2007).

## 2. Types et mécanisme de l'aneuploïdie :

Toutefois, deux processus majeurs sont classiquement reconnus comme étant à l'origine de l'aneuploïdie :

- **La non-disjonction** : ce mécanisme se produit lorsque les chromatides sœurs d'un chromosome ne se séparent pas correctement durant la division cellulaire. Le chromosome entier migre alors vers un seul pôle, ce qui entraîne la formation de deux cellules filles aneuploïdes. L'une possède un chromosome supplémentaire, on parle alors de cellule hyperploïde (exemple : trisomie  $2n + 1$  en mitose ou disomie  $n + 1$  en méiose). L'autre, déficiente d'un chromosome, est qualifiée d'hypoploïde (exemple : monosomie  $2n - 1$  ou nullisomie  $n - 1$ ). Ce phénomène constitue une cause fréquente de déséquilibre chromosomique (Seoane et al., 2000 ; Kirsch-Volders et al., 2002).
- **La perte de chromosomes** : elle se produit lorsqu'un chromosome ou une chromatide reste bloqué à l'équateur de la cellule et ne parvient pas à migrer vers les pôles lors de l'anaphase. Ce retard anaphasique conduit à la formation de cellules aneuploïdes. Dans un cas, deux cellules sœurs hypoploïdes peuvent être générées ; dans un autre, une cellule

reste diploïde tandis que l'autre devient hypoploïde (Seoane et al., 2000 ; Kirsch-Volders et al., 2002).

D'autres mécanismes peuvent également conduire à l'aneuploïdie :

- **La non-conjonction**, qui correspond à l'absence d'appariement des chromosomes homologues ;
- **La mauvaise division du centromère**, provoquant une séparation incorrecte des chromatides sœurs lors de la première division méiotique ;
- **L'extra-réPLICATION d'un chromosome**, résultant d'une erreur de réPLICATION pendant la méiose et menant à la production d'une copie supplémentaire du chromosome concerné.

Contrairement aux altérations chromosomiques structurales (comme les délétions, duplications, inversions ou translocations), les aberrations numériques sont généralement provoquées par des dommages au niveau du fuseau mitotique ou de l'appareil micro-tubulaire (Kirsch-Volders et al., 2002). Cela entraîne la perte ou le gain de chromosomes lors de la division cellulaire (Dixon et Wilson, 2000).

- **Mutations génétiques et anomalies chromosomiques :**

Les mutations génétiques peuvent altérer les gènes impliqués dans la régulation de la division cellulaire, ce qui peut engendrer des erreurs de ségrégation chromosomique (Kirsch-Volders et al., 2002). Par ailleurs, les anomalies chromosomiques telles que les translocations, délétions ou duplications peuvent modifier le nombre ou la structure des chromosomes, contribuant ainsi à l'apparition de l'aneuploïdie (Dixon et Wilson, 2000). Ces perturbations peuvent générer des cellules aneuploïdes susceptibles de donner naissance à des individus présentant des phénotypes anormaux ou des syndromes génétiques spécifiques (Kirsch-Volders et al., 2002 ; Dixon et Wilson, 2000).

### 3. La relation entre l'aspect cytogénétique et la germination des graines :

L'aspect morphologique du grain de triticale montre un taux assez élevé de grains anormaux ou de type échaudé, plusieurs recherches au niveau mondial ont attribué ce type à une carence dans le nombre de chromosomes et surtout de ceux hérités par le seigle.

De ce fait, les doses de semis préconisées sont toujours de 30 à 40 p.100 supérieures à ceux du blé et ce pour garantir une bonne densité dans la levée. Ceci implique donc que des problèmes subsistent dans la germination et de vigueur des semences durant cette phase.

- Il est à noter qu'il existe pour une même variété de grandes différences dans le calibre des graines et qui pourraient expliquer certaines faiblesses.

- Il existe une grande relation entre le nombre de chromosomes, les différents calibres, les grains de triticale et le taux de germination.

Les grosses fractions semblent être affectées par une aneuploïdie de type monosomique ( $2n-1$ ). Les petites fractions sont affectées soit par une hypo aneuploïdie accentuée, de type nullisomique ( $2n-2$ ) et exceptionnellement monosomique ou faible soit par une hyper-aneuploïdie. Le taux de germination fort pour les grosses fractions est relativement faible pour les petites ne semble pas être influencé par l'aneuploïdie de type monosomique mais surtout pas celles nullisomique et trisomique ( $2n-1$ ).

En d'autres termes, le déficit de 2 chromosomes ou l'excès d'un chromosome ont tendance à toucher les petites graines où l'on note une baisse relative dans leur taux de germination marqué par une nullisomie (perte de 2 chromosomes) tend à diminuer le taux de germination plus que la trisomie chez cette même fraction de grain (petite).

**Tableau 5 Taux de germination et poids des différentes fractions de grains (M. Boujnah , M . Moudden 1997).**

| /                   | Grosses fractions | Moyennes fractions | Petites fractions |
|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Poids en grammes    | 55,31             | 38,14              | 22,45             |
| Taux de germination | 72,4              | 60                 | 52,4              |

**Tableau 6 Matrice des corrélations de cinq variables (M. Boujnah , M . Moudden 1997).**

| /           | poids | germination | trisomie | monosomie | nullisomie |
|-------------|-------|-------------|----------|-----------|------------|
| poids       | 1     |             |          |           |            |
| germination | 0,63  | 1           |          |           |            |
| trisomie    | 0,06  | 0,04        | 1        |           |            |
| monosomie   | 0,21  | -0,04       | -0,24    | 1         |            |
| nullisomie  | -0,2  | -0,49       | -0,37    | -0,06     | 1          |

## 4. L'aneuploïdie chez le triticale :

### 4.1 Fréquence de l'aneuploïdie :

Des niveaux variables d'aneuploïdie ont été observés chez différentes souches de triticale, présentant également des degrés divers de stabilité méiotique. Les fréquences d'aneuploïdie chez les triticales hexaploïdes et octoploïdes, mesurées dans des populations en vrac ainsi que dans les descendances de plantes euploïdes. Il apparaît que l'aneuploïdie peut atteindre jusqu'à 32,7 % chez les triticales hexaploïdes et 83,3 % chez les octoploïdes. La fréquence la plus basse d'aneuploïdie relevée dans les populations en vrac de triticales hexaploïdes était de 8,3 %, ce qui reste significatif.

### 4.2 Effet de la consanguinité et de la sélection :

Fréquence de l'aneuploïdie a également été analysée après plusieurs générations de consanguinité et de sélection. Tsuchiya et Larter (1969a) ont étudié huit lignées de triticales hexaploïdes ayant subi sept à huit cycles de sélection visant à améliorer leurs caractères agronomiques. Ils ont observé une moyenne de 11,6 % d'aneuploïdes dans les semences en vrac, avec une variation allant de 9,7 à 14,9 %. Parmi ces aneuploïdes, 69 % étaient des hypoploïdes, mettant en évidence une dominance des formes déficitaires.

### 4.3 Aneuploïdie dans les descendances issues de plantes euploïdes :

Pour évaluer l'efficacité du criblage cytologique des euploïdes dans la réduction de l'aneuploïdie, la fréquence de cette dernière a été analysée dans la descendance des plantes euploïdes. Dans les générations avancées, Nakajima et Zennyosi (1966) ont constaté une fréquence de 5 % d'aneuploïdes. De leur côté, Tsuchiya et Larter (1969a) ont relevé un taux de 8,8 % après sept à neuf générations de sélection et de consanguinité. Ces derniers ont aussi mis en évidence une variation selon l'origine des triticales : ceux issus de \**T. turgidum*\* var. \**dicoccum*\* présentaient une fréquence plus faible (3,1 %) que ceux dérivés de \**T. turgidum*\* var. \**durum*\* (12,6 %) ou var. \**carthlicum*\* (10,7 %).

### 4.5 Effet du système de reproduction sur l'aneuploïdie

En se basant sur dix souches de triticales hexaploïdes, Gupta et Malik (1982) ont étudié la fréquence de l'aneuploïdie chez les lignées parentales, les composites, les autofécondations et les hybrides F<sub>1</sub> issus de croisements dialléliques. Ils ont observé la présence d'aneuploïdes, principalement des hypoploïdes, à des fréquences relativement élevées dans toutes les catégories analysées. Ces fréquences étaient particulièrement élevées chez les graines F<sub>1</sub> provenant des hybrides, ce qui a été attribué à une augmentation des anomalies méiotiques dans ces croisements.

## **Chapitre 03 : matériel et méthodes**

Ce travail porte sur l'étude de dix génotypes de Triticale (*× Triticosecale Wittmack*), une céréale issue du croisement entre le blé et le seigle, reconnue pour sa rusticité et son potentiel de rendement, notamment en conditions difficiles. L'objectif principal est d'évaluer le comportement de ces génotypes dans différents environnements agro-climatiques et sous des systèmes de culture différents (en condition pluviale et en irrigué) en Algérie, ainsi que d'étudier l'effet de l'aneuploïdie sur la germination des graines.

Le travail pratique s'est articulé autour de deux volets complémentaires :

## 1. Expérimentation en plein champ :

- Trois régions agro-écologiques ont été ciblées :
  - La région semi-aride de Constantine, au niveau d'El Khroub).
  - La région saharienne d'El Oued Souf.
  - La région du sud de khenchela (El- Meita).

Dans ces sites, des essais ont été conduits afin de comparer les performances des dix génotypes en termes de biomasse et de type de Triticale à destination fourragère ou pour le grain. Cette partie vise à évaluer l'adaptation de ces génotypes aux conditions spécifiques de chaque site en mesurant la biomasse des variétés à travers la hauteur des plants de chaque variété et leur précocité (à l'épiaison).

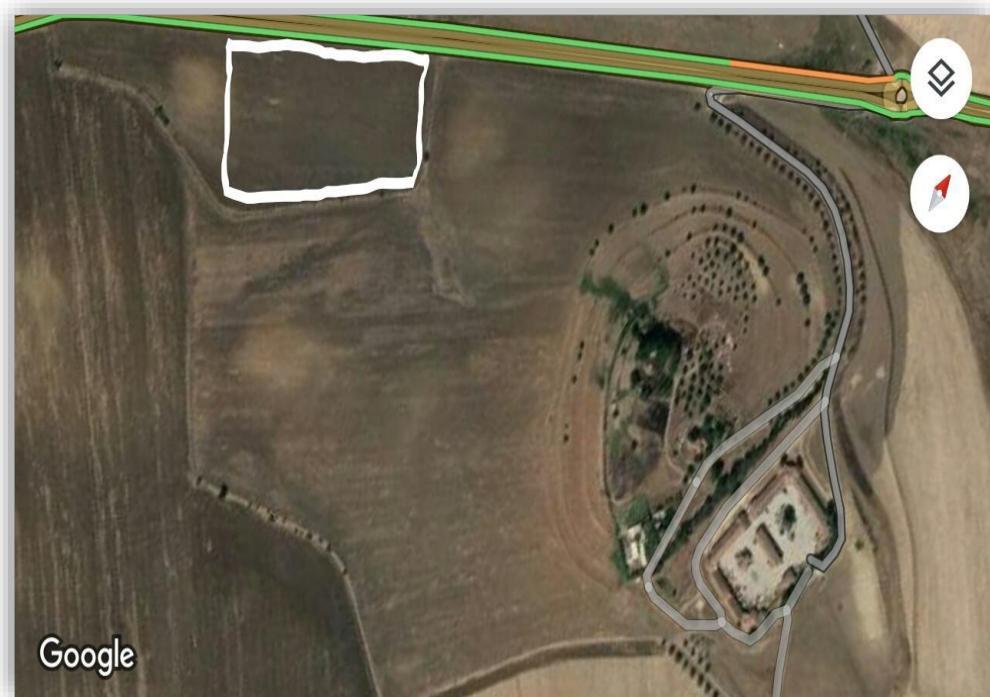
### A) Les sites de l'expérimentation :

#### 1) Site de Constantine

##### 1.1 Localisation du site d'essais :

Le site d'étude choisi pour cet essai se situe au niveau des hautes plaines intérieures de l'Est (Constantine) et plus précisément au niveau de la ferme pilote Baaraouia EL-Khroub (2024/2025) à une quinzaine de kilomètre au sud-est de Constantine.

- (Figure N° 4) ayant les coordonnées suivantes :
  - Altitude moyenne de 640 m.
  - Latitude est : 6°6870,
  - Longitude Nord : 36°2765



**Figure 4 Image satellite de la parcelle de l'essai à El Baraouia-El Khroub**

- Ce site est représentatif des hautes plaines intérieures constantinoises, à sol globalement Argilo limoneux assez profond. Il se caractérise par des terres vallonnées, assez fertiles avec quelques risques de gel tardif et de sécheresse en fin de cycle.
- La parcelle d'étude (figure 04) représentée par un terrain plat, homogène, le sol est profond (plus de 2m de profondeur).
- Il s'agit d'un sol lourd qui nécessite beaucoup de travaux culturales (labour profond, recroisage, hersage,etc) avant le semis.

## 1.2 Conditions climatiques :

### a. La pluviométrie :

La zone d'EL-Khroub est caractérisée par un climat continental semi-aride à hiver froid, et été chaud et sec ; les premières pluies apparaissent généralement au mois de septembre et la période pluvieuse s'étend jusqu'à la fin mai.

L'année agricole 2024/2025 (498,7mm) a été du même niveau que la moyenne sur 20 ans (513.7mm), mais la réparation a été quelque peu irrégulière. Il est à signaler que lors des mois de mars et avril où les besoins de la plante sont au maximum, la pluviométrie a été assez généreuse (116mm) (tableau 7). Les températures de l'année étaient globalement douces.

*Tableau 7 pluviométrie moyenne et températures enregistrées pendant l'année à Baaraouia 2024/2025.*

| Mois             | Précipitation<br>(mm) | Pluies (mm)<br>20Ans | Température<br>minima°C | Température<br>maxima°C | Température<br>moyenne°C |
|------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>Septembre</b> | <b>17</b>             | 41.2                 | 15.7                    | 29                      | 22.4                     |
| <b>Octobre</b>   | <b>26.2</b>           | 40                   | 12                      | 23.8                    | 17.8                     |
| <b>Novembre</b>  | <b>98.2</b>           | 55.6                 | 6.17                    | 22.9                    | 14.9                     |
| <b>Décembre</b>  | <b>45</b>             | 92.9                 | 0.58                    | 22.7                    | 8.9                      |
| <b>Janvier</b>   | <b>78</b>             | 79                   | 1.52                    | 23.3                    | 9.3                      |
| <b>Février</b>   | <b>26.5</b>           | 56                   | 0.85                    | 21.9                    | 9.7                      |
| <b>Mars</b>      | <b>42.6</b>           | 55                   | 0.45                    | 27.2                    | 12.2                     |
| <b>Avril</b>     | <b>73.4</b>           | 53.4                 | 0                       | 31.5                    | 13.6                     |
| <b>Mai</b>       | <b>91.8</b>           | 40.4                 | 0                       | 35.3                    | 18.8                     |
| <b>Cumul</b>     | <b>498.7</b>          | <b>513.2</b>         | /                       | /                       | /                        |

*(Station : Ain El Bey, Constantine 2024/2025)*

La période automnale a été relativement sèche (43,2mm) de septembre à octobre 2023 mais en novembre les premières pluies significatives sont tombées (98.2mm); du mois de décembre à fin février la pluie a été au rendez-vous de manière assez régulière permettant une bonne installation des cultures. Les précipitations de mars et avril (26mm au total) ont été faibles mais les cumuls observés lors de la période précédente n'ont pas fait apparaître de signe de stress hydrique.

#### b. Les températures :

La température est un facteur important pour la croissance, elle effectue la disponibilité de l'énergie et c'est grâce aux degrés-jours que la végétation manifeste son rythme biologique (Halimi,1980).

La température s'élève très vite dès le mois de février. Des températures assez hautes sont été enregistrées à partir de mois de mai. Il est à signaler que les hautes températures durant le printemps ont coïncidé avec l'épiaison et le remplissage des grains.

#### 2) Site d'El Oued :

Le site d'étude était implanté sous un pivot d'irrigation de 1ha dans la commune de Ouermes à sol sablo limoneux avec comme précédent une céréale. Les travaux minimums réalisés sont :

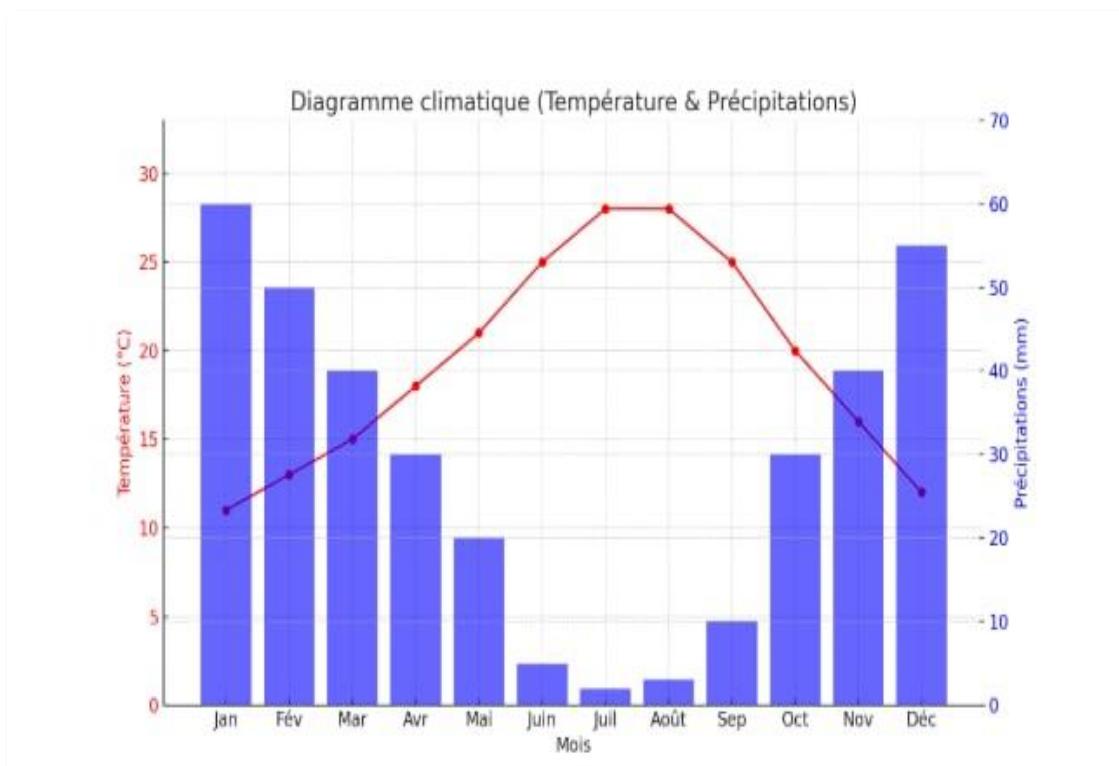
- Un labour en novembre 2024 au cultivateur puis, deux passages au cover crop et une herse lourde avant le semis réalisé en fin janvier 2025 à une densité de 350 graines au m<sup>2</sup>.
- La fertilisation a été faite par un 1 ql de DAP (Azote + phosphore) pendant le semis et 1ql d'urée 46% à la montaison. La récolte a été manuelle et eu lieu en début Mai 2025.

### Les données climatiques

Le climat d’Oued-Righ à Oued souf est un climat désertique chaud de type saharien, caractérisé par des précipitations très rares et irrégulières, par des températures élevées avec de grandes amplitudes journalières et annuelles et une faible humidité relative de l’air. En effet, les précipitations sont très rares, la moyenne annuelle est légèrement supérieure à 50 mm pour un nombre de jours de pluie de 25 jours. Ces pluies sont de type orageux caractérisées par une forte intensité, générant ainsi des crues importantes qui ne persistent que quelques minutes. Les vents sont fréquents dans la région d’Oued-Righ. En hiver, les vents d’ouest dominent. Au printemps, ce sont les vents de nord-est qui dominent, tandis qu’en été, ce sont les vents de sud-ouest qui dominent. Dans la région d’Oued Righ, l’évapotranspiration maximale présente une variation saisonnière importante. L’évapotranspiration potentielle mensuelle en hiver est trois fois moins importante que l’EP mensuelle en été. (ADMISF135,2021).

*Tableau 8 récapitulatif des données climatiques.*

| Mois      | Température moyenne<br>(°C) | Précipitations<br>(mm) |
|-----------|-----------------------------|------------------------|
| Janvier   | <b>11</b>                   | <b>60</b>              |
| Février   | <b>13</b>                   | <b>50</b>              |
| Mars      | <b>15</b>                   | <b>40</b>              |
| Avril     | <b>18</b>                   | <b>30</b>              |
| Mai       | <b>21</b>                   | <b>20</b>              |
| Juin      | <b>25</b>                   | <b>5</b>               |
| Juillet   | <b>28</b>                   | <b>2</b>               |
| Août      | <b>28</b>                   | <b>3</b>               |
| Septembre | <b>25</b>                   | <b>10</b>              |
| Octobre   | <b>20</b>                   | <b>30</b>              |
| Novembre  | <b>16</b>                   | <b>40</b>              |
| Décembre  | <b>12</b>                   | <b>55</b>              |



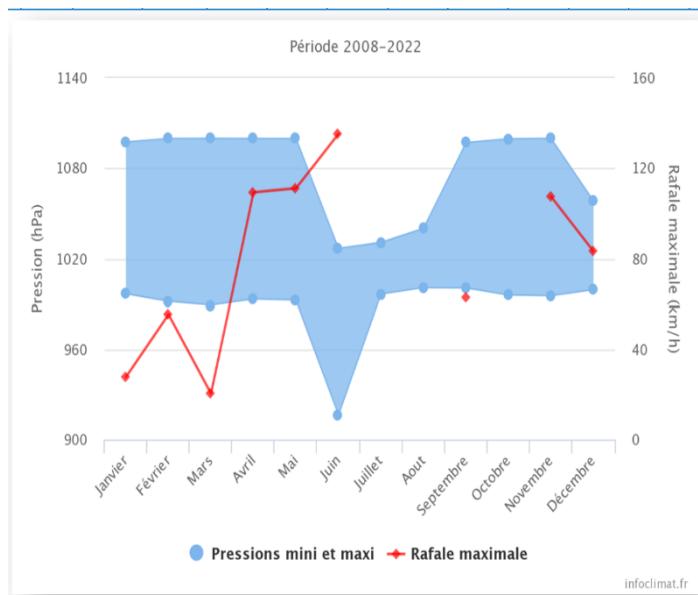
**Figure 5 diagramme climatique (température et précipitation).**

### Les Vents

Pour la période (2008-2022), les vents sont fréquents sur toute l'année, avec une moyenne annuelle de 9.14m/s. Le maximum de rafale annuelle est enregistré au mois de juin avec une valeur de 135.2 km/h et le minimum en mois mars avec 20.4 km/h. ces rafales soufflent suivant des directions différentes.

**Tableau 9 Valeurs de pression (hPa) et de vent (km/h) extrêmes, période (2008-2022).**

| Mois              | Janv   | Fev    | Mars   | Avr    | Mai    | Juin   | Juil   | Aout   | Sept   | Oct    | Nov    | Dec    | Toute la période |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| Rafale maximale   | 27.8   | 55.4   | 20.4   | 109.3  | 111.1  | 135.2  | -      | -      | 63.0   | -      | 107.4  | 83.2   | 135.2            |
| Pression minimale | 996.5  | 991.6  | 989.2  | 993.1  | 992.4  | 916.4  | 996.4  | 1000.6 | 1000.4 | 999.7  | 995.2  | 999.3  | 916.4            |
| Pression maximale | 1097.4 | 1099.8 | 1099.9 | 1099.8 | 1099.8 | 1026.7 | 1030.7 | 1040.0 | 1097.0 | 1099.6 | 1099.9 | 1058.3 | 1099.9           |



**Figure 6 Variations de pression (hPa) et de vent (km/h) extrêmes, période (2008-2022)**

### 3) Site El Meita (Cosider - Khenchela Sud)

Le site d'étude était implanté au sein du groupe COSIDER sous un pivot d'irrigation de 30ha dans la commune d'El Meita à l'extrême sud de la wilaya de khenchela à sol sablo limoneux avec très peu d'argile sous précédent Blé dur. Une longitude de 7,05, de latitude de 34°48 et une altitude de 64m. La pluviométrie annuelle est de 164,7mm. Le climat est aride avec le mois de septembre étant le plus pluvieux et le mois de juillet le plus sec.

Les travaux minimums réalisés sous pivot sont :

- Un labour en novembre 2024 à la charrue à disque puis, deux passages au cover crop et une herse canadienne juste avant le semis réalisé en fin janvier 2025 à une densité de 350 graines au m<sup>2</sup>.
- La fertilisation a été faite à l'aide de 1 q 1 de DAP (Diammonium phosphate) avec le semis et 1ql d'urée 46% à fin tallage. La récolte a eu lieu en début Mai 2025

#### 3.1 Matériels utilisé au champ :

Un mètre ruban pour mesurer la hauteur des épis a été utilisé.

#### 3.2 Matériel végétal utilisé :

Au total dix génotypes de triticale ont été utilisés dans l'étude ; neuf variétés sont d'origine CIMMYT et sélectionnées en fin de cycle en Algérie à El- khroub, et une variété Française (Clercal) (Tableau ci après).

**Tableau 10 Matériel végétal utilisée dans l'étude (le triticale).**

| N° | Nom de la Variété | Pédigrée et historique de sélection   | Origine        |
|----|-------------------|---|----------------|
| 1  | ALLALI            | Nilex/3/Bull_10/Manati81//Faras/CMH84.4414/6/HX87-244/HX87-255<br>/5/Presto//2*Tesmo_1/Musx603/4/Ardi_1/Topo1419//Erizo_9/3/Susi_2  | CIMMYT/Algérie |
| 2  | BATNA = Irdjane   | Bat* <sup>2</sup> /Bcn//Caal/3/Erizo_7/Bagal_2//Faras_1/7/Pollmer<br>2.221//Faras/CMH8444/6/Presto//2*Tesmo_1/Musx603/3/Ardi_1/Topo<br>1419//Erizo_9/4/Musx/Lynx//Yogui_1/3/Fahad_4/5/Lasko/Ibex//Erizo | CIMMYT/Algérie |
| 3  | BENI HAROUN       | Bant-4//Hare-7265/Yogui_1/3/...   | CIMMYT/Algérie |
| 4  | BOUTINEL          | Turaco/Cent.Sardev/7/Liron-2/5/Dis.B5/3/SPHD/Pvn//Yogui_6/4/Ker-<br>3/6/Bull-10/Manati_1/8/Liron-2/5/Dis.B5/3/SPHD/Pvn//Yogui-6/4/Ker-<br>3/6/Bull-10/Manati_1/9/Bicen                                  | CIMMYT/Algérie |
| 5  | CHELIA            | Kissa_7.3//Sika26/Hare-337/3/....   | CIMMYT/Algérie |
| 6  | ELKOUAHI = ElBahd | Presto//2*Tesmo_1/Musx603/4/Ardi_1/Topo1419//Erizo_9/3/Susi_2<br>/5/AR/SNP6//Tarasca87_2/CS10/3/Porsas_4.1/4/Chacal_3.2/6/Bat* <sup>2</sup> /<br>Bcn / Caal/3/Erizo_7/Bagal_2//Faras_1                  | CIMMYT/Algérie |
| 7  | FD...             | FD.693/2*Fahad_4//Pollmer_4/3/Polmer_2.1/4/Faras/Cmh84.4414/6/<br>Rhino_3/Bull_1.1/5/Cmh77.1135/CMH77A.1165//2*Yogui_1/3/Ibex/4/JI<br>o97/Civet   | CIMMYT/Algérie |
| 8  | LAMB2             | Musx/Bta  | CIMMYT/Algérie |
| 9  | LIRON             | Liron_2/5/Dis.B5/3/SPHD/Pvn//Yogui_6/4/Ker_3/6/Bull_10/Manati_1<br>/7/Rhino_3/Bull1.1/8/Bat* <sup>2</sup> /Bcn//Cal   | CIMMYT/Algérie |
| 10 | MELIANI           | Clercal   | France         |

- Les graines utilisées sont issues de la récolte de 2023/2024 à El-khroub à l'exception de Clercal ou Meliani utilisée comme témoin a été prise d'un stock de 2021/2022 de la même station.

#### ➤ Dispositif Expérimental :

Les parcelles utilisées sous forme de parcelles de démonstration sur une longueur de 50 mètres, où 4 placettes de 1 m<sup>2</sup> (voir figure ci dessous) ont servi pour les différentes mesures étudiées (épiaison, hauteur, type agronomique).

**Tableau 11 dispositif expérimentale utilisée dans notre étude.**

| ALLALI | BATNA | BOUTINEL | BENI HAROUNE | CHELIA | FD... | ELKOUAHI | LAMB2 | LIRON | MELIANI |
|--------|-------|----------|--------------|--------|-------|----------|-------|-------|---------|
| ■      |       |          |              |        |       |          |       |       |         |

## 2. Conduite culturelle et entretien phytosanitaire de l'essai :

Le précédent cultural était une jachère travaillée. La conduite culturelle adoptée est celle utilisée en grandes cultures. En effet, les travaux réalisés à Baaraouia consistent en un labour profond réalisé au cours du mois février 2024, suivi d'un cultivateur et de passages de cover-crop, aux mois d'Avril, Mai et Octobre 2024 pour la destruction des mottes, et des adventices. L'épandage de 1 q/ha de DAP (diamonium phosphate) à 52% a été réalisé à l'aide d'un épandeur centrifuge avant le dernier passage du cover crop et enfin un passage d'un cultivateur est effectué juste avant l'opération semis pour la préparation du lit de semence.

Le semis a été effectué le 04 du mois de janvier 2025. Au semoir expérimental Oyord à une densité de semis de 300 grains par m<sup>2</sup>. Elle a été raisonnée en tenant compte de la faculté germinative et du poids de 1000 grains de chaque génotype.

L'apport de 1,5 q/ha d'engrais azoté sous forme d'urée à 46% a été réalisé à l'aide d'un épandeur lors du stade plein tallage (mi-février).

### 2.1 Paramètres mesurés :

La collecte des données s'est faite par échantillonnage au sein des placettes de l'essai où les paramètres étudiés sont :



**Figure 7 Site de Baaraouia (El-khroub)2024/25 (2023/2024)**

## 2.2 Paramètres phénologiques :

- La date d'épiaison, pour estimer la durée de la phase végétative, comptée du semis au jour où 50% des épis sortent de leur gaine et la biomasse aérienne accumulée à ce stade.

## 2.3 Paramètres morphologiques :

- La hauteur de la plante (Cm) a été prise sur trois échantillons du sol au sommet de la strate moyenne des épis barbes non incluses avant la récolte à l'aide d'une planche graduée.
- La biomasse végétale incluant les plantes des céréales et les mauvaises herbes estimées et où une notation visuelle a donnée (de 1 à 5).

## 3. Analyses cytogénétiques :

La seconde phase s'est déroulée en laboratoire et comprend deux types d'analyses complémentaires :

- Des analyses cytogénétiques, réalisées au laboratoire de cytogénétique de l'Université Mentouri Constantine 1, ayant porté sur des graines classées selon leur calibre (grosses, petites et échaudées). (Figure n°)
- L'objectif était de déterminer le nombre de chromosomes et de détecter d'éventuelles anomalies, notamment des cas d'aneuploïdie.



*Figure 8 calibre des graines*

- Un test de germination a ensuite été effectué au Centre National de Contrôle et de Certification des Semences (CNCC), afin d'évaluer la capacité germinative des graines issues des différentes catégories analysées.

- Ce double volet expérimental permet d'aborder de manière intégrée les aspects agronomiques et cytogénétiques des dix génotypes de Triticale.

### 3.1 Matériel utilisé au laboratoire :

#### - Pour le matériel de laboratoire on utilise :

- Des boîtes de Pétri, un verre de montre, microscope optique ( $\times 10$ ,  $\times 40$ ), les lamelles, les lames de microscope, des piluliers, lames à couper, Une loupe, Pince, Bécher, Papier absorbant, Les allumettes, Papier aluminium, Éprouvette graduée, Pipette, Tige de verre, Papier plissée, germoir.

#### - Les produits :

- Eau de Javel (13%), Eau distillée, Acide acétique, Éthanol, L'acide chlorhydrique (HCl), L'huile, colchicine, Acéto-orcéine.



**Figure 9** Produits utilisés dans le laboratoire de la cytogénétique.

### 3.2 Méthode de travail :

#### 1) Germination

Après désinfection dans de l'eau de Javel diluée à 50 % pendant 5 à 7 minutes, les graines sont rincées trois fois à l'eau distillée, puis laissées dans l'eau distillée pendant 10 minutes. Elles sont ensuite mises à germer dans des boîtes de Pétri tapissées de papier filtre imbibé d'eau distillée, à température ambiante et sous lumière.



**Figure 10 Pré germination des graines après 2 jours.**

## 2) prélèvement

Après deux jours de germination, les racines atteignent une longueur de 0,5 à 1,5 cm. Nous avons déterminé que la période durant laquelle le coefficient mitotique est le plus élevé se situe entre 9h00 et 10h30 pour notre matériel.

## 3) Prétraitement

Il se fait par trempage des tissus en division dans la colchicine, un agent Mito-classique qui a pour effets principaux :

- a. Bloquer les divisions mitotiques au stade métaphase.
- b. Contracter les chromosomes.

En essayant quatre prétraitements de 3 h 45, 3 h 30, 3 h 15 et 4 h en fonction de la Température. La température optimale pour observer les plaques métaphasiques est d'environ 16°C.

## 4) Fixation

Les fixateurs détruisent toute vie cellulaire, il doit avoir une action Rapide pour bloquer toute évolution des divisions cellulaires et permettent de conserver l'intégrité structurale des chromosomes.

La fixation s'effectue dans une solution éthanol acide acétique (3V-1V) pendant 48h au réfrigérateur.

### 5) Hydrolyse

On laisse les racines dans l'acide chlorhydrique (HCl) 1N chauffé à 60 °C pendant 7 à 10 minutes. Cette étape est essentielle pour obtenir un bon étalement des cellules et des chromosomes entre la lame et la lamelle.

L'acide chlorhydrique ramollit les tissus en rompant les liaisons entre les bases puriques et les désoxyribooses, ce qui libère les groupements aldéhydiques des molécules de sucre de l'ADN. Il permet également de ramollir les parois cellulaires rigides, dites « pecto-cellulosiques », afin de faciliter l'écrasement des cellules lors de la préparation.

### 6) Coloration

La coloration est réalisée à l'aide de l'acéto-orcéïne, un colorant spécifique des acides nucléiques, donnant une couleur rouge. Après dépôt d'une goutte de colorant sur la racines pour pouvoir observer les points racinaires et les découper,

Puis on écrase doucement afin d'étaler les cellules. La coloration repose sur l'interaction chimique entre l'orceïne et les acides nucléiques, notamment l'ADN des chromosomes., permettant à l'orceïne de pénétrer les structures chromosomiques

Les chromosomes apparaissent alors en rouge violacé, bien visibles au microscope, ce qui permet une observation claire des différentes phases de la mitose.

### 7) Écrasement

L'écrasement des demi-pointes se fait entre lame et lamelle dans une goutte d'acéto-orcéïne,

- cette étape assure une bonne dispersion des chromosomes.

### 8) Observation et photographies

L'observation des chromosomes et des plaques métaphasiques se fait sous microscope optique à l'aide d'un faible grossissement (10x) puis grossissement (40x), puis la prise de photos des meilleures plaques métaphasiques s'effectue à l'aide de l'objectif 100x d'un photomicroscope de type LEITZ.

## 4. Test de germination :

- Le test de germination a été réalisé au niveau du Centre National de Contrôle et de Certification des Semences (CNCC), dans le but d'évaluer la capacité germinative de dix

génotypes de triticale. Pour chaque génotype, les graines ont été triées en deux catégories selon leur taille : grosses graines et petites graines, avec trois répétitions par test. Cette opération consiste à placer 100 graines dans une feuille de papier buvard plié (papier plissé), préalablement humidifiée à l'eau distillée, Chaque feuille représente une répétition.

- Les feuilles de papier plié (papier buvard humidifié) ont été ensuite enroulées et placées verticalement dans un germoir, maintenu à une température contrôlée favorable à la germination du triticale (généralement entre 20 et 25 °C), dans des conditions standardisées.
- La germination a été suivie pendant une période de six (6) jours. À l'issue de cette période, les graines ayant émis une radicule d'environ 2 mm ont été considérées comme germées. Le taux de germination a été calculé pour chaque répétition et exprimé en pourcentage.

## **Chapitre 04: Résultats et discussion**

## 1. Résultats des essais au champ :

Le premier objectif de cette expérimentation était d'évaluer le comportement agronomique de dix génotypes de triticale en conditions de culture réelle, en se focalisant sur des caractères clés tels que la hauteur des plantes, la date d'épiaison. Ces paramètres permettent d'apprécier à la fois l'adaptabilité des génotypes aux conditions locales et leur potentiel de production.

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux suivants et font l'objet d'une discussion comparative afin de dégager les différences significatives entre les variétés étudiées et d'identifier les plus performantes dans les conditions édapho-climatiques du site.

Les résultats obtenus par l'analyse de variance (ANOVA) constituent une méthode statistique appropriée. Elle permet de comparer les moyennes de plusieurs groupes simultanément en testant si la variation entre groupes est supérieure à la variation intra-groupe, via le test F.

### 1.1 Site d'El Oued :



*Figure 11 site ouermes (El Oued) parcelle de triticale.*

*Tableau 12 résultats des différents paramètres mesurés sur triticale à Ouermess (El Oued)*

2024/2025.

| Traits<br>Variétés | Hauteur 01 | Hauteur 02 | Hauteur 03 | Totale | Epiaison | Type agronomique    |
|--------------------|------------|------------|------------|--------|----------|---------------------|
|                    |            |            |            |        |          |                     |
| <b>kasr Sbihi</b>  | 77         | 83         | 84         | 244    | 85       | Grain               |
| <b>El kouahi</b>   | 70         | 84         | 87         | 241    | 81       | Foin                |
| <b>FD</b>          | 84         | 86         | 94         | 264    | 82       | Grain               |
| <b>Batna</b>       | 84         | 87         | 90         | 261    | 83       | Foin                |
| <b>Beni Haroun</b> | 100        | 94         | 103        | 297    | 87       | Grain               |
| <b>Boutinel</b>    | 80         | 79         | 81         | 240    | 89       | Double exploitation |
| <b>Allali</b>      | 113        | 120        | 118        | 351    | 91       | Grain               |
| <b>Chelia</b>      | 101        | 94         | 99         | 294    | 88       | Double exploitation |
| <b>Liron</b>       | 122        | 118        | 120        | 360    | 90       | Foin                |
| <b>Trimour</b>     | 74         | 80         | 82         | 236    | 105      | Double exploitation |

*Tableau 13 ANOVA des résultats de site Ouermess .*

| origine            | SC       | dl | var      | Fcal     | F theo 5% | F theo 1% |
|--------------------|----------|----|----------|----------|-----------|-----------|
| <b>totale</b>      | 6699,867 | 29 | /        | /        | /         | /         |
| <b>blocs</b>       | 6293,867 | 9  | 699,3185 | 47,91165 | 2,46      | 3,6       |
| <b>traitements</b> | 143,2667 | 2  | 71,63335 | 4,9077   | 3,55      | 6,013     |
| <b>Erreur</b>      | 262,7335 | 18 | 14,596   | /        | /         | /         |

- Coefficient de variation (CV) = 4,11 %.
- PPDS 5% = 2,08148.
- PPDS 1% = 4,917.

## 1.2 El Meita (sud de Khenchla) :



*Figure 12 Essai du comportement des variétés de Triticale à ElMeita Khenchela 2025.*

*Tableau 14 résultats des différents paramètres mesurés sur triticale à EL Meita (khenchla)*

| var/trait(cm)      | Hauteur r 01 | Hauteur r 02 | Hauteur r 03 | Total e | L'épiaison n | T.agronomique       |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|---------|--------------|---------------------|
| <b>kasr sbahi</b>  | 82           | 90           | 94           | 266     | 81           | Grain               |
| <b>Allali</b>      | 128          | 130          | 122          | 380     | 81/86        | Foin                |
| <b>FD</b>          | 67           | 71           | 66           | 204     | 79           | Grain               |
| <b>El kouahi</b>   | 92           | 99           | 98           | 289     | 94           | Foin                |
| <b>Boutinal</b>    | 97           | 96           | 91           | 284     | 80           | Grain               |
| <b>Liron</b>       | 90           | 96           | 91           | 277     | 88           | Double exploitation |
| <b>Lamb2</b>       | 72           | 78           | 79           | 229     | 83           | Grain               |
| <b>Beni haroun</b> | 87           | 91           | 103          | 281     | 84           | Double exploitation |
| <b>Chelia</b>      | 100          | 107          | 97           | 304     | 80           | Foin                |
| <b>Batna</b>       | 89           | 80           | 95           | 264     | 81           | Double exploitation |

2024/2025.

**Tableau 15ANOVA des résultats du site El Meita .**

| origine            | SC       | dl | var     | Fcal    | F theo 5% | F theo 1% |
|--------------------|----------|----|---------|---------|-----------|-----------|
| <b>totale</b>      | 7015,2   | 29 | /       | /       | /         | /         |
| <b>blocs</b>       | 6487,866 | 9  | 720,874 | 28,5474 | 2,46      | 3,6       |
| <b>traitements</b> | 72,8     | 2  | 36,4    | 1,4414  | 3,55      | 6,013     |
| <b>Erreur</b>      | 454,534  | 18 | 25,2518 | /       | /         | /         |

- Coefficient de variation (CV) = 5.4266%.
- PPDS 5% = 4,721.
- PPDS 1% = 6,4677.

### 1.3 Constantine (El-khroub, baaraouia) :



**Figure 13 Photo de triticale de la variété ALLALI à EL Khroub 2025**

*Tableau 16 résultats des différents paramètre mesurés sur triticale à EL Khroub 2025.*

| var/trait(cm) | Hauteur 01 | Hauteur 02 | Hauteur 03 | Totale | Date d'épiaison |
|---------------|------------|------------|------------|--------|-----------------|
| Allali        | 162        | 149        | 159        | 470    | 99              |
| batna         | 96         | 103        | 98         | 297    | 94              |
| boutinal      | 94         | 98         | 96         | 288    | 92              |
| beni haroun   | 126        | 122        | 128        | 376    | 96              |
| chelia        | 115        | 121        | 113        | 349    | 97              |
| FD            | 114        | 117        | 112        | 343    | 95              |
| El kouahi     | 170        | 159        | 156        | 485    | 104             |
| Lamb2         | 122        | 117        | 121        | 360    | 96              |
| liron         | 111        | 109        | 107        | 327    | 96              |
| trimour       | 90         | 91         | 88         | 269    | 96              |

*Tableau 17ANOVA des résultats du site El khroub 2025.*

| origine     | SC      | dl | var      | Fcal    | F theo 5% | F theo 1% |
|-------------|---------|----|----------|---------|-----------|-----------|
| totale      | 15922,8 | 29 | /        | /       | /         | /         |
| Blocs       | 15594,8 | 9  | 1732,756 | 102,868 | 2,46      | 3,6       |
| traitements | 24,8    | 2  | 12,4     | 0,74    | 3,55      | 6,013     |
| Erreur      | 303,2   | 18 | 16,84    | /       | /         | /         |

- Coefficient de variation (CV) = 3,45%.
- PPDS 5% = 3,856.
- PPDS 1% = 5,282.

## 2. Les interprétations :

### 2.1 Oued Souf :

Dans la région de Oued Souf (sud-est aride, sol sablo-limoneux, irrigation sous pivot), les dates d'épiaison des variétés de triticale varient entre 85 jours (Kasr Sbahi) et 105 jours (Trimour) après semis.

On observe un écart de 20 jours entre les variétés précoces et tardives.

- Les variétés les plus tardives (Trimour, Boutinal) ont développé une biomasse plus importante et présentent les hauteurs les plus basses, ce qui peut sembler paradoxal, mais peut être expliqué par un stress thermique ou hydrique en fin de cycle.
- Les variétés à épiaison intermédiaire (Allali, Liron) présentent une bonne hauteur et une bonne synchronisation, ce qui suggère une adaptation efficace à ce climat aride, grâce à l'irrigation.

### 2.2 El Meita (Khencela Sud) :

À El Meita, zone semi-aride d'altitude (sol sablo-limoneux, irrigué sous pivot), les dates d'épiaison varient entre 79 jours (FD) et 94 jours (El Kouahi).

- L'écart d'épiaison est moins large qu'à Oued Souf (seulement 15 jours).
- La majorité des variétés ont épiaison entre 80–86 jours, ce qui reflète une uniformité phénologique probablement liée à une homogénéité climatique et à une réduction du cycle végétatif par adaptation génétique aux stress climatiques d'altitude (gel, sécheresse printanière).

### 2.3 Constantine (El Khroub) :

À El Khroub, zone des hautes plaines (climat semi-aride frais, sol profond argilo-limoneux), les dates d'épiaison sont plus concentrées autour de 94 à 104 jours, avec la majorité des variétés entre 95 et 99 jours, et un maximum atteint par El Kouahi (104 jours).

Le cycle végétatif est plus long que dans les deux autres sites. Cela s'explique par :

- Un climat plus frais en hiver et au printemps, qui retarde les stades phénologiques,
- Une bonne disponibilité hydrique (pluviométrie de 498 mm bien répartie), ce qui favorise le développement prolongé.

#### ➤ Interprétation de l'épiaison :

- Les épiaisons sont plus précoces à El Meita, ce qui peut être une stratégie adaptative face à un stress thermique ou hydrique en fin de cycle, surtout en altitude.

- À Constantine, les dates d'épiaison sont les plus tardives, en lien avec des conditions climatiques tempérées et un sol plus profond, permettant une meilleure croissance racinaire et une phase végétative plus longue.
- À Oued Souf, bien que l'environnement soit aride, l'irrigation permet un cycle intermédiaire à long, avec une variabilité importante entre variétés, reflétant une bonne discrimination phénotypique.
- Dans les zones plus fraîches (Constantine), le prolongement naturel du cycle végétatif pourrait devenir un risque en cas de stress thermique tardif (comme une canicule printanière future).
- À Khenchela, la pression climatique semble déjà forcer une réduction du cycle, ce qui pourrait nuire au rendement si les variétés ne sont pas suffisamment précoces ou résistantes à la sécheresse

➤ **Types agronomiques :**

- Les types fourragers se distinguent partout par leur hauteur élevée et leur cycle long, ce qui maximise la biomasse.
- Les types grain sont plus précoces et mieux adaptés aux zones à contraintes hydriques ou climatiques (comme El Meita).
- Les variétés à double exploitation constituent une option stratégique pour les zones instables ou de transition, car elles offrent un compromis entre rendement grain et biomasse.

Cette comparaison confirme que le choix du type agronomique doit être fait en fonction des conditions régionales, des objectifs de production (grain ou fourrage), et des effets attendus du changement climatique.

Certaines variétés comme Allali ou Batna changent de catégorie, en fonction de leur développement végétatif (hauteur) et de la durée du cycle (épiaison) :

- À Oued Souf, certaines variétés classées “à grains” dans d'autres sites ils sont classés fourragères, car elles développent une biomasse plus importante grâce à l'irrigation (ex. Allali).
- À l'inverse, à Constantine, des variétés fourragères (comme Boutinel) peuvent être utilisées pour la production de grain, car les conditions climatiques prolongent le cycle, augmentant la fertilité des épis.

Certaines variétés comme FD, El Kouahi ou Kasr Sbahi présentent un type agronomique stable à travers tous les environnements. Cela peut refléter un génotype plus spécifique et moins sensible à l'environnement.

### 3. Analyse de variance (ANOVA) :

Lorsqu'un test d'analyse de la variance (ANOVA) est réalisé, on compare la valeur de F calculée ( $F_{cal}$ ) à la valeur critique ou théorique ( $F_{théo}$ ). Si :

- $F_{cal} > F_{théo}$ , on conclut à l'existence de différences significatives entre les traitements (génotypes ou blocs).
- Ensuite, pour identifier quelles différences entre moyennes sont significatives, on calcule la Plus Petite Différence Significative (PPDS).

La **PPDS** permet de savoir quel est l'écart minimum existant entre deux moyennes pour que leur différence soit statistiquement significative au seuil choisi (5% ou 1%).

Enfin, le coefficient de variation (CV) permet d'évaluer la précision globale de l'essai. Il s'exprime en pourcentage d'écart-type relatif à la moyenne.

Un CV inférieur à 12% est considéré comme très bon. Au-delà, les résultats doivent être interprétés avec prudence et idéalement confirmés par d'autres essais.

#### 3.1 Site de Oued Souf

- $F_{cal}$  (traitements) = 4,91 >  $F_{théo}$  = 3,55 → Il existe des différences significatives entre les variétés.
- PPDS 5% = 2,081 cm → Deux variétés sont statistiquement différentes si leur écart de hauteur  $\geq 2,081$  cm.
- Moyenne générale = 92,93 cm
- CV = 4,11% → Très bonne précision expérimentale.

#### Interprétation :

L'essai mené à Oued Souf est statistiquement valide et très précis. La faible valeur du CV ( $4,11\% < 12\%$ ) indique une excellente homogénéité des données et une fiabilité élevée des résultats. Les différences significatives détectées entre génotypes sont donc vraies et interprétables, ce qui permet d'identifier des variétés à fort potentiel ou mieux adaptées à cet environnement.

#### 3.2 Site d'El Meita (Khenchela)

- $F_{cal} = 1,44 < F_{théo} = 3,55$  → Aucune différence significative entre les variétés.
- PPDS 5% = 4,721 cm → non applicable ici car l'ANOVA n'a pas révélé de différence globale.
- Moyenne générale = 92,6 cm
- CV = 5,43% → Bonne précision expérimentale ( $CV < 12\%$ ).

Même si le CV indique que l'essai est précis et crédible, l'ANOVA n'a pas détecté de différences significatives entre les génotypes. Cela peut être dû à :

- Une réponse uniforme des variétés à l'environnement,
- Ou à une variabilité génétique trop faible pour être détectée dans ces conditions.

### 3.3 Site d'El Khroub (Constantine) :

- $F_{cal} = 0,74 < F_{théo} = 3,55 \rightarrow$  Pas de différence significative entre les variétés.
- PPDS 5% = 3,856 cm → non applicable (absence de signification globale).
- Moyenne générale = 118,8 cm
- CV = 3,45% → Excellente précision expérimentale.

#### Interprétation :

L'essai réalisé à Constantine est extrêmement précis (CV très faible), ce qui garantit une bonne qualité des mesures. Cependant, aucune différence statistique n'a été observée entre les variétés, probablement en raison :

- D'un environnement très favorable et homogène, qui égalise la performance des génotypes,
- Ou d'une diversité génétique faible pour ce caractère (hauteur).

### 3.4 Discussion :

Selon Benbelkacem & Sadli (2014), le triticale en Algérie est cultivé dans des conditions très contrastées, allant des sols marginaux aux zones à fort intrants. Ils ont constaté une progression du rendement plus marquée dans les zones semi-arides que dans les environnements plus favorables.

- Application à nos résultats : Notre site d'Oued Souf, aride (saharien) mais bien irrigué, correspond à ce type d'environnement révélateur de potentiel génétique.
- Les résultats montrent que la station d'Oued Souf a permis de révéler des différences significatives entre les génotypes, tandis que Khencela et Constantine n'ont pas montré de différenciation marquée. Ces observations sont cohérentes avec les travaux de Bocianowski et al. (2021), qui ont mis en évidence une interaction forte entre le génotype et l'environnement ( $G \times E$ ) dans l'expression de la hauteur chez le triticale. Leur étude multi-locale a montré que l'irrigation et les conditions édaphiques influencent fortement la capacité à discriminer les variétés.
- De même, Cui *et al.* (2024) ont démontré que dans des contextes semi-arides, la limitation en eau et les températures élevées tendent à réduire la variabilité phénotypique exprimée,

ce qui expliquerait le manque de significativité observé à Khenchela, zone saharienne à contrainte hydrique.

- Les différences observées entre les sites confirment que la hauteur des génotypes est un caractère sensible à l'environnement, notamment aux régimes d'humidité, à la fertilité du sol et au niveau d'irrigation.
- Enfin, selon Gomez & Gomez (1984), un coefficient de variation (CV) inférieur à 12 % indique une bonne précision expérimentale. Dans notre étude, les trois sites respectent ce critère, ce qui confirme la fiabilité des résultats ANOVA, même dans les cas où la significativité n'est pas atteinte.

#### **4. Observation sanitaire du champ :**

Lors des observations réalisées sur le terrain au cours de l'expérimentation, il a été constaté que les parcelles de triticale étaient dans un excellent état phytosanitaire. Les champs étaient presque entièrement exempts de maladies fongiques et très peu envahis par les mauvaises herbes, sans qu'aucune intervention chimique particulière n'ait été notée au préalable. À l'inverse, dans les parcelles voisines semées en blé tendre, une forte infestation de mauvaises herbes a été observée, au point que leur densité dépassait celle des épis de blé dans certaines zones, affectant visiblement le rendement potentiel (figure n°).

Cette observation met en évidence sa forte aptitude à concurrencer les mauvaises herbes. Cette capacité est étroitement liée à sa vigueur de développement initial, à un système racinaire bien développé, ainsi qu'à une fermeture rapide de l'interligne, qui limite l'accès à la lumière pour les adventices et freine leur germination. Ce comportement compétitif permet au triticale de s'imposer naturellement dans le peuplement, réduisant ainsi le recours aux interventions de désherbage. Plusieurs auteurs ont souligné que ces caractéristiques en font une culture particulièrement adaptée aux systèmes de production à faibles intrants, tout en contribuant à une gestion agro-écologique plus durable.

D'un point de vue agronomique, cette supériorité sanitaire du triticale observée sur le terrain traduit un avantage économique et environnemental notable, car elle réduit le besoin en traitements phytosanitaires (désherbants et fongicides), ce qui peut diminuer les coûts de production et limiter l'impact écologique.

L'état sanitaire très satisfaisant des champs de triticale comparé à celui du blé confirme l'intérêt de cette culture dans les systèmes céréaliers algériens. Sa résistance naturelle aux maladies et son pouvoir couvrant efficace en font une alternative sérieuse aux autres céréales

dans les régions à forte pression adventice, notamment dans un contexte de réduction de l'usage des produits phytosanitaires.



*Figure 14 Enherbement au champ.*

• **Discussion :**

Cette observation confirme l'un des avantages agronomiques majeurs du triticale, fréquemment souligné dans la littérature : sa forte compétitivité naturelle vis-à-vis des adventices. Cette propriété résulte de plusieurs facteurs physiologiques et morphologiques, notamment une vigueur de croissance élevée au stade jeune, un système racinaire profond et ramifié, ainsi qu'une couverture rapide et dense du sol, qui limite la disponibilité de la lumière et freine la germination des mauvaises herbes.( Lemerle et Cooper,1993) ont démontré que le triticale réduisait significativement la biomasse des adventices par rapport au blé, grâce à une meilleure occupation de l'espace et une croissance précoce plus dynamique. De même, (le GRDC, 2018) recommande le triticale dans les rotations sans désherbage chimique, en raison de son pouvoir couvrant exceptionnel et de sa capacité d'étouffement naturel des mauvaises herbes. Ainsi, dans un contexte de réduction de l'usage des produits phytosanitaires, le triticale représente une alternative écologique et économique prometteuse pour une gestion durable des cultures.

## 5. Résultats du laboratoire de la cytogénétique :

### 5.1 Remarques générales et contraintes expérimentales :

L'analyse cytogénétique a été réalisée sur dix génotypes de triticale, chacun subdivisé en deux types de grains (grosses graines et petites graines) dans le but d'étudier la relation entre la taille du grain (le phénotype) et le nombre des chromosomes, afin de détecter l'aneuploïdie et son effet sur la germination.

Toutefois, la majorité des génotypes n'ont pas pu être exploités de manière optimale, car nous n'avons pas pu obtenir de cellules en division suffisantes pour observer les plaques métaphasiques au microscope. Ce problème est directement lié aux conditions climatiques au moment de l'expérimentation, et notamment à une température ambiante plus élevée que nécessaire. Une température optimale avoisinant 16 °C est généralement recommandée pour obtenir une germination régulière et des bonnes plaques métaphasiques. Or, les températures enregistrées étaient supérieures, ce qui a eu un double impact négatif :

#### 5.1.1 Sur la germination :

Plusieurs grains ont montré une croissance ralentie ou bloquée, réduisant le nombre de racines exploitables.

#### 5.1.2 Sur l'efficacité du prétraitement à la colchicine :

Son efficacité dépend de la température. Plus la température est élevée, plus le métabolisme cellulaire s'accélère, nécessitant un allongement du temps de prétraitement. Malgré des durées de 3 h 15 min et 3 h 45 min testées, la colchicine n'a pas pu bloquer efficacement la division cellulaire dans la majorité des cas.

Bien que la majorité des génotypes n'aient pas permis un comptage chromosomique précis, il convient de noter que des plaques métaphasiques ont tout de même été observées chez certaines autres variétés. Toutefois, ces préparations n'ont pas pu être exploitées de manière fiable, car les chromosomes apparaissaient fortement condensés et allongés, rendant le dénombrement exact difficile, voire impossible.

Cette condensation excessive peut être attribuée à des conditions sub -optimales du prétraitement ou à des températures élevées, qui influencent la dynamique de la mitose et la qualité de la fixation.

Par conséquent, seuls deux génotypes, **Boutinel** et **El Kouahi**, ont donné des résultats cytogénétiques exploitables, avec des plaques métaphasiques claires permettant un comptage précis des chromosomes ont été étudiés à des basse température.

**5.2 Résultats par variété :****5.2.1 Génotype : Boutinel**

*Figure 15 plaque métaphasique chez le génotype Boutinel (grosse graine) de triticale montrant un nombre chromosomique complet ( $2n = 42$ ), prise au microscope photonique à un grossissement  $\times 100$ .*

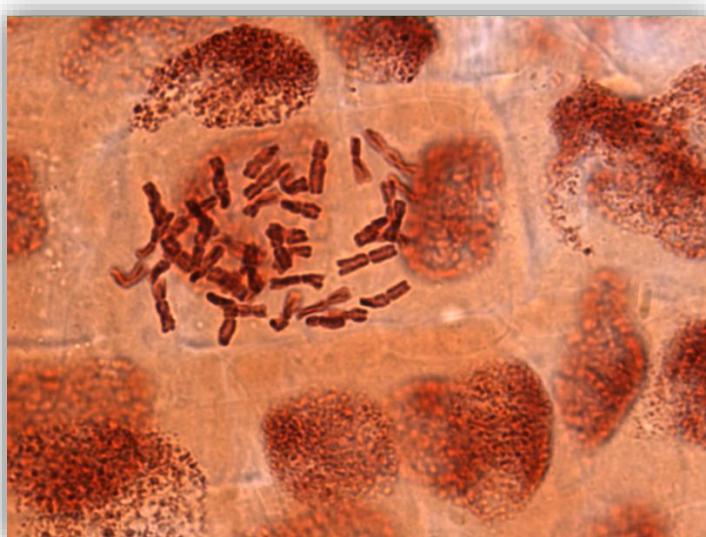


*Figure 16 des chromosomes métaphasiques chez Boutinel (petite graine) révélant une aneuploïdie ( $2n = 40$ ), au microscope photonique, grossissement  $\times 100$ .*

- Grosses Graines : Le comptage a révélé un nombre chromosomique normal de 42 chromosomes ( $2n= 6x = 42$ ), correspondant à un triticale hexaploïde. Cela indique une stabilité chromosomique complète, et suggère un développement embryonnaire normal.

- Petites Graines : Le nombre observé est de 40 chromosomes, indiquant une hypoploïdie (perte de deux chromosomes). Ce type d'aneuploïdie peut altérer le développement du grain, réduire la vigueur germinative, ou entraîner des anomalies phénotypiques.

### 5.2.2 Génotype : El Kouahi :



fg

Figure 17 des chromosomes en métaphase chez le génotype El Kouahi (grosse graine) de triticale montrant une euploïdie ( $2n = 42$ ), prise à  $\times 100$  au microscope photonique.



Figure 18 plaque métaphasique chez El Kouahi (petite graine), montrant une hypoploïdie ( $2n = 40$ ), prise au microscope photonique à un grossissement  $\times 100$ .

**Graines grosses :** Ce génotype présente également un nombre normal de 42 chromosomes dans les grosses graines, ce qui traduit une bonne stabilité génétique.

**Graines petites :** Comme pour Boutinel, les petites graines d'El Kouahi ont montré 40 chromosomes, confirmant un cas d'aneuploïdie hypoploïde.

- Cette anomalie peut compromettre la qualité du grain et sa capacité de germination.

### 5.3Interprétation :

Les résultats obtenus suggèrent une corrélation claire entre la taille du grain et la stabilité chromosomique. Dans les deux génotypes analysés, les grosses graines ont conservé un caryotype normal ( $2n = 42$ ), tandis que les petites graines présentaient une perte chromosomique ( $2n = 40$ ), indiquant une instabilité génétique. Cette observation soutient l'hypothèse selon laquelle l'aneuploïdie affecte négativement le développement embryonnaire, en influençant à la fois la taille, la germination, et la vitalité du grain.

En parallèle, les difficultés techniques rencontrées avec les autres génotypes rappellent l'importance de maîtriser les conditions expérimentales, notamment la température et le temps de prétraitement à la colchicine, pour obtenir des cellules en métaphase. Ces paramètres doivent être rigoureusement contrôlés, d'autant plus que le changement climatique accentue les variations de température, affectant ainsi la reproductibilité des analyses cytogénétiques.

### 5.4Discussion :

L'analyse cytogénétique réalisée dans le cadre de ce travail a permis de mettre en évidence une relation directe entre la taille des grains de triticale et la stabilité chromosomique, en particulier chez les génotypes \*Boutinel\* et \*El Kouahi\*. Chez ces deux variétés, les grosses graines présentaient un nombre chromosomique normal ( $2n = 6x = 42$ ), correspondant au caryotype attendu pour le triticale hexaploïde, alors que les petites graines étaient hypoploïdes ( $2n = 40$ ), traduisant une probable perte chromosomique liée à un phénomène d'aneuploïdie.

Cette observation est conforme aux résultats rapportés par Kerkowicz et Kłosiński (2010), qui ont étudié des lignées andro-génétiques de triticale et identifié une fréquence élevée d'aneuploïdies, notamment chez les individus issus de grains de petite taille. Ils soulignent que la perte de chromosomes est souvent associée à une réduction de la vigueur germinative et à des défauts de développement, ce qui rejoint directement les profils phénotypiques observés dans notre étude. De manière complémentaire, Kwiatek *et al.* (2018) ont confirmé que l'instabilité chromosomique chez le triticale peut résulter de réarrangements inter-génomiques fréquents, touchant particulièrement les chromosomes du génome R (issu du seigle), souvent impliqués dans les cas d'aneuploïdie hypoploïde.

D'un point de vue technique, l'obtention de plaques métaphasiques exploitables a été fortement limitée chez les autres génotypes, bien que quelques figures mitotiques aient été observées. Ce phénomène s'explique par des conditions climatiques défavorables, notamment une température ambiante trop élevée, qui a compromis à la fois la germination des grains et l'efficacité du blocage mitotique par la colchicine. En effet, comme l'ont indiqué Merker (1976) et Weimarck (1975), la température influence directement la qualité des figures chromosomiques ; des températures élevées provoquent une condensation excessive des chromosomes, rendant le comptage difficile, voire impossible. Cela a été observé dans notre étude : les chromosomes de certains génotypes étaient si condensés qu'ils ne pouvaient être individualisés correctement sur les plaques.

L'ensemble de ces résultats suggère que l'aneuploïdie pourrait être un marqueur biologique fiable de la qualité embryonnaire et de la performance germinative des graines. La stabilité chromosomique semble fortement corrélée à la taille des grains, ce qui pourrait offrir un critère de sélection utile pour l'amélioration du triticale. Ces données s'inscrivent dans un contexte plus large, où les variabilités cytogénétiques observées dans le triticale sont connues pour être fréquentes chez les génotypes non fixés, en raison de l'histoire hybride complexe de cette espèce (blé × seigle) et de l'instabilité initiale de ses génomes recombinants.

## 6. Résultats du CNCC :

Les résultats de la germination des graines chez les différentes catégories (grosses et petites) (Tableau N°) indiquent des différences significatives entre les différentes variétés étudiées. En effet, on peut noter qu'il y a un effet inter variétale, c'est à dire que le pouvoir germinatif des différentes variétés est en moyenne différent d'une variété à une autre. Pour les grosses graines le taux de germination varie de 71% chez la variété Meliani à un maximum de 92,66% chez la variété **Chelia** ; et il est pour les petites graines de 63,66% toujours pour la variété Meliani à 81,66% chez **Beni Haroun**. Il est à rappeler que le lot de semence utilisé dans cette étude pour la variété Meliani provient d'un stock assez ancien de quatre ans d'âge ce qui pourrait confirmer cette faible germination chez les différentes catégories de graines.

Une analyse différente nous permet de voir que l'intervalle de germination entre les grosses et petites graines va d'un minimum de 5,33% chez les variétés Boutinel et Elkouahi à un maximum de 16% chez la variété Chelia.

Ces résultats au sein des différents génotypes étaient attendus vu que beaucoup de différences existent dans le comportement des variétés vis à vis des conditions environnementales (sols, climats etc....). Mais les différences au sein des catégories n'étaient pas si évidentes.

**Tableau 18** Germination des différentes catégories de graines chez les variétés de triticale testées.

| Variétés    | M,Grosses | M,Petites | intervalle |
|-------------|-----------|-----------|------------|
| allali      | 81        | 69,33     | 11,67      |
| Batna       | 92        | 78        | 14         |
| beni haroun | 91,33     | 81,66     | 9,67       |
| boutinal    | 83,33     | 78        | 5,33       |
| chelia      | 92,66     | 76,66     | 16         |
| El kouahi   | 79        | 74,33     | 5,33       |
| FD          | 85,33     | 77,33     | 8          |
| Lamb2       | 84,33     | 76        | 8,33       |
| liron       | 88        | 73,66     | 14,33      |
| Meliani     | 71        | 63,66     | 7,34       |

Suite à ces résultats, nous pouvons revenir sur les paramètres essentiels qui régissent la germination d'une plante et qui sont la vigueur et la viabilité des graines.

Parmi les attributs des graines qui peuvent définir le potentiel des graines à produire une plante normale avec un bon rendement et qui peut supporter des conditions environnementales difficiles, les maladies en particulier, la vigueur à la germination représente un élément essentiel (Perry, 1981). Le degré de vigueur d'une plante influence la croissance et le développement au champ même sous des conditions défavorables. Selon Roberts (1972), Perry (1981) et Copeland (1976), les facteurs susceptibles d'influencer le degré de vigueur sont classés comme suit :

- La constitution génétique, les conditions de nutrition à maturité, la grosseur des graines, le poids des graines, la détérioration et l'âge des graines et la présence de pathogènes dans les champs et au stockage dans les magasins. La viabilité quant à elle, est définie comme l'abilité d'une graine à produire une plantule normale (Copeland 1976).

Tenant compte de ce qui est dit par la plupart des auteurs cités plus haut, on voit qu'il y a quand même dans nos résultats certaines faiblesses de germination qu'il faut considérer surtout chez les petites graines

# **CONCLUSION**

## Conclusion

### Conclusion :

Dans un contexte agricole algérien fortement exposé aux effets du changement climatique, à la dégradation des ressources hydriques et à une pression croissante sur la sécurité alimentaire, l'amélioration et la diversification des cultures deviennent une nécessité stratégique. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail, qui a porté sur l'évaluation agronomique et cytogénétique de dix génotypes de triticale ( $\times$  *Triticosecale Wittmack*), une céréale synthétique issue du croisement entre le blé et le seigle, reconnue pour sa rusticité et son adaptabilité à des conditions environnementales défavorables.

L'étude a été structurée autour d'une démarche intégrée combinant expérimentations au champ et analyses en laboratoire. Les essais menés sur trois sites représentatifs de conditions agro-climatiques contrastées ont permis de mettre en évidence une variabilité significative entre les génotypes, aussi bien sur le plan phénotypique que productif. Certains génotypes se sont illustrés par une croissance vigoureuse et une production importante de biomasse dans les zones arides, tandis que d'autres ont montré une bonne aptitude à la production de grain dans des environnements plus tempérés. Ces différences de comportement agronomique ont permis d'envisager une orientation spécifique des variétés selon leur usage, que ce soit pour la production fourragère ou céréalière.

Parallèlement, les analyses cytogénétiques réalisées sur les graines issues des expérimentations ont mis en évidence des déséquilibres chromosomiques variables selon le calibre des semences. Une fréquence accrue d'aneuploidie a été observée dans les graines de petit calibre, avec un effet défavorable sur la vigueur et la capacité germinative. À l'inverse, les graines de gros calibre, bien que présentant parfois des monosomies, ont démontré une stabilité chromosomique plus favorable et une germination plus satisfaisante. Ces observations ont été renforcées par un test de germination effectué au laboratoire, qui a permis de confirmer l'impact direct de la stabilité chromosomique sur la viabilité des semences.

Les résultats obtenus confirment la pertinence d'une évaluation conjointe des paramètres agronomiques et génétiques pour orienter la sélection variétale du triticale. Ils permettent de mieux adapter les recommandations variétales aux différentes zones agroécologiques du pays et d'envisager une amélioration ciblée de la qualité des semences, fondée sur des critères de performance et de stabilité cytogénétique. La complémentarité entre les approches de terrain et les analyses en laboratoire a ainsi permis d'approfondir la compréhension des facteurs qui conditionnent la réussite de cette culture en milieu réel.

Cette étude ouvre des perspectives intéressantes pour la recherche appliquée. L'élargissement du nombre de génotypes testés, l'intégration de nouveaux facteurs de stress abiotiques dans les protocoles expérimentaux et l'utilisation d'outils de biologie moléculaire

## Conclusion

pour le suivi de la stabilité chromosomique constituent des pistes de valorisation futures. De même, le développement de techniques de tri semencier basées sur des indicateurs morphologiques et cytogénétiques pourrait contribuer à améliorer la qualité des lots semenciers et, par conséquent, la réussite de l'implantation des cultures au champ.

En somme, ce travail met en évidence le potentiel agronomique et la plasticité génétique du triticale dans des conditions contrastées. Il souligne également l'importance de maîtriser les aspects liés à l'aneuploïdie pour garantir une production semencière de qualité. Grâce à une sélection rigoureuse et adaptée, cette culture pourrait jouer un rôle clé dans le renforcement de la résilience des systèmes agricoles algériens et dans la transition vers une agriculture durable, productive et mieux adaptée aux défis de demain.

## **BIBLIOGRAPHIE**

## Liste des références bibliographiques

1. Akagun, O. (2013). The importance of triticale in animal feeding and its comparison with other cereals. *Field Crops Research.* (<Https://www.field-crops.org/assets/pdf/product51320f8867a6e.pdf>)
2. Ammar, K., Mergoum, M., & Rajaram, S. (2004). The history and evolution of triticale. In M. Mergoum & H. Gómez-Macpherson (Eds.), *Triticale improvement and production* (pp. 1–10). Food and Agriculture Organization of the United Nations. (<https://www.fao.org/3/y5553e/y5553e00.htm>)
3. Amri, A. (1997). Le triticale : nouvelle céréale productive pour l'agriculture marocaine. In *Le Triticale* (pp. 3–4). INRAEDITIONS.4. Appels, R. (1992). Aneuploidy in triticale: Mechanisms and implications. *Advances in Genetics*, 30, 1–45. [https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(08\)60300-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60300-4)
5. Benbelkacem, A. (2004). Triticale in Algeria. In M. Mergoum & H. Gómez-Macpherson (Eds.), *Triticale improvement and production* (pp. 81–86). Food and Agriculture Organization of the United Nations. (<Https://www.fao.org/3/y5553e/y5553e00.htm>)
6. Benbelkacem, A., & Sadli, F. (2015). Genetic diversity of triticale in Algeria. *Journal of Agricultural Science*, 7(5), 123–130. (<Https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26072575/>)
7. Benbelkacem, A., & Sadli, F. (2024). Triticale development in Algeria : Genetic gains through decades. *Cereal Research Communications.* (<https://read.qxmd.com/read/26072575>)
8. Benbelkacem, A. (1991). Le triticale et les travaux de recherche menés en Algérie. *Céréaliculture*, (25), 9–10.
9. Benmoussa, A., & Houideg, F. (2020). Contribution à l'étude du comportement végétatif De quelques variétés de triticale dans la région d'El Oued \ [Mémoire de fin d'études, Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued]. (<https://dspace.univ-eloued.dz/server/api/core/bitstreams/26a91ce7-6f80-4224-91da-7f52dc3f5fad/content>)
10. Bocianowski, J., et al. (2021). Genotype by environment interaction for plant height in winter triticale. *Euphytica*, 217(26). (<Https://doi.org/10.1007/s10681-021-02807-z>)
11. Boudiaf, A. (2017). Effet du stress salin sur le comportement de l'orge ( *Hordeum vulgare* L.) et du triticale ( *>Triticosecale* Wittmack) \ [Mémoire de master, Université de Tiaret]. (<http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/3445/3/TH.M.SNV.FR.2017.01.pdf>)
12. Bouilly, K. (2004). Impact de facteurs environnementaux sur l'aneuploïdie chez l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, dans le bassin de Marennes-Oléron \ [Thèse de doctorat, Université de La Rochelle]. (<https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/326/31.pdf>)
13. Boujnah, M., & Moudden, M. (1997). Le triticale : composition, technologie et utilisations. In *Le Triticale* (pp. 9–10). INRAEDITIONS.
14. Crevits, C. (2021). Caractérisation phytotechnique et zootechnique de variétés de triticale en agriculture biologique : comment réfléchir leur valorisation en aviculture de chair\ [Mémoire

## Liste des références bibliographiques

- de master, Université de Liège]. [Https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/13092/4/TFE2021\\_Crevits%20Coline.pdf].
15. Cui, L., et al. (2024). Performance of triticale genotypes under different agro-climatic conditions. *Agronomy*, 14(4), 881. (<https://doi.org/10.3390/agronomy14040881>)
16. Elh Mahamadou Addo Abdoul Kader. (2022). Contribution à l'étude d'adaptation et à la caractérisation des quelques variétés des blés du sud saharien et des nouvelles sélections des blés algériens sous les conditions du climat semi-aride de la région de Tlemcen : Cas de la commune de Hennaya \ [Mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen].
17. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). FAO homepage. (<https://www.fao.org/home/en/>)
18. Fossati, D. (1995). Structures du rendement et croissance des grains de triticale : comparaison de génotypes de tailles différentes \ [Thèse de doctorat, École polytechniquefédérale de Zurich]. (<https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/142359/eth-40067-02.pdf>)
19. Fossati, D. (1997). Définition d'idéotypes pour le triticale. *Revue Suisse d'Agriculture*, 29(6), 291–296.
20. Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). Statistical procedures for agricultural research (2<sup>nd</sup> ed., pp. 20–79). Wiley-Interscience. (<https://archive.org/details/statisticalproce00gome>)
21. Grains Research and Development Corporation (GRDC). (2018). Triticale – GrowNotesTM: Northern Region. (<https://grdc.com.au>)
22. Hammouda, D. (2013). Évolution et organisation du génome chez le triticale (xTriticosecale Wittmack) \ [Thèse de doctorat, Université des Frères Mentouri Constantine1].
23. Hormisdas, H. (2008). Étude du comportement et sélection de 15 variétés de triticales cultivées en zone subhumide à Oued Smar en Algérie \ [Mémoire de master, Université Saad Dahlab de Blida]. (<https://www.memoireonline.com/01/14/8556/>)
24. Institut National de la Recherche Agronomique Maroc. (2023). Le triticale. (<https://www.inra.org.ma/sites/default/files/FICHE%20SUR%20LA%20CONDUITE%20TECHNIQUE%20DU%20TRITICALE.pdf>)
25. Kavanagh, V. L., & Hall, P. (2010). Triticale: An overview of its development and potential. In M. Ghislain & J. Smith (Eds.), *Cereal crop innovations*. Google Books. (<https://books.google.dz/books?id=R5aKCgAAQBAJ>)

## Liste des références bibliographiques

26. Keidia, A. Y., & Zermane. (2020). Syndrome de Down : enquête épidémiologique et cytogénétique dans le Nord-Est algérien \ [Mémoire de master, Université des Frères Mentouri Constantine].
27. Kerkowicz, T., & Kłosiński, P. (2010). Aneuploidy among androgenic progeny of hexaploid triticale ( $\times$ Triticosecale Wittmack). *Plant Cell Reports*, 29(1), 123–130.  
(<https://doi.org/10.1007/s00299-009-0807-4>)
28. Kwiatek, M., et al. (2018). Chromosome manipulations for progress of triticale breeding. *Plant Breeding*, 137(6), 823–831. (<https://doi.org/10.1111/pbr.12661>)
29. Lemerle, D., & Cooper, K. (1993). Competitive ability of triticale and wheat with annual ryegrass (*Lolium rigidum*). In M. D. Hayward, N. O. Bosemark, & I. Romagosa (Eds.), *Developments in plant breeding* (Vol. 1, pp. 163–170). Elsevier.  
(<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89383-4.50021-6>)
30. Levain Bio. (2022). Une moisson de céréales : sorgho.  
<https://levainbio.com/cb/crebesc/une-moisson-de-cereales-sorgho/>
31. McGoverin, C. M., Snyders, F., Muller, N., Botes, W., Fox, G., & Manley, M. (2011). À review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(7), 1155–1165. (<https://doi.org/10.1002/jsfa.4338>)
32. Merker, A. (1976). The cytogenetic effect of heterochromatin in hexaploid triticale. *Hereditas*, 83(2), 215–222. (<https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1976.tb01531.x>)
33. Miouat, I., & Seghir, A. (2022). Effets potentiels et mécanismes d'action antioxydants chez (*Triticosecale Wittmack*) et (*Hordeum vulgare L.*) induit par un stress hydrique \ [Mémoire de master, Université Frères Mentouri Constantine 1].
34. Olliewood.fr.2024. Aneuploïdie : qu'est-ce que l'aneuploïdie Causes, types, exemples chez l'homme. Récupéré le 21 juin 2025, de <https://olliewood.fr/aneuploidie-quest-ce-que-laneuploidie-causes-types-exemples-chez-lhomme/>
35. Perspectives agricoles. (2003, janvier). Triticale : des débouchés fourragers assurés. *Perspectives Agricoles*, (289), 40–44.  
([https://www.perspectivesagricoles.com/sites/default/files/imported\\_files/289\\_5195619687997890942.pdf](https://www.perspectivesagricoles.com/sites/default/files/imported_files/289_5195619687997890942.pdf))
36. Sayed, M. E., & Schwarz, O. E. (Eds.). (2015). Triticale. Springer.<https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7>
37. Varughese, G., Barker, T., & Saari, E. (1987). Triticale. CIMMYT. ISBN 968-6127-17-8
38. Weimarck, R. (1975). Seed size and chromosomal stability in octoploid triticale. *Genetics*, 80(1), 123–128.

## Liste des références bibliographiques

39. Zimny, J. (2010). Triticale – a wheat-rye hybrid and its potential in bioethanol production. PMC Biophysics, 3(1), 7. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3057010/>)



Année universitaire : 2024-2025

Présenté par : BENAMER Youmna  
FARID Ouarda

## Comportement de dix génotypes de triticale dans différents environnements algériens et effet du taux d'aneuploïdie sur la germination des graines

### Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie et Génomique Végétale

#### Resumé

Le triticale (*× Triticosecale Wittmack*), issu du croisement entre le blé et le seigle, représente une culture alternative prometteuse, notamment pour les régions soumises à des contraintes agro-climatiques. En Algérie, bien que sa rusticité et sa productivité soient reconnues, son potentiel reste sous-exploité.

Ce travail vise à étudier le comportement agronomique de dix génotypes de triticale dans trois sites contrastés (El Khroub, El Meita, El Oued), tout en évaluant l'effet de l'aneuploïdie sur la germination. L'approche combine des observations en champ (épiaison, hauteur) et des analyses cytogénétiques sur des graines triées par calibre.

Les résultats révèlent une variabilité significative selon les sites et les génotypes. Certaines variétés se démarquent en fourrage ou en grain. L'étude montre également que les petites graines ont un taux d'aneuploïdie élevé, souvent associé à une germination réduite.

Ces données soulignent l'importance d'intégrer la stabilité chromosomique dans les programmes de sélection. L'originalité de ce travail repose sur l'association d'évaluations agronomiques et cytogénétiques, ouvrant la voie à une amélioration ciblée du triticale en Algérie.

**Mots-clefs:** Triticale, contraintes agro-climatique, aneuploidie, germination, stabilité chromosomale.

**Laboratoires de recherche :** Laboratoire de Biochimie Génétique et Biotechnologie Végétale  
Université Constantine 1 Frères Mentouri.

Président : KELLOU Kamel (MAA) Université Mentouri Constantine 1.

Encadrant : BENBELKACEM Abdelkader (Directeur de recherche INRAA).

Examinateur : TEMAGOULT Mahmoud (MAA) Université Mentouri Constantine 1.