

# Effets de la dose de semis sur la croissance et la productivité de l'orge conduite en conditions d'agriculture de conservation dans le Saïss

Nouhaila BENOUSEM<sup>1</sup>, A. ABOUDRARE<sup>2</sup>, R. BOUABID<sup>2</sup>, S. DRISSI<sup>1</sup>, M. FAGROUD<sup>1</sup>, A. ZINE EL ABIDINE<sup>3</sup>

(Reçu le 19/05/2026; Accepté le 25/06/2026)

## Résumé

La présente étude vise à évaluer l'effet de différentes doses de semis sur la croissance, la productivité et la rentabilité économique de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) conduite en Bour en conditions d'agriculture de conservation dans le Saïss (Meknès, Maroc), durant la campagne agricole 2024-2025. Quatre doses ont été ainsi testées: 70 (T1), 100 (T2), 130 (T3) et 160 (T4) kg/ha et, réparties en blocs aléatoires complets avec quatre répétitions. Les résultats ont montré que la dose de semis a un effet significatif sur la majorité des paramètres étudiés. À la levée, la densité des plantes augmente proportionnellement avec la dose de semis, allant de 146 plantes/m<sup>2</sup> pour T1 à 336 plantes/m<sup>2</sup> pour T4. Cependant, les faibles densités (T1) favorisent un tallage plus important par plante, avec T1 enregistrant en moyenne 7 talles/plante à la montaison contre 5 talles/plante pour T4. En termes de croissance verticale, les densités élevées (T4) ont montré une plus grande hauteur de plantes (115,4 cm à l'épiaison), traduisant une compétition accrue pour la lumière et l'étiollement. Toutefois, la matière sèche totale par plante diminue significativement avec l'augmentation de la densité, T1 atteignant en moyenne 9,41 g/plante à la maturité tandis que T4 n'atteint que 3,65 g/plante. La densité d'épis par m<sup>2</sup> augmente significativement avec la dose de semis avec en moyenne 462 épis/m<sup>2</sup> pour T4 et 354 pour T1, mais cela s'accompagne d'une diminution très significative du nombre de grains par épi et d'une tendance à la baisse du poids de mille grains. Concernant les rendements finaux, malgré des variations de moyenne, l'effet de la dose de semis sur le rendement en grains, en paille et le rendement biologique est non significatif. T1 a obtenu, en moyenne, le rendement en grains le plus élevé (46,4 qx/ha), et également le rendement paille (74,6 qx/ha) et biologique (136,3 qx/ha) les plus élevés. La verse, dont l'incidence croît significativement avec la densité de peuplement ( $R^2= 63,2\%$ ) et la hauteur des plantes ( $R^2= 61,6\%$ ), a significativement réduit les composantes individuelles du grain, notamment le PMG ( $R^2= 47,6\%$ ) et le nombre de grains par épi ( $R^2= 62,9\%$ ). Les coûts totaux augmentent avec la dose de semis, passant de 3139 MAD/ha pour T1 à 3481 MAD/ha pour T4. Malgré l'absence de significativité statistique pour les revenus totaux, T1 a généré le revenu total le plus élevé (19315 MAD/ha), tandis que T4 a eu le plus bas (17306 MAD/ha). La marge nette, dont l'analyse de variance tend vers la significativité, est également la plus élevée pour T1 (16176 MAD/ha) et la plus basse pour T4 (13825 MAD/ha).

**Mots clés:** Dose de semis, agriculture de conservation, orge, croissance, productivité, rentabilité économique, Saïss, Maroc

## Effects of seeding rate on growth and productivity of barley grown under conservation agriculture conditions in the Saïss

### Abstract

This study aims to evaluate the effect of different seeding rates on growth, productivity, and economic profitability of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown in rainfed conditions under conservation agriculture in the Saïss region (Meknes, Morocco) during the 2024-2025 growing season. Four seeding rates were tested: 70 (T1), 100 (T2), 130 (T3), and 160 (T4) kg/ha, distributed in randomized complete blocks with four replications. The results showed that the seeding rate had a significant effect on most of the studied parameters. At emergence, plant density increased proportionally with the seeding rate, ranging from 146 plants/m<sup>2</sup> for T1 to 336 plants/m<sup>2</sup> for T4. However, low densities (T1) promote greater tillering per plant, with T1 recording an average of 7 tillers/plant at stem elongation compared to 5 tillers/plant for T4. In terms of vertical growth, high densities (T4) showed greater plant height (115.4 cm at heading), reflecting increased competition for light and reduced etiolation. However, total dry matter per plant decreases significantly with increasing density, with T1 reaching an average of 9.41 g/plant at maturity while T4 only reaches 3.65 g/plant. The density of ears per m<sup>2</sup> increases significantly with the seeding rate, averaging 462 ears/m<sup>2</sup> for T4 and 354 for T1, but this is accompanied by a very significant decrease in the number of grains per ear and a downward trend in thousand-grain weight. Regarding final yields, despite variations in the average, the effect of seeding rate on grain, straw, and biological yield was not significant. Treatment T1 obtained, on average, the highest grain yield (46.4 qx/ha), as well as the highest straw (74.6 qx/ha) and biological (136.3 qx/ha) yields. Lodging, the incidence of which increased significantly with plant density ( $R^2 = 63.2\%$ ) and plant height ( $R^2 = 61.6\%$ ), significantly reduced individual grain components, notably thousand-grain weight ( $R^2 = 47.6\%$ ) and the number of grains per ear ( $R^2 = 62.9\%$ ). Total production costs increased with seeding rate, rising from 3139 MAD/ha for T1 to 3481 MAD/ha for T4. Despite the lack of statistical significance for total income, T1 generated the highest total income (19,315 MAD/ha), while T4 had the lowest (17,306 MAD/ha). Net margin, for which the analysis of variance tends toward significance, was also highest for T1 (16,176 MAD/ha) and lowest for T4 (13,825 MAD/ha).

**Keywords:** Seeding rate, conservation agriculture, barley, growth parameters, productivity, economic profitability, Saïss, Morocco

## INTRODUCTION

Le Maroc est confronté à des défis croissants, principalement exacerbés par les changements climatiques et la rareté de l'eau. Le pays subit une aridité croissante, marquée par une baisse continue des précipitations et une hausse des températures, entraînant des sécheresses prolongées (DGM, 2023). La campagne agricole 2023-2024 a été particulièrement difficile, avec un retard des précipitations qui a impacté les semis et la levée des céréales. La production céréalière nationale a chuté de 43 %, atteignant un niveau historiquement bas de 31,2 millions de quintaux, contre 55,1 millions en 2023 (MAPMDREF, 2024). Cette situation a

contraint le pays à augmenter ses importations de céréales, avec des prévisions de plus de 11 millions de tonnes pour la campagne 2024-2025, soulignant la dépendance et la vulnérabilité du Maroc face à ces aléas (FAO, 2025).

Face à ces enjeux, le Maroc se trouve dans l'obligation de mettre en œuvre des mesures d'adaptation et d'atténuation pour renforcer la résilience de son secteur agricole. Dans ce contexte, l'agriculture de conservation émerge comme une solution prometteuse et adaptée aux conditions climatiques du pays (Kassam *et al.*, 2018). L'optimisation des doses de semis est également un levier essentiel pour réduire les intrants, améliorer l'utilisation de l'eau et réduire les coûts

<sup>1</sup> Département d'Agronomie et d'Amélioration des Plantes, École Nationale d'Agriculture de Meknès, Maroc

<sup>2</sup> Département des Sciences du Sol et de Mécanisme Agricole, École Nationale d'Agriculture de Meknès, Maroc

<sup>3</sup> Domaine West Marocain, El Hajeb, Maroc

de production. Pourtant, malgré la rareté de l'eau les agriculteurs continuent d'adopter des doses de semis élevées, souvent supérieures à 140 Kg/ha, ce qui accentue la compétition pour l'eau et les nutriments et augmente les charges en semences, sans garantir une amélioration des rendements.

Dans ce sens, plusieurs études antérieures ont mis en évidence l'effet significatif de la dose de semis sur les paramètres de croissance et de productivité de l'orge. Ahmed *et al.* (2024) ont montré que des doses de semis élevées induisent des plantes significativement plus hautes, en raison d'une compétition accrue pour la lumière favorisant la croissance verticale au détriment du tallage. De même, Lafond *et al.* (1994), travaillant sur l'orge et le blé en semis direct, ont rapporté que l'augmentation de la dose de semis conduit à une densité d'épis plus élevée par unité de surface. Toutefois, Choqiri *et al.* (2025) ont indiqué, sur blé tendre en semis direct dans le Saïs (Maroc), que cette augmentation s'accompagne d'une diminution du nombre de grains par épi et d'une tendance à la baisse du poids de mille grains. Cette intensification de la compétition à fortes densités pousse la plante à privilégier la formation des épis au détriment du développement individuel des grains, ce qui affecte le rendement final.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude, visant à évaluer l'impact de différentes doses de semis sur les paramètres de croissance et de production de l'orge cultivée en semis direct dans les conditions semi-arides du Saïs au Maroc.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'expérimentation a été menée durant la campagne agricole 2024-2025 à la Ferme Pédagogique et de Recherche de l'École Nationale d'Agriculture de Meknès, située dans la plaine du Saïs (33°50'06"N 5°28'17"W) sur un sol de type Calcixeroll (Tableau 1). Elle a été conduite en agriculture de conservation (semis direct) pour la quatrième année consécutive, succédant à un essai sur blé tendre. Quatre doses de semis d'orge (*Hordeum vulgare* L.) ont été testées: 70, 100, 130 et 160 kg/ha, selon un dispositif en blocs aléatoires complets (DBAC) comprenant quatre répétitions. L'essai couvrait une superficie totale de 2346 m<sup>2</sup>, répartie en 16 parcelles élémentaires de 60 m<sup>2</sup> (20 m × 3 m), chacune composée de 16 rangs espacés de 18 cm. Les traitements ont été attribués de manière aléatoire à l'intérieur de chaque bloc. Les blocs étaient séparés par une distance de 6 mètres selon l'axe nord-sud et de 4 mètres selon l'axe est-ouest, assurant une marge suffisante pour les déplacements du matériel agricole et réduisant les interférences entre traitements. La campagne a été marquée par une sécheresse initiale sévère de septembre à février avec cumul de 194 mm de pluie, exacerbée par des températures élevées favorisant l'évapotranspiration. Le semis, effectué le 16 décembre

2024, a fait face à des cumuls de pluie très faibles en novembre et décembre (respectivement 20 et 14 mm), limitant l'humectation des horizons superficiels. Un redressement pluviométrique majeur est survenu en mars et avril 2025 avec 246 mm (56 % du cumul total), offrant des conditions favorables au remplissage du grain, malgré un mois de mai marqué par un stress thermique (moyenne de 24,5°C) et un arrêt des pluies (2 mm). Le cumul total sur le cycle cultural a été de 356 mm (Figure 1). La fertilisation a consisté en un apport de fond de 250 kg/ha de DAP (18-46-0) au semis, complété par deux apports de couverture de 60 unités d'azote chacun aux stades du début tallage et du début montaison. La gestion des adventices a combiné un traitement herbicide de pré-semis, un traitement antidicotylédone en post-levée et des désherbages manuels. La protection phytosanitaire a été assurée par une intervention insecticide curative et un traitement fongicide préventif contre la rouille et l'oïdium. Les mesures ont porté sur l'établissement des plantules, le nombre de talles, la hauteur des plantes, la densité des épis et le rendement final. L'accumulation de matière sèche aérienne a été déterminée après séchage à l'étuve à 80 °C pendant 48 heures. L'humidité volumique du sol a été mesurée à 20 cm de profondeur aux stades levée, montaison et épiaison à l'aide d'un appareil (FieldScout TDR 300) calibré par rapport à la méthode gravimétrique. À maturité, l'humidité du sol a été déterminée par analyse gravimétrique après séchage des échantillons à 105 °C pendant 24 h. La réserve en eau du sol (mm) a ensuite été estimée à partir de l'humidité volumique du sol. La verse a été évaluée visuellement à maturité (3 mai 2025) selon une échelle de 1 à 9 basée sur le pourcentage de surface affectée. Une analyse de rentabilité économique (coûts fixes et variables) a également été réalisée. Les données ont été soumises à des analyses statistiques via le logiciel IBM SPSS, incluant une ANOVA univariée, une ANCOVA, des tests de régression et le test post-hoc de Student-Newman-Keuls pour la séparation des moyennes.

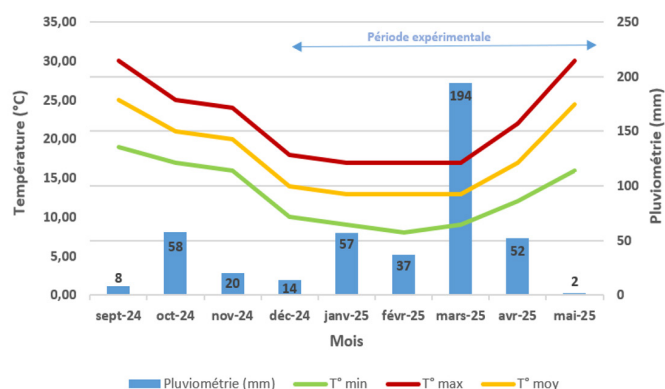


Figure 1: Conditions climatiques sur le site expérimental durant la campagne agricole 2024-2025

Tableau 1: Caractéristiques physico-chimiques du sol durant la campagne agricole 2023-2024 (Choqiri et al., 2025)

Paramètre	Valeur
Taille des particules	19,0 % sable, 48,8 % limon et 32,2 % argile
Texture	Limono-argileux
pH	7,90
Conductivité électrique 1:5 Extrait (dS/m)	0,16
CaCO <sub>3</sub> total (%)	30,4
CaCO <sub>3</sub> actif (%)	4,30
CEC (cmol/kg)	27,4
Capacité au champ (% d'eau dans le sol)	31,4
Point de flétrissement (% d'eau dans le sol)	18,7

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Densité des plantes observée

L'analyse statistique a montré que la dose de semis a un effet significatif sur la densité des plantes à la levée. Le traitement T1 (70 kg/ha) a donné la densité la plus faible avec 146 plantes/m<sup>2</sup>, tandis que T4 (160 kg/ha) a atteint une densité de 336 plantes/m<sup>2</sup>. Les traitements intermédiaires T2 (100 kg/ha) et T3 (130 kg/ha) ont engendré respectivement 206 et 275 plantes/m<sup>2</sup> (Tableau 2). Les densités des plantes observées à la levée correspondent étroitement aux peuplements cibles définis avant le semis pour chaque traitement afin de déterminer les doses de semis correspondantes, montrant une bonne conformité de la démarche de calcul des doses de semis. Les écarts entre les valeurs réelles et les cibles restent faibles, ce qui indique que les pratiques de semis appliquées sont adéquates pour atteindre les densités de peuplement prévues.

### Hauteur des plantes

Les résultats montrent une progression continue de la hauteur des plantes au fil du cycle végétatif, avec des écarts visibles entre les différents traitements, notamment à partir du stade de montaison (Figure 2). Au début du stade tallage, les différences entre les traitements sont faibles. La hauteur moyenne varie de 23,7 cm (T1) à 25,4 cm (T4). Les ressources du milieu sont accessibles, et les plantes mobilisent principalement les réserves du grain pour initier leur développement. Au stade fin tallage, les différences de hauteur montrent une tendance à devenir plus marquées à mesure que la dose de semis augmente. Le traitement T4 atteint 41,1 cm, suivi de T3 à 39,8 cm. Les traitements T2 et T1 enregistrent respectivement 37,3 cm et 36,5 cm. Le stade de la montaison marque une accélération nette de la croissance. Les hauteurs atteignent 62,8 cm (T4), 59,3 cm (T3), 55,3 cm (T2) et 52,2 cm (T1). Les hauteurs maximales sont atteintes à l'épiaison. Le traitement T4 enregistre la valeur la plus élevée avec 115,4

cm, suivi de T3 (108,9 cm), T2 (105,7 cm) et T1 (101,6 cm) (Figure 2). On observe une augmentation progressive de la hauteur avec l'accroissement de la dose de semis, de T1 à T4. Cette tendance s'explique par une compétition lumineuse renforcée (Ahmed *et al.*, 2024). Lorsque le peuplement s'accroît, chaque plante reçoit moins de photons et réagit en augmentant la concentration en auxines et gibbérellines dans les faisceaux d'élongation, ce qui accélère la division et l'allongement cellulaires au niveau des entre-nœuds (Emam et Moaied, 2000; Andoush et Al-Dhahiri, 2020).

### Nombre de talles par plante

Le suivi du développement du tallage révèle une dynamique contrastée selon les doses de semis, caractérisée par une augmentation globale du nombre de talles jusqu'à la montaison, bien que cette progression soit nettement plus marquée pour les faibles densités (Figure 3). Initialement, les écarts entre les traitements sont modestes avec un nombre moyen de talles par plante allant de 2,7 talles/plante pour T4 à 3,2 talles/plante pour T1. Cette relative homogénéité traduit une pression compétitive encore faible. Au stade fin tallage, une tendance se dessine en faveur des faibles densités. Le traitement T1 atteint 6,8 talles/plante, contre seulement 5 pour T4. Au stade de la montaison, une dynamique contrastée s'observe: Le nombre de talles continue de progresser légèrement pour T1 et T2, atteignant respectivement 7,6 et 6,5 talles/plante, alors qu'il diminue légèrement pour T3 (5,3 talles/plante) et reste quasi stable pour T4 (5 talles/plante) (Figure 3). Cette divergence peut être expliquée par deux facteurs majeurs. D'une part, les conditions pluviométriques exceptionnellement favorables enregistrées en mars (159 mm du 1<sup>er</sup> au 18 mars 2025) ont pu stimuler l'apparition tardive de talles herbacées, phénomène physiologique typique de l'orge, notamment dans les semis à faible densité, où les plantes disposent encore de ressources et d'espace pour s'étendre. D'autre part, l'intensification de la compétition inter et intra-plante au sein des

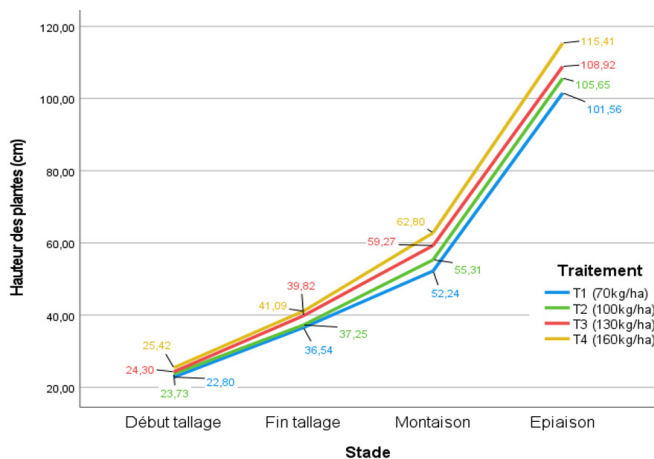


Figure 2: Évolution de la hauteur des plantes sous quatre doses de semis (70, 100, 130 et 160 kg/ha) au cours du cycle de la culture de l'orge en semis direct

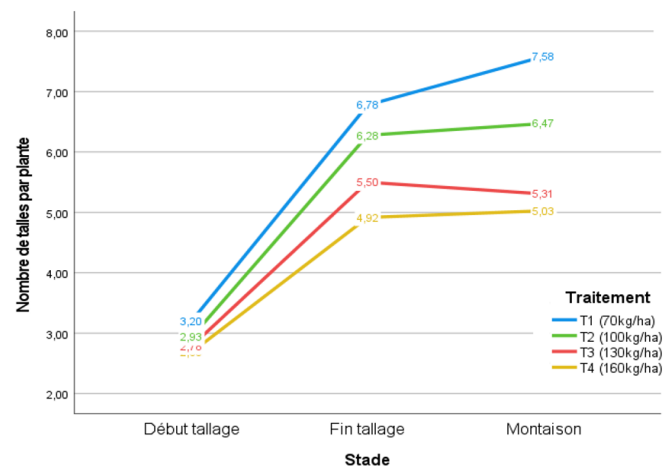


Figure 3: Évolution du nombre de talles par plante sous quatre doses de semis (70, 100, 130 et 160 kg/ha) au cours du cycle de la culture de l'orge en semis direct

Tableau 2: Densité des plantes à la levée et densité de peuplement objectif fixé avant le semis pour les quatre doses de semis de l'orge en semis direct (plantes/m<sup>2</sup>)

Traitement	Densité de plantes observée (plantes/m <sup>2</sup> )	Densité de peuplement objectif (plantes/m <sup>2</sup> )
T1 (70 kg/ha)	146 <sup>a</sup>	150
T2 (100 kg/ha)	206 <sup>b</sup>	200
T3 (130 kg/ha)	275 <sup>c</sup>	250
T4 (160 kg/ha)	336 <sup>d</sup>	300

Les valeurs portant des lettres similaires ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %

semis denses constitue un facteur limitant majeur (Ahmed *et al.*, 2024). Dans ce contexte, la diminution du ratio rouge/rouge lointain (R:FR), en raison de l'ombrage accru, agit comme un signal d'alerte. Médiée par le phytochrome PhyB, cette modification spectrale déclenche une stratégie d'évitement de l'ombre (SAS) qui sacrifie le tallage au profit de la dominance apicale, limitant ainsi le développement des bourgeons axillaires (Kebrom et Brutnell, 2007).

### Accumulation de la matière sèche aérienne

L'accumulation de matière sèche a révélé des différences significatives entre les doses de semis à chaque stade de croissance (Figure 4). Les faibles doses de semis, en particulier le traitement T1, ont constamment montré une matière sèche plus élevée par plante comparativement aux densités plus élevées. Au stade du début tallage, le traitement T1 enregistre la valeur la plus élevée avec 0,5 g/plante, tandis que T4 n'atteint que 0,36 g/plante (Figure 4). Au fur et à mesure de la progression du cycle cultural, ces différences deviennent plus marquées et hautement significatives. À la maturité, le traitement T1 atteint un maximum de 9,41 g/plante, contre seulement 3,65 g/plante pour T4 (Figure 4). Cette forte divergence traduit l'effet cumulatif de la concurrence intra- et interspécifique pour les ressources dans les traitements à forte densité, ainsi que l'effet d'un tallage herbacé développé dans les traitements à faible densité, favorisé par une pluviométrie relativement élevée (159 mm entre le 1<sup>er</sup> et le 18 mars 2025). La forte accumulation de matière sèche individuelle à la récolte résulte principalement du remplissage des grains au niveau des épis. Les faibles densités favorisent un développement optimal des épis, avec un nombre de grains par épi et un poids des grains plus

élevés, ce qui se traduit par une augmentation significative de la biomasse sèche par plante (Choqiri *et al.*, 2025). En revanche, les densités élevées limitent la croissance et la fertilité des épis en raison d'une compétition accrue, affectant la disponibilité de ressources essentielles telles que la lumière, l'eau et les nutriments, indispensables à la synthèse des composés organiques, notamment les protéines et les glucides (Ahmed *et al.*, 2024).

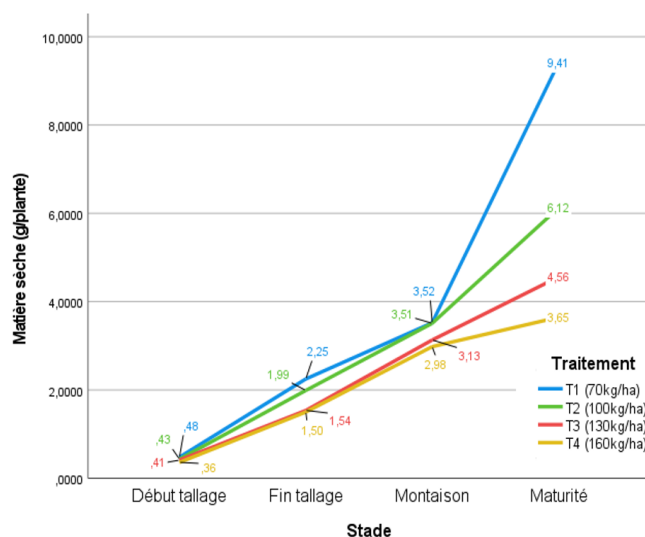
### Transition phénologique

La transition phénologique de l'orge a montré des variations marquées selon les doses de semis tout au long du cycle de développement. En date du 24/01/2025, une proportion plus élevée de plantes dans le traitement T1 (48,8 %) avait déjà atteint le stade début tallage, comparativement à T4 (30,5 %). À partir du 27/02/2025, une inversion de tendance est observée, les densités élevées atteignant plus rapidement le stade de début montaison (58,3 % pour T3 et 33,3% pour T4). Cette dynamique se confirme jusqu'à l'épiaison (03/04/2025), où le traitement T4 a atteint ce stade à raison de 69,5%, contre seulement 11,1% pour T1 (Tableau 3). Les densités de peuplement élevées (T3 et T4) ont conduit à une transition plus rapide vers les stades reproducteurs, malgré un retard initial dans les stades végétatifs. Les plantes réagissent à la compétition accrue pour les ressources en accélérant leur développement vers la reproduction. La montée en épi et la maturation plus précoces constituent des réponses adaptatives aux conditions de sécheresse. En effet, sous des conditions de faible disponibilité en eau, l'orge accélère sa transition vers les stades reproducteurs afin de minimiser l'impact du stress hydrique. Cette stratégie permet aux plantes de compléter leur cycle de vie avant que la sécheresse n'affecte leur développement (Ceccarelli, 1996; Jana *et al.*, 1990). En revanche, les doses de semis plus faibles augmentent le nombre de jours nécessaires pour atteindre les stades de floraison, de remplissage des grains et de maturité complète (Ejaz *et al.*, 2003).

### Composantes de rendement

#### Densité d'épis

Les densités d'épis augmentent de manière significative avec l'augmentation des doses de semis (Tableau 4). Le traitement T1 présente une densité moyenne de 354 épis/m<sup>2</sup>, tandis que le traitement T2 atteint 363 épis/m<sup>2</sup>. Le traitement T3 enregistre une densité moyenne de 437 épis/m<sup>2</sup>. Enfin, le traitement T4 affiche la densité la plus élevée avec 462 épis/m<sup>2</sup>, soit une augmentation de 108 épis/m<sup>2</sup> par rapport à T1 (Tableau 4). Cette tendance est cohérente avec les observations de Choqiri *et al.* (2025) ainsi qu'avec les résultats de Dofing et Knight (1994), qui ont également mis en évidence une augmentation significative de la densité d'épis avec l'accroissement des doses de semis.



**Figure 4: Évolution de la matière sèche aérienne par plante (en grammes) pour les quatre doses de semis testées (70, 100, 130 et 160 kg/ha) au cours du cycle de la culture de l'orge en semis direct**

**Tableau 3: Distribution des stades phénologiques (en pourcentage de plantes) selon différentes densités de semis**

Date d'observation	Stade phénologique	Traitement (Dose de semis, Kg/ha)			
		T1 (70 Kg/ha)	T2 (100 Kg/ha)	T3 (130 Kg/ha)	T4 (160 Kg/ha)
24/01/2025	Début tallage	48,8 % <sup>a</sup>	42,5 % <sup>ab</sup>	37,3 % <sup>b</sup>	30,5 % <sup>c</sup>
27/02/2025	Début montaison	16,7 %	8,3 %	58,3 %	33,3 %
17/03/2025	Gonflement	5,6 %	11,1 %	13,9 %	16,7 %
03/04/2025	Épiaison	11,1 % <sup>a</sup>	22,2 % <sup>a</sup>	61,1 % <sup>b</sup>	69,5 % <sup>b</sup>

Les valeurs portant des lettres similaires ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %

### Rendement grain

Les résultats obtenus n'ont montré aucun effet significatif de la dose de semis sur le rendement grain, bien que des variations tendancielle de moyenne soient observées (Tableau 4). Le traitement T1 présente un rendement moyen de 46,4 qx/ha. Les rendements diminuent ensuite pour les densités plus élevées, avec des moyennes de 42,0 qx/ha pour T2, 42,2 qx/ha pour T3, et 40,4 qx/ha pour T4 (Tableau 4). Ce résultat met en évidence l'efficacité de la capacité de compensation de l'orge. En effet, à faible densité de peuplement, les plantes compensent leur nombre réduit par une productivité individuelle accrue, notamment grâce à un meilleur tallage, un nombre plus élevé de grains par épi et un poids de mille grains PMG plus important. Par conséquent, il n'est pas nécessaire d'utiliser des doses de semis élevées.

### Rendement paille

Le rendement paille, qui constitue une part majeure de la biomasse totale, n'a pas été significativement influencé par la dose de semis, bien qu'une tendance numérique à la baisse des valeurs moyennes soit observée. Le rendement le plus élevé est obtenu à la densité la plus faible, T1 avec 74,6 qx/ha, diminuant jusqu'à 68,2 qx/ha pour T4 (Tableau 4). En bénéficiant de plus d'espace et de ressources, chaque plante a pu développer une biomasse végétative (paille) plus importante, ce qui a permis de compenser le

nombre de plantes réduit par mètre carré. Ce phénomène explique pourquoi le rendement paille reste globalement comparable entre les densités, malgré les tendances de la littérature (Choqiri *et al.*, 2025) qui indiquent souvent qu'une dose de semis plus élevée génère une biomasse totale supérieure en raison d'une meilleure occupation du sol.

### Rendement biologique

L'analyse du rendement biologique a révélé que les différences entre les doses de semis ne sont pas statistiquement significatives, malgré une tendance numérique à la baisse. Le rendement le plus élevé a été observé à la plus faible densité T1, avec 136,3 qx/ha, diminuant jusqu'à 122,6 qx/ha pour T4 (Tableau 4).

### Réserve en eau du sol

La réserve en eau du sol sur les 20 premiers centimètres a présenté une évolution similaire pour l'ensemble des traitements au cours du cycle de l'orge, avec toutefois une tendance à des réserves plus élevées sous les faibles densités de semis (Figure 5). À la levée, les réserves étaient homogènes entre traitements, avec des valeurs proches de 39 mm, traduisant une disponibilité hydrique initiale uniforme. Au stade montaison, les réserves ont atteint leur maximum, avoisinant 50 mm pour toutes les densités, en raison des fortes précipitations enregistrées avant cette période. En revanche, à l'épiaison, une diminution plus marquée des réserves en eau a été observée sous les fortes

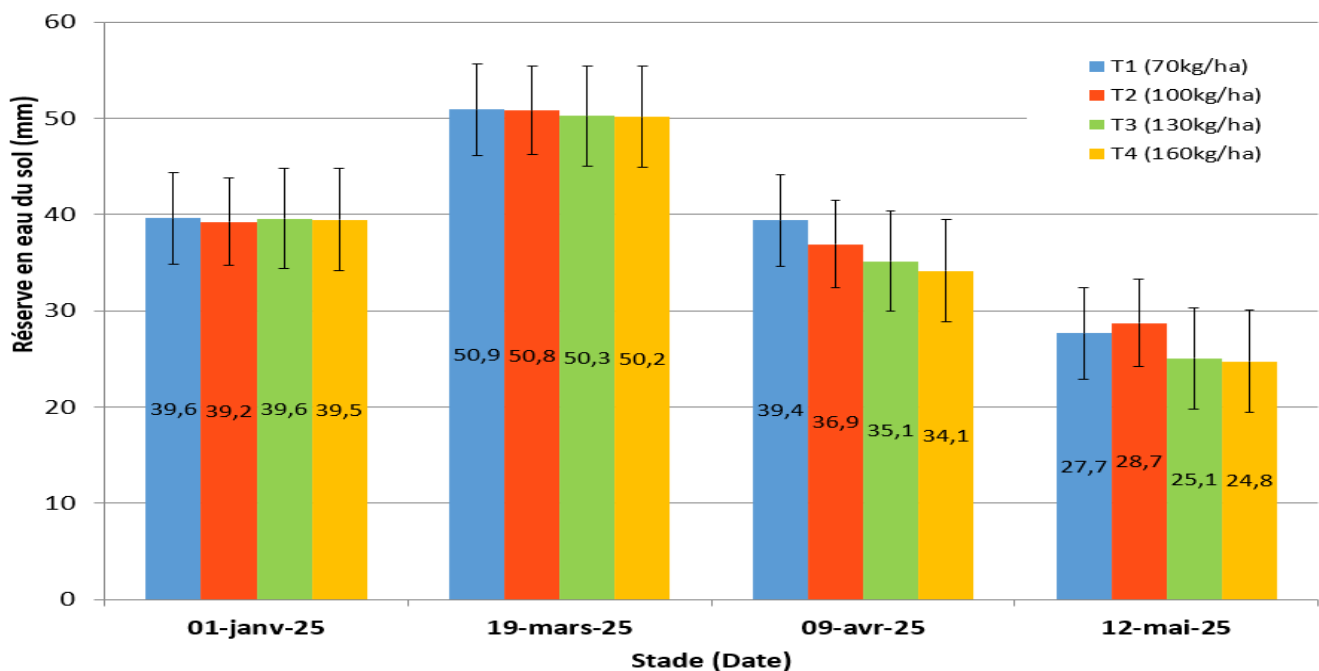
**Tableau 4: Effet des doses de semis sur la densité des épis, le rendement grain, le rendement paille et le rendement biologique de l'orge en système de semis direct au cours de la campagne agricole 2024/2025**

Traitement	Densité d'épis (épis/m <sup>2</sup> )	Rendement grain* (qx/ha)	Rendement paille** (qx/ha)	Rendement biologique* (qx/ha)
T1 (70 kg/ha)	354 <sup>a</sup>	46,4 ± 9,6	74,6 ± 8,3	136,3 ± 16,0
T2 (100 kg/ha)	363 <sup>a</sup>	42,0 ± 4,4	69,2 ± 6,5	125,3 ± 9,3
T3 (130 kg/ha)	437 <sup>b</sup>	42,2 ± 4,6	68,3 ± 8,0	124,5 ± 12,9
T4 (160 kg/ha)	462 <sup>b</sup>	40,4 ± 5,6	68,2 ± 9,3	122,6 ± 15,7

Les valeurs portant des lettres similaires ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %

\*Rendements correspondant au rendement réel récolté sur le site expérimental et mesuré au laboratoire.

\*\*Rendement paille déterminé en coupant les plantes à ras du sol dans les parcelles expérimentales.



**Figure 5: Évolution de la réserve en eau du sol (mm) à 0-20 cm de profondeur pour les quatre doses de semis testées**

densités, passant de 39,4 mm pour T1 à 34,2 mm pour T4 (Figure 5). Cette tendance s'est maintenue à la maturité, où les traitements à faibles densités ont conservé des réserves légèrement supérieures comparativement aux fortes densités. Bien que les différences entre traitements ne soient pas statistiquement significatives, ces résultats révèlent une consommation hydrique plus importante sous les densités élevées, liée à une compétition accrue entre plantes pour l'eau disponible. Des observations similaires ont été rapportées par Kirby (1970), qui a montré que les fortes densités accélèrent l'épuisement des réserves hydriques du sol en fin de cycle chez l'orge.

### Effizienz d'utilisation de l'eau (EUE)

Malgré l'absence de différences statistiquement significatives entre les traitements, une tendance décroissante de l'effizienz d'utilisation de l'eau (EUE) a été observée avec l'augmentation de la dose de semis. Le traitement T1 a enregistré la valeur d'EUE la plus élevée avec 11,6 kg/mm/ha, tandis que T4 a présenté la plus faible valeur avec 9,99 kg/mm/ha (Figure 6). Bien que la consommation totale en eau soit restée globalement similaire entre les différentes densités de semis, la dynamique d'utilisation de cette eau a varié au cours du cycle cultural, comme l'a également rapporté Kirby (1970). Les fortes densités ont tendance à extraire rapidement l'eau du sol en début de cycle, notamment après les précipitations, sans toutefois parvenir à maintenir ces réserves aux stades avancés. À

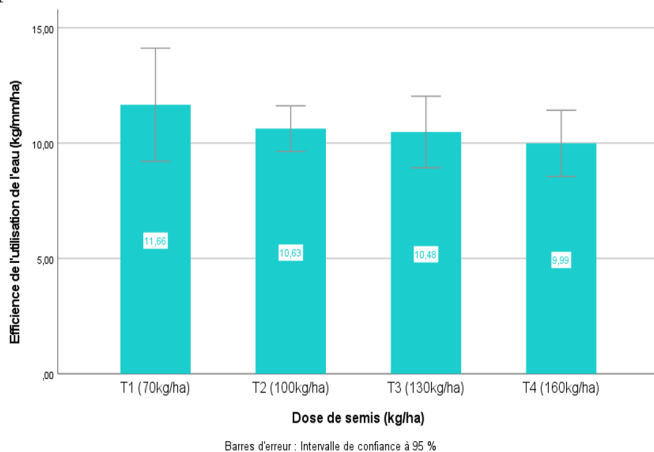


Figure 6: Effizienz de l'utilisation de l'eau (kg/mm/ha) selon les doses de semis dans un système de semis direct

l'inverse, les faibles densités semblent assurer une gestion plus progressive et équilibrée de l'eau disponible, leur permettant de conserver des réserves hydriques plus favorables et d'améliorer l'effizienz de conversion de l'eau en biomasse.

### Verse de l'orge: facteurs déterminants et impacts sur le rendement et ses composantes

La verse physiologique représente un accident cultural majeur, capable d'engendrer de sévères pertes de rendement et une altération significative de la qualité des récoltes, dont les causes, souvent multifactorielles, sont bien identifiées. L'analyse de nos données met en lumière la contribution des pratiques culturales et des conditions environnementales à ce phénomène, notamment les doses de semis, les précipitations importantes du mois de mars (194 mm) et le double apport de l'azote de couverture (60 kg/ha au stade tallage et 60 kg/ha à la montaison).

Une augmentation progressive et significative du score de la verse a été montrée à mesure que la densité de peuplement augmente (Figure 7a). En moyenne, le traitement T1 présente le score le plus faible (3,4), indiquant une moindre incidence de la verse. Ce score augmente à 4,8 pour T2, puis à 7,6 pour T3, et atteint son maximum pour T4 avec 8,4. Cette augmentation de la verse avec la densité de peuplement est attribuable à l'étiollement, dans la mesure où la verse s'accroît proportionnellement à la hauteur des plantes (Figure 7b). Ce phénomène, induit par une compétition intraspécifique accrue pour la lumière dans les peuplements denses, entraîne un allongement excessif des tiges. Une telle croissance verticale compromet l'intégrité structurelle de la base des tiges et réduit leur capacité de soutien, augmentant ainsi la susceptibilité à la verse (O'Donovan et al., 2011).

Les résultats obtenus ont révélé que l'incidence accrue de la verse affecte négativement les caractéristiques individuelles du grain (Tableau 5). Elle est associée à une réduction significative du poids de mille grains (PMG) et du nombre de grains par épi. Cependant, les analyses n'ont révélé aucune relation statistiquement significative entre le score de la verse et les rendements globaux (rendement grains ( $R^2=0,0777$ ; Sig. = 0,064), rendement paille ( $R^2=0,0044$ ; Sig. = 0,664) et rendement biologique ( $R^2=0,0309$ , Sig. = 0,248) (Tableau 5).

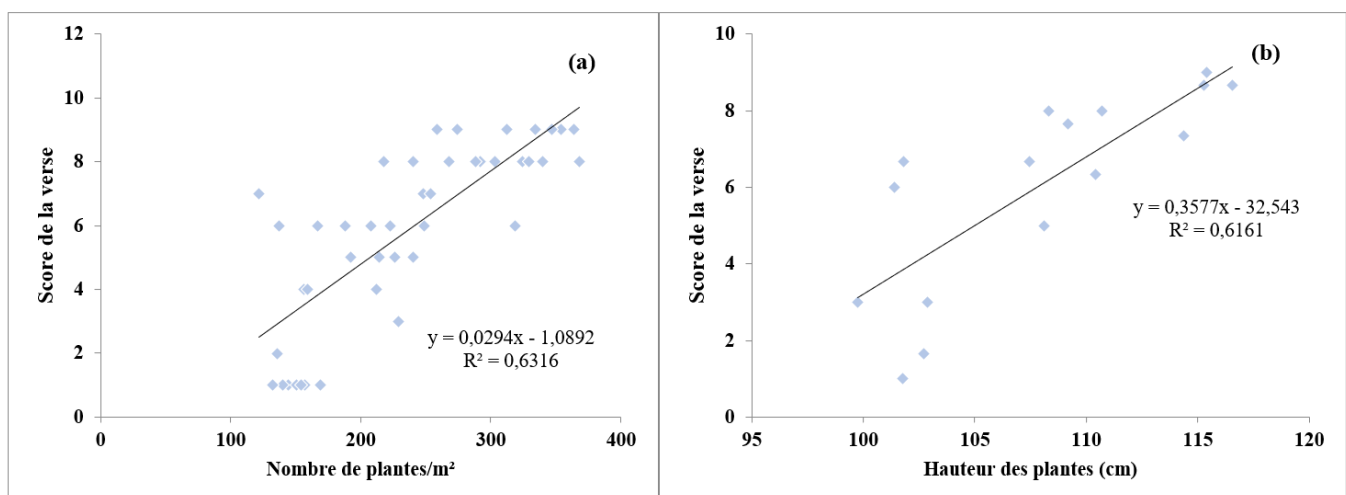


Figure 7: Relations de régression linéaire entre le score de la verse et (a) le nombre de plantes par m², et (b) la hauteur des plantes

## Analyse économique

L'augmentation des doses de semis entraîne une hausse proportionnelle des coûts des semences. En effet, le passage de la plus faible dose de semis (T1 à 70 kg/ha) à la plus élevée (T4 à 160 kg/ha) fait passer le coût des semences de 266 MAD/ha à 608 MAD/ha; soit une augmentation de 128,6 %. Cette différence se répercute directement sur le coût total de production. Ce dernier passe de 3 139 MAD/ha pour T1 à 3 481 MAD/ha pour T4 (Tableau 6). Dans les contextes climatique et économique actuels marqués par une dépendance croissante aux importations de semences, l'optimisation de la dose de semis prend une importance stratégique pour la sécurité et la souveraineté semencière du pays. Elle permet d'économiser jusqu'à 120 kg/ha de semences, ce qui offre la possibilité d'étendre les superficies cultivées. Pour les agriculteurs, notamment en cas de grandes superficies, chaque kilogramme de semences économisé se traduit par une réduction significative de l'investissement initial.

L'analyse des revenus totaux par hectare présente une tendance claire à la baisse avec l'augmentation des doses de semis (Tableau 6). Le revenu total le plus élevé est enregistré pour T1, avec 19 315 MAD/ha. Il diminue ensuite progressivement pour atteindre 17 306 MAD/ha pour T4. Il est à noter que la part de la paille dans le revenu total reste très importante, oscillant entre 58,0 % et 59,1 %, soulignant sa contribution majeure à l'économie de la culture.

L'analyse de variance des marges nettes a révélé des tendances très claires: une diminution progressive a été constatée à mesure que la dose de semis augmente. La marge nette est la plus élevée pour T1, s'élevant à 16 176 MAD/ha. Elle diminue ensuite de manière continue, passant à 14 473 MAD/ha pour T2, 14 260 MAD/ha pour T3, et atteignant son niveau le plus bas à 13 825 MAD/ha pour T4 (Tableau 6).

## CONCLUSION

La présente étude a mis en évidence l'influence significative de la dose de semis sur les performances de croissance et de production de la culture de l'orge conduite en système d'agriculture de conservation dans le Saïs, dans un contexte marqué par les défis climatique et économique. Elle a révélé des différences marquées entre les traitements. Les densités élevées (T4) garantissent un établissement initial plus dense, avec une forte population de plants à la levée (336 plantes/m<sup>2</sup>), ce qui induit une compétition intraspécifique intense. Cette concurrence se manifeste par une tendance à l'étiollement, les plantes développant une plus grande hauteur (115,4 cm pour T4 à épiaison) au détriment d'une croissance individuelle robuste. À l'inverse, les faibles densités (T1) favorisent le développement d'individus plus vigoureux, comme en témoigne un tallage significativement plus élevé (7,6 talles/plante pour T1 contre environ 5,0 pour T4 à montaison) et une accumulation de matière sèche par plante bien supérieure à maturité (9,4 g/plante pour T1 contre 3,7 g/plante pour T4). Cette dynamique de croissance influence directement la formation des composantes du rendement.

La densité d'épis par m<sup>2</sup> augmente significativement avec la dose de semis avec en moyenne 462 épis/m<sup>2</sup> pour T4 et 354 pour T1, mais cela s'accompagne d'une diminution très significative du nombre de grains par épi et d'une tendance à la baisse du poids de mille grains. Concernant les rendements finaux, malgré des variations de moyenne, l'effet de la dose de semis sur le rendement en grains, en paille et le rendement biologique est non significatif. T1 a obtenu, en moyenne, le rendement en grains le plus élevé (46,4 qx/ha), et également le rendement paille (74,6 qx/ha) et biologique (136,3 qx/ha) les plus élevés.

**Tableau 5: Résultats des analyses de régression et de signification statistique (ANOVA) entre le score de la verse et les composantes de rendement de l'orge conduite en semis direct à différentes doses de semis**

Variables corrélées (Y en fonction de X)	Équation de régression (Y = aX + b)	Coefficient de détermination (R <sup>2</sup> )	Signification statistique (ANOVA)
Score de la verse vs. PMG	y = -0,6358 x + 39,8	R <sup>2</sup> = 0,476	Sig. <0,001
Score de la verse vs. Nombre de grains par épi	y = -1,3978 x + 38,4	R <sup>2</sup> = 0,629	Sig. <0,001
Score de la verse vs. Rendement grain	y = -0,6675 x + 46,7	R <sup>2</sup> = 0,078	Sig. = 0,064
Score de la verse vs. Rendement paille	y = -0,1952 x + 70,8	R <sup>2</sup> = 0,004	Sig. = 0,664
Score de la verse vs. Rendement biologique	y = -0,9027 x + 132,0	R <sup>2</sup> = 0,031	Sig. = 0,248

**Tableau 6: Analyse économique comparative des différentes doses de semis pour l'orge en système de semis direct (MAD/ha)**

Densité de semis (kg/ha)	T1 (70 kg/ha)	T2 (100 kg/ha)	T3 (130 kg/ha)	T4 (160 kg/ha)
Coûts totaux	3 139	3 253	3 367	3 481
Coût des semences (MAD/ha)	266	380	494	608
Différence par rapport à T1	MAD/ha	+ 114	+ 228	+ 342
	%	+ 42,9	+ 85,7	+ 128,6
Revenu total (MAD/ha)	19 315	17 726	17 627	17 306
Part de la paille dans le revenu total (%)	58,0	58,5	58,1	59,1
Différence du revenu total par rapport T1	MAD/ha	-1 589	-1 688	-2 009
	%	-8,23	-8,74	-10,4
Marge nette (MAD/ha)	16 176	14 473	14 260	13 825
Différence par rapport à T1	MAD/ha	-1 703	-1 916	-2 351
	%	-10,5	-11,8	-14,5

Les paramètres hydriques ont également montré que les faibles densités de semis assuraient une gestion plus efficiente de l'eau disponible. Bien que les différences observées entre traitements ne soient pas statistiquement significatives, les faibles densités ont maintenu des réserves en eau du sol légèrement plus élevées aux stades avancés du cycle, alors que les fortes densités ont présenté une extraction plus rapide des réserves hydriques. Cette dynamique s'est traduite par une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau pour T1 (11,6 kg/mm/ha) comparativement à T4 (9,99 kg/mm/ha).

Ensuite, concernant la verse, phénomène dont l'incidence augmente significativement avec la dose de semis et la hauteur des plantes, nos analyses ont révélé un impact négatif très significatif sur les composantes individuelles du grain: réduction du PMG ( $R^2=0,476$ ) et du nombre de grains par épi ( $R^2=0,629$ ). Cependant, il est notable que la verse n'a pas entraîné de réduction statistiquement significative des rendements globaux (grains, paille, biologique).

L'analyse économique a souligné l'importance de la dose de semis pour la rentabilité. Les coûts totaux augmentent linéairement avec la dose de semis (de 3 139 MAD/ha pour T1 à 3 481 MAD/ha pour T4), principalement en raison des coûts des semences (passant de 266 MAD/ha pour T1 à 608 MAD/ha pour T4, soit une augmentation de 128,6%). Parallèlement, et de manière contre intuitive pour certains, les revenus totaux, bien que non significatifs, ont tendance à diminuer avec l'augmentation de la dose de semis (de 19 315 MAD/ha pour T1 à 17 306 MAD/ha pour T4). Cette combinaison des coûts croissants et de revenus décroissants se reflète dans la marge nette. En effet, T1 génère la marge nette la plus élevée (16 176 MAD/ha), tandis que T4 présente la plus faible (13 825 MAD/ha).

### Remerciements

Les auteurs adressent leurs vifs remerciements à MM. Belguellaf Karim, Mustapha Aliate, Mustapha Baroudi, Sarsri Abdeslam, Bilal Jriri, Brahim Berthé, Jaafar Fadil et Najim Acharbaoui pour leur contribution précieuse à la mise en place et à la conduite de l'essai.

### RÉFÉRENCES

- Ahmed L.K., Hameed N.A. (2024). Effect of seeding rate and spraying different levels of kinetin on some physiological and growth traits of barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Journal of Life Science and Agriculture Research*, 3: 316–321.
- Andush A.H.R., Al-Dhahiri I.A. (2020). Effect of plant density on the growth and productivity of three varieties of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Misrata University Journal of Agricultural Sciences*, 1: 495–506.
- Ceccarelli S. (1996). Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica*, 92: 203–214.
- Choqiri A., Aboudrare A., Bouabid R., Drissi S., Fagroud M., Zine El Abidine A. (2025). Effects of seeding rate on growth parameters and yield components of soft wheat in a no-till system in the Saïs area of Morocco. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 6: 85–91.
- DGM (Direction Générale de la Météorologie) (2023). Maroc, État du Climat du Maroc en 2022. [https://www.marocmeteo.ma/sites/default/files/climat\\_report/pdfs/Maroc\\_Etat\\_Climat\\_2023.pdf](https://www.marocmeteo.ma/sites/default/files/climat_report/pdfs/Maroc_Etat_Climat_2023.pdf) (Consulté en décembre 2024).
- Dofing S.M., Knight C.W. (1992). Heading synchrony and yield components of barley grown in subarctic environments. *Crop Science*, 32: 1377–1380.

Ejas H., Wajid A.S., Shed A.A., Jehan B., Tilah M. (2003). Effect of different planting dates, seed rates and N levels on wheat. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2: 467–474.

Emam Y., Moaied G.R. (2000). Effect of planting density and chlormequat chloride on morphological and physiological characteristics of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivar Valfajr. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 2: 75–83.

FAO (2025). Morocco country brief. <https://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=MAR&lang=fr> (Consulté en avril 2025).

Jana S., Srivastava J.R., Damania A.B., Clarke J.M., Yang R.C., Pecetti L. (1990). Phenotypic diversity and associations of some drought related characters in durum wheat in the Mediterranean region. In J. R. Srivastava, A.B. Damania (Eds.), *Wheat genetic resources: meeting diverse needs*. John Wiley and Sons.

Kassam A., Friedrich T., Derpsch R. (2018). Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*. 76: 29–51.

Kebrom T.H., Brutnell T.P. (2007). The molecular analysis of the shade avoidance syndrome in the grasses has begun. *Journal of Experimental Botany*, 58: 3079–3089.

Lafond G.P. (1994). Effects of row spacing, seeding rate and nitrogen on yield of barley and wheat under zero-till management. *Canadian Journal of Plant Science*, 74: 703–711.

Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts (2024). Performances de la campagne agricole 2023–2024. <https://www.agriculture.gov.ma/fr/actualites/performances-de-la-campagne-agricole-2023-2024> (Consulté en décembre 2024).

O'Donovan J.T., Turkington T.K., Edney M.J., Clayton G.W., McKenzie R.H., Juskiw P.E., Lafond G.P., Grant C.A., Brandt S., Harker K.N., Johnson E.N., May W.E. (2011). Seeding rate, nitrogen rate, and cultivar effects on malting barley production. *Agronomy Journal*, 103: 709–716.