

ORIGINAL ARTICLE

Évaluation de la valeur agronomique de l'orge dans différentes conditions climatiques à Lubumbashi, province du Katanga, République démocratique du Congo



Evaluation of the Agronomic Value of Barley under Different Climatic Conditions in Lubumbashi, Katanga Province, Democratic Republic of the Congo

| Hugor Malonga ^{1*} | Emille MUTUNDA ¹ | Merveille BANZA ² | Joseph SENDWE ³ | Hervé KABAMBA ⁴ | et | Victor Ndbualonji ⁵ |

^{1*, 1, 2} Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Lubumbashi | Lubumbashi | R. D. Congo |

³ Chercheur indépendant | Lubumbashi | R.D. Congo |

⁴ Chercheur indépendant | Lubumbashi | R.D. Congo |

⁵ Université de Lubumbashi | Faculté de Médecine Vétérinaire | Unité de Biochimie | Lubumbashi | R.D. Congo |

| DOI: 10.5281/zenodo.15557645 | | Received May 13, 2025 | | Accepted May 28, 2025 | | Published June 02, 2025 | | ID Article | Hugor-Ref9-5-20ajiras130525 |

RESUME

Introduction : L'orge est un genre de plantes annuelles de la famille des Poacées (graminées), largement cultivée comme céréale pour l'alimentation animale, humaine et pour la brasserie. En brasserie, les grains d'orges sont utilisés après le maltage pour la fabrication de la bière. La République Démocratique du Congo en importe la totalité suite au besoin qui est permanent, mais la réponse semble presque inexistante. Ainsi, produire l'orge en République Démocratique du Congo principalement dans la ville de Lubumbashi reste un défi à relever pour palier au problème d'importation. **Objectifs :** L'objectif principal de notre étude était d'évaluer la qualité brassicole de quatre variétés d'orge pour le maltage cultivées dans les conditions climatique de Lubumbashi en République Démocratique du Congo. **Méthodes :** Les analyses au laboratoire ont portées sur les paramètres brassicoles (taux d'humidité, germination, poids de de mille grains, protéines) tout en observant l'influence de la saison et celle de la variété ainsi que leurs interactions grâce à l'outil statistique R. **Résultats :** les résultats obtenus montrent que, les analyses issues de la production de la saison sèche ont exprimées globalement des tendances intéressantes sur la majorité des paramètres contrairement à la saison de pluie. Les variétés HOR 6765 et 5929 ont exprimé une bonne qualité. **Conclusions :** Au terme de ce travail, nous pouvons relever ce qui suit : la saison a eu de l'influence sur la qualité de l'orge à malter dont les tendances positives ont été portées sur la saison sèche dans la majorité des paramètres observés. Les variétés HOR 6765 et HOR 5929 ont exprimé une bonne qualité pour la plupart des paramètres observés. Donc, il est possible de produire une orge de qualité brassicole en saison sèche dans les conditions climatique de Lubumbashi, Haut Katanga République Démocratique du Congo.

Mots clés : Orge, variété, saison, paramètres, agronomiques, rendement, phytopathologique, corrélation, rentabilité.

ABSTRACT

Introduction: Barley is a genus of annual plants in the Poaceae (grasses) family, widely grown as a cereal for animals, human and brewing food. In brewing, barley grains are used after malting to make beer. The Democratic Republic of Congo imports all of it due to the need that is permanent, but the answer seems almost non-existent. Thus, producing barley in the Democratic Republic of Congo, mainly in the city of Lubumbashi, remains a challenge to overcome the import problem. **Objectives:** The main objective of our study was to evaluate the malting quality of four varieties of barley for malting grown in the climatic conditions of Lubumbashi in the Democratic Republic of Congo. **Methods:** Laboratory analyses focused on brewing parameters (moisture content, germination, thousand grain weights, and proteins) while observing the influence of the season and that of the variety as well as their interactions using the statistical tool R. **Results:** The results obtained show that the analyses from the production of the dry season expressed overall interesting trends on the majority of parameters, unlike the rainy season. HOR varieties 6765 and 5929 expressed good quality. **Conclusions:** At the end of this work, we can note the following: the season had an influence on the quality of malting barley, whose positive trends were carried over to the dry season in the majority of the parameters observed. Varieties HOR 6765 and HOR 5929 showed good quality for most of the observed parameters. Therefore, it is possible to produce malting quality barley in the dry season in the climatic conditions of Lubumbashi, Haut Katanga Democratic Republic of Congo.

Keywords: Barley, variety, season, parameters, agronomics, yield, phytopathological, correlation, profitability.

1. INTRODUCTION

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) figure parmi les espèces cultivées les plus anciennes, avec des traces remontant à 7000 ans avant J.C. Elle occupe actuellement la quatrième place mondiale des céréales après le blé, le riz et le maïs (Bruno, 2018 ; Rekik et al., 2016 ; Hallab, 2016) [1,2,3]. Cette céréale polyvalente est utilisée pour l'alimentation animale, la consommation humaine et la production de malt pour la brasserie, constituant ainsi un aliment fondamental dans plusieurs régions du monde, notamment en Afrique du Nord, au Proche-Orient et en Asie. Sa consommation moyenne annuelle par personne varie considérablement selon les régions, oscillant entre 2 et 36 kg (Bruno, 2018 ; Rekik et al., 2016 ; Saulnier, 2012) [1,2,4].

L'importance agronomique de l'orge repose principalement sur sa rusticité et sa remarquable capacité d'adaptation aux diverses conditions climatiques et édaphiques. Toutefois, sa production et sa qualité sont limitées par de nombreuses contraintes biotiques, incluant les infections fongiques, virales, bactériennes et les attaques de ravageurs, ainsi que par des facteurs abiotiques comme la salinité, la sécheresse et les températures extrêmes (Kadi, 2018 ; Sergio et al., 2016 ; Ajib, 2013) [5,6,7]. L'optimisation des rendements de cette culture nécessite l'application de techniques culturales appropriées - travail du sol, fertilisation et traitements phytosanitaires - mais également le développement de nouvelles variétés performantes adaptées aux différents environnements de culture (Hallab, 2016 ; Bouchet, 2011) [3,8].

À l'échelle mondiale, la consommation de bière poursuit une croissance constante, particulièrement stimulée par les marchés émergents, établissant régulièrement de nouveaux records. Le malt, constituant principal de la fabrication de la bière, conditionne directement la qualité du produit final. Répondre à cette demande croissante implique nécessairement une augmentation des besoins en malt brassicole et, par conséquent, en orge brassicole de qualité. Les tendances actuelles de l'industrie maltière visent une meilleure maîtrise et un contrôle plus rigoureux des procédés afin de satisfaire les exigences accrues des clients et les spécifications précises des cahiers des charges. Les malteurs doivent ainsi produire du malt répondant à des critères physico-chimiques et sanitaires stricts (Budour, 2013 ; Hocine, 2021) [9,10].

La qualité brassicole de l'orge est étroitement liée à son potentiel technologique, bien qu'aucune variété ne puisse être considérée comme parfaite pour la production de malt. En effet, la composition et la structure de l'orge sont influencées par divers facteurs tels que l'année de récolte, le type d'orge (à deux ou six rangs), le site de culture et la variété utilisée. Une évaluation complète de la qualité brassicole nécessite l'analyse de 4 à 7 paramètres physiques et chimiques spécifiques (Bruno, 2018 ; Budour, 2013 ; Autran, 2016) [1,9,10]. Par ailleurs, l'utilisation prédominante de l'orge comme fourrage explique que le kilogramme d'orge serve encore aujourd'hui d'unité de référence pour mesurer la valeur énergétique des rations animales, une unité fourragère (UF) équivalant à un kilogramme d'orge (Saulnier, 2012 ; Zairi, 2015) [4,11].

En République Démocratique du Congo (RDC), et particulièrement à Lubumbashi dans la province du Haut-Katanga, la production locale d'orge constitue un défi majeur à relever. L'importation partielle ou totale de cette céréale et de ses dérivés entraîne une perte considérable de devises pour le pays et limite les opportunités de développement économique local. La récente crise russo-ukrainienne a mis en évidence les risques associés à une dépendance excessive aux importations céréalières, notamment pour le blé, l'orge et le malt (Marta et al., 2017 ; Sabine et Winfriede, 2014) [12,13].

Les besoins annuels de consommation en céréales et leurs dérivés en RDC sont estimés à 14,1 millions de tonnes, alors que le pays présente une capacité de production extrêmement limitée. Cette situation conduit à des importations céréalières massives et à d'importantes pertes de devises. À titre d'exemple, pour la seule année 2018, les valeurs d'importation ont atteint 26.085.000 USD pour le malt d'orge, 195.731.000 USD pour la farine de blé et 35.318.000 USD pour les aliments infantiles (Hugor, 2022) [14]. Dans ce contexte, notre étude vise à évaluer les caractères brassicoles de l'orge dans les conditions climatiques spécifiques de Lubumbashi, avec l'objectif de contribuer au développement d'une production locale adaptée aux besoins de l'industrie brassicole régionale.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Type d'étude et design expérimental

Cette recherche a consisté en une étude analytique expérimentale visant à évaluer les caractéristiques technologiques et brassicoles de quatre variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) cultivées dans les conditions agro climatiques de Lubumbashi. L'étude a couvert deux saisons de culture distinctes : la saison sèche (mai à septembre 2019-2020) et la saison des pluies (novembre à mars 2020-2021), permettant ainsi d'évaluer l'influence des conditions saisonnières sur les paramètres

brassicoles. Chaque variété a été cultivée sur trois parcelles expérimentales de 25 m² (5 m × 5 m) par saison, selon un dispositif en blocs aléatoires complets avec trois répétitions.

2.2. Milieu d'étude

2.2.1. Localisation géographique

L'étude a été menée à Lubumbashi, chef-lieu de la province du Haut-Katanga en République Démocratique du Congo. Les essais agronomiques ont été implantés sur le site expérimental de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lubumbashi (UNILU), situé à 11°39' de latitude Sud et 27°28' de longitude Est, à une altitude moyenne de 1230 m.

2.2.2. Caractéristiques pédoclimatiques

Le climat de Lubumbashi est du type Cw selon la classification de Köppen, caractérisé par une saison sèche (mai à septembre) et une saison des pluies (novembre à mars), avec des mois de transition en avril et octobre. La température moyenne annuelle est de 20°C, avec des précipitations moyennes annuelles de 1270 mm, principalement concentrées pendant la saison des pluies. Des échantillons de sol ont été prélevés dans l'horizon 0-30 cm avant l'installation des essais pour déterminer les propriétés physico-chimiques du sol. Les analyses ont révélé un sol ferralitique typique avec les caractéristiques suivantes : texture argilo-sableuse (43% d'argile, 15% de limon et 42% de sable), pH (eau) de 5,8, teneur en matière organique de 2,3%, capacité d'échange cationique (CEC) de 14,5 méq/100g, et des teneurs en N, P et K respectivement de 0,12%, 8,4 ppm et 0,24 méq/100g.

2.2.3. Infrastructures et équipements analytiques

Les analyses des paramètres brassicoles ont été effectuées au sein de deux laboratoires spécialisés de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lubumbashi. Le Laboratoire de Pédologie, doté d'équipements adaptés à l'analyse physico-chimique des sols et des végétaux, a permis l'évaluation de certaines caractéristiques essentielles des échantillons. Parallèlement, le Laboratoire de Mycorhizes, spécialisé dans les analyses physiologiques et biochimiques des matières végétales, a contribué à l'approfondissement des données liées à la qualité brassicole. Ces deux laboratoires sont accrédités pour réaliser des analyses selon des protocoles normalisés, conformément aux standards internationaux de l'European Brewery Convention (EBC) et de l'American Society of Brewing Chemists (ASBC), garantissant ainsi la fiabilité et la validité scientifique des résultats obtenus.

2.3. Matériel biologique

Quatre variétés d'orge à deux rangs (*Hordeum vulgare* L. subsp. *distichum*) ont constitué le matériel biologique de cette étude :

HOR 2774 : variété d'origine éthiopienne, cycle végétatif de 110-115 jours,

HOR 5929 : variété d'origine éthiopienne, cycle végétatif de 105-110 jours,

HOR 4288 : variété d'origine irlandaise, cycle végétatif de 120-125 jours,

HOR 6765 : variété d'origine irlandaise, cycle végétatif de 115-120 jours.

Ces variétés ont été obtenues auprès de la banque de germoplasme du Centre International d'Agriculture Tropicale (CIAT), antenne de Lubumbashi, avec les certificats phytosanitaires appropriés. Toutes les variétés ont été cultivées simultanément dans les mêmes conditions agro-environnementales pour chaque saison étudiée. Les semences utilisées présentaient un taux de pureté variétale supérieur à 99% et une faculté germinative initiale supérieure à 95%.

2.4. Conduite de l'expérimentation

2.4.1. Pratiques culturales

Les parcelles expérimentales ont été préparées deux semaines avant le semis par un labour à 30 cm de profondeur, suivi d'un hersage croisé pour obtenir un lit de semence fin et uniforme. Une fertilisation de fond a été appliquée avant semis à raison de 50 kg N/ha, 40 kg P₂O₅/ha et 40 kg K₂O/ha sous forme d'engrais composé NPK (17-17-17).

Le semis a été réalisé manuellement en lignes espacées de 20 cm, à une profondeur de 2-3 cm, avec une densité de semis de 300 grains/m². Un désherbage manuel a été effectué trois semaines après le semis puis renouvelé selon les besoins. Une fertilisation azotée complémentaire a été appliquée au stade tallage à raison de 40 kg N/ha sous forme d'urée (46% N). Pour la saison sèche, une irrigation d'appoint a été pratiquée par aspersion pour maintenir l'humidité du sol à environ 70% de la capacité au champ, avec un suivi tensiométrique hebdomadaire.

2.4.2. Échantillonnage

À maturité complète (teneur en humidité des grains inférieure à 14%), les parcelles ont été récoltées manuellement. Pour limiter les effets de bordure, seuls les 16 m² centraux de chaque parcelle ont été considérés pour la récolte. Pour chaque variété et chaque saison, trois échantillons composites de 2 kg ont été prélevés après homogénéisation du lot récolté. Les échantillons ont été nettoyés pour éliminer les impuretés (pailles, grains cassés, grains d'autres céréales, matières inertes) puis conditionnés dans des sacs en polypropylène tissé doublés d'un sac en polyéthylène hermétique. Les échantillons ont été conservés en chambre climatisée à 15°C ± 2°C et 60% ± 5% d'humidité relative jusqu'aux analyses, qui ont été réalisées dans un délai maximum de 30 jours après la récolte.

2.5. Détermination des paramètres brassicoles

2.5.1. Teneur en humidité

La teneur en humidité des échantillons d'orge a été déterminée selon la méthode EBC 3.2 (2019) à l'aide d'un analyseur de grains à infrarouge (modèle Grain Analyzer 1650, Perten Instruments, Suède), préalablement étalonné avec des échantillons standards. Pour chaque analyse, un échantillon de 500 g ± 0,1 g de grains a été utilisé, avec trois répétitions par échantillon. Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'humidité (% m/m) avec une précision de 0,1%.

2.5.2. Poids de mille grains (PMG)

Le poids de mille grains a été déterminé selon la méthode EBC 3.4 (2019). Pour chaque échantillon, huit sous-échantillons de 100 grains ont été prélevés aléatoirement, nettoyés pour éliminer toute impureté, puis pesés individuellement sur une balance analytique de précision (modèle AX224, Sartorius AG, Allemagne) avec une précision de 0,1 mg. Le PMG a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{PMG (g)} = (\text{Somme des poids des 8 sous-échantillons de 100 grains} / 8) \times 10$$

Les résultats ont été exprimés en grammes, avec une précision de 0,1 g, et normalisés à 0% d'humidité selon la formule :

$$\text{PMG}_0 = \text{PMG} \times [100 / (100 - H)] \quad (1)$$

Où :

PMG₀ : est le poids de mille grains à 0% d'humidité,

H : est la teneur en humidité de l'échantillon en pourcentage.

2.5.3. Teneur en protéines brutes

La teneur en protéines brutes a été déterminée selon la méthode de Kjeldahl (EBC 3.3.1, 2019), en trois étapes :

Minéralisation : 1,00 g ± 0,01 g d'échantillon broyé (granulométrie < 0,5 mm) a été introduit dans un tube de minéralisation avec 12 mL d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄, 96%) et un catalyseur à base de sulfate de cuivre. La minéralisation a été réalisée à 420°C pendant 2 heures dans un bloc digesteur (modèle DK6, VELP Scientifica, Italie).

Distillation : Après refroidissement, le minéralisat a été dilué avec 50 mL d'eau distillée puis alcalinisé avec 40 mL de solution de soude (NaOH, 32%) dans un distillateur semi-automatique (modèle UDK 149, VELP Scientifica, Italie). La distillation a été effectuée pendant 5 minutes, avec recueil de l'ammoniac dans 25 mL d'une solution d'acide borique à 4% contenant un indicateur mixte (rouge de méthyle et vert de bromocrésol).

Titration : Le distillat a été titré avec une solution d'acide chlorhydrique (HCl, 0,1 N) jusqu'au virage de l'indicateur du vert au rose. Un essai à blanc a été réalisé simultanément.

La teneur en azote total a été calculée selon la formule :

$$\% \text{ N} = [(V_1 - V_0) \times N \times 14,007 / (m \times 1000)] \times 100 \quad (2)$$

où :

V₁ = volume d'HCl utilisé pour l'échantillon (mL),

V₀ = volume d'HCl utilisé pour l'essai à blanc (mL),

N = normalité de la solution d'HCl (0,1 N),

m = masse de l'échantillon (g).

14,007 = masse atomique de l'azote

La teneur en protéines brutes a été calculée en multipliant la teneur en azote par le facteur de conversion spécifique pour l'orge :

$$\% \text{ PB} = \% \text{ N} \times 6,25 \quad (3)$$

Les résultats ont été exprimés en pourcentage de matière sèche (% MS) avec une précision de 0,1%.

2.5.4. Capacité germinative

La capacité germinative a été déterminée selon la méthode EBC 3.5.1 (2019). Pour chaque échantillon, quatre répétitions de 100 grains ont été prélevées aléatoirement. Les grains ont été placés dans des boîtes de Petri (diamètre 90 mm) contenant deux disques de papier filtre Whatman n°1 préalablement humidifiés avec 4 mL d'eau distillée stérile. Les boîtes de Petri ont été incubées à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dans une chambre de germination (modèle MIR-154, Sanyo, Japon) dans l'obscurité.

Les grains germés (définis comme les grains dont la radicule a percé le tégument et atteint une longueur au moins égale au diamètre du grain) ont été comptés quotidiennement pendant 5 jours. Les grains présentant des signes d'infection fongique ont été notés séparément. La capacité germinative a été calculée selon la formule :

$$\text{Capacité germinative (\%)} = (\text{Nombre de grains germés après 5 jours} / \text{Nombre total de grains}) \times 100 \quad (4)$$

Les résultats ont été exprimés en pourcentage avec une précision de 0,1%.

2.6. Analyses statistiques

Toutes les analyses ont été réalisées en triplicata et les résultats exprimés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type et pourcentage. Les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (variété et saison) suivie du test de comparaison multiple de Tukey lorsque des différences significatives ($p < 0,05$) étaient détectées.

3. RESULTAS

Le tableau 1 présente la composition moyen et écarts types de l'effet saison, l'effet variétés et l'interaction de tous les échantillons de l'orge sur l'humidité, le poids de mille grains, la germination et la protéine.

Tableau 1 : Effet saison, effet variétés et interaction de l'humidité, poids de mille graines, germination et protéine totale.

Traitements	Humidité (%)	Poids de mille grains (g)	Germination (%)	Protéine (%)
Effet Saison				
Saison des pluies	14,38 $\pm$ 0,32 b	42,63 $\pm$ 1,64 b	72,50 $\pm$ 19,6 a	11,15 $\pm$ 0,65 b
Saison sèche	15,79 $\pm$ 0,56 a	44,94 $\pm$ 0,43 a	64,17 $\pm$ 19,29 b	12,18 $\pm$ 0,58 a
Effet variété				
HOR 2774	15,22 $\pm$ 0,84 A	42,87 $\pm$ 2,14 A ?	51,67 $\pm$ 7,53 C	11,56 $\pm$ 0,33 AB
HOR 5929	14,95 $\pm$ 1,09 A	44,15 $\pm$ 1,48 A ?	50,00 $\pm$ 6,32 C	11,19 $\pm$ 0,66 B
HOR 4288	15,13 $\pm$ 0,82 A	43,33 $\pm$ 1,60 A ?	80,00 $\pm$ 6,32 B	12,49 $\pm$ 0,61 A
HOR 6765	15,03 $\pm$ 0,85 A	44,78 $\pm$ 0,90 A ?	91,67 $\pm$ 7,53 A	11,42 $\pm$ 0,93 AB
Interaction saison x variété				
SP HOR 2774	14.5 $\pm$ 0.44 a	41 $\pm$ 1 b	56.67 $\pm$ 5.77 a	11.30 $\pm$ 0.26 cd
SP HOR 5929	14.43 $\pm$ 0.40 a	42 $\pm$ 1 b	83.33 $\pm$ 5.77 a	12.01 $\pm$ 0.18 bc
SP HOR 4288	14.23 $\pm$ 0.25 a	43 $\pm$ 1.25 ab	53.33 $\pm$ 5.77 a	10.67 $\pm$ 0.47 d
SP HOR 6765	14.33 $\pm$ 0.29 a	44.5 $\pm$ 1.32 a	96.67 $\pm$ 5.77 a	10.60 $\pm$ 0.26 d
SS HOR 2774	15.93 $\pm$ 0.12 a	44.73 $\pm$ 0.15 a	46.67 $\pm$ 5.77 a	11.81 $\pm$ 0.06 bc
SS HOR 5929	15.83 $\pm$ 0.21 a	44.67 $\pm$ 0.23 a	76.67 $\pm$ 5.77 a	12.97 $\pm$ 0.47 a
SS HOR 4288	15.67 $\pm$ 1.17 a	45.3 $\pm$ 0.72 a	46.67 $\pm$ 5.77 a	11.71 $\pm$ 0.22 bc
SS HOR 6765	15.73 $\pm$ 0.49 a	45.07 $\pm$ 0.12 a	86.67 $\pm$ 5.77 a	12.23 $\pm$ 0.31 ab
P effet saison	0***	0***	0.003*	0***
P effet variété	0.825 Ns	0.004 *	0 ***	0 ***
P effet interaction	1 Ns	0.029*	0.917Ns	0.045*

Légende : *, **, *** Signification à 5%, 1%, 0.1%. **Ns** : non significatif. **SP** : saison de pluie. **SS** : saison sèche. **HOR** : variété. Les valeurs sont exprimées en moyenne $\pm$ écart-type. Les lettres minuscules différentes (a, b, c, etc.) dans une même colonne indiquent des différences significatives entre les moyennes selon le test de Tukey HSD à $p < 0,05$, dans le cadre de l'interaction saison $\times$ variété. Les lettres majuscules différentes (A, B, C, etc.) indiquent des différences significatives entre les variétés, indépendamment de la saison, selon le même test.

1. Influence de la saison sur les paramètres brassicoles

1.1. Teneur en humidité

La teneur en humidité des grains d'orge diffère significativement ($p < 0,001$) entre les deux saisons de culture. Les échantillons issus de la saison sèche présentent une teneur en humidité significativement plus élevée ($15,79 \pm 0,56\%$) que ceux de la saison des pluies ($14,38 \pm 0,32\%$). Cette différence, bien que contre-intuitive à première vue, peut s'expliquer par les conditions contrôlées d'irrigation appliquées pendant la saison sèche, qui ont assuré une alimentation hydrique plus régulière que les précipitations naturelles parfois erratiques de la saison des pluies. De plus, la maturation des grains en saison sèche s'est probablement déroulée dans des conditions d'humidité atmosphérique plus élevée lors de la récolte.

Cette variation de teneur en humidité reste toutefois dans la plage acceptable pour une orge brassicole de qualité (généralement entre 12% et 16%). Selon les normes EBC et celles des malteurs industriels, une teneur en humidité inférieure à 14,5% est recommandée pour un stockage optimal, ce qui suggère que les grains récoltés en saison des pluies présentent un avantage pour la conservation.

1.2. Poids de mille grains (PMG)

Le PMG constitue un indicateur crucial de la qualité brassicole car il renseigne sur le remplissage du grain et son potentiel d'extraction. Les résultats montrent un effet significatif de la saison ($p < 0,001$), avec des valeurs supérieures en saison sèche ($44,94 \pm 0,43$ g) par rapport à la saison des pluies ($42,63 \pm 1,64$ g). Cette différence s'explique probablement par les conditions de culture plus contrôlées en saison sèche, notamment l'irrigation régulière qui a permis un meilleur remplissage des grains. Les périodes de stress hydrique parfois observées en fin de saison des pluies peuvent en effet limiter l'accumulation d'amidon dans le grain. De plus, les températures plus modérées et l'ensoleillement optimal de la saison sèche à Lubumbashi ont probablement favorisé la photosynthèse et donc le transfert des assimilats vers les grains. Selon les standards internationaux de qualité brassicole, un PMG supérieur à 40 g est généralement considéré comme satisfaisant. Les valeurs obtenues pour les deux saisons dépassent ce seuil, mais les grains issus de la saison sèche présentent un avantage potentiel pour le rendement en extrait de malt.

1.3. Capacité germinative

La capacité germinative présente également des différences significatives entre les saisons ($p = 0,003$), mais contrairement aux paramètres précédents, c'est la saison des pluies qui affiche des valeurs supérieures ($72,50 \pm 19,60\%$) par rapport à la saison sèche ($64,17 \pm 19,29\%$). Cette observation est particulièrement importante car la capacité germinative constitue un critère déterminant pour la qualité brassicole. La diminution de la capacité germinative en saison sèche pourrait s'expliquer par les températures plus élevées durant la phase de maturation, qui peuvent induire une dormance secondaire ou altérer la viabilité de l'embryon. De même, la transition brutale entre les phases d'irrigation et d'assèchement en fin de cycle cultural pourrait avoir provoqué un stress physiologique affectant la qualité germinative des grains. Il convient toutefois de noter que malgré cette différence, les valeurs moyennes pour les deux saisons restent inférieures au seuil de 95% généralement exigé par l'industrie brassicole, ce qui suggère la nécessité d'optimiser davantage les conditions de culture ou d'envisager des traitements post-récolte pour améliorer ce paramètre.

1.4. Teneur en protéines

La teneur en protéines diffère significativement entre les saisons ($p < 0,001$), avec des valeurs plus élevées en saison sèche ($12,18 \pm 0,58\%$) qu'en saison des pluies ($11,15 \pm 0,65\%$). Cette différence peut être attribuée à plusieurs facteurs :

- Une meilleure efficacité de la fertilisation azotée en conditions d'irrigation contrôlée,
- Une minéralisation plus efficace de la matière organique du sol en saison sèche,
- Des conditions de photosynthèse plus favorables permettant une meilleure synthèse et accumulation des protéines.

Pour l'industrie brassicole, la teneur optimale en protéines se situe généralement entre 9,5% et 11,5%. Des teneurs trop élevées peuvent affecter négativement la qualité de la bière en provoquant des troubles colloïdaux et en réduisant la stabilité de la mousse. De ce point de vue, les échantillons issus de la saison des pluies (11,15%) se situent dans la plage idéale, tandis que ceux de la saison sèche (12,18%) dépassent légèrement la limite supérieure recommandée.

2. Influence de la variété sur les paramètres brassicoles

2.1. Teneur en humidité

L'analyse de variance ne révèle aucune différence significative de teneur en humidité entre les variétés ($p = 0,825$). Cette homogénéité indique que le comportement hydrique des quatre variétés à la récolte est similaire, malgré leurs origines géographiques différentes (Éthiopie et Irlande). Ce résultat suggère que le facteur variétal n'est pas déterminant pour ce paramètre dans les conditions de Lubumbashi, et que les pratiques de récolte et de séchage peuvent être standardisées pour toutes les variétés.

2.2. Poids de mille grains

Le PMG varie significativement entre les variétés ($p = 0,004$). La variété HOR 6765 présente le PMG le plus élevé ($44,78 \pm 0,90$ g), suivie par HOR 5929 ($44,15 \pm 1,48$ g) et HOR 4288 ($43,33 \pm 1,60$ g), qui ne diffèrent pas significativement entre elles. La variété HOR 2774 affiche le PMG le plus faible ($42,87 \pm 2,14$ g). Ces différences reflètent les caractéristiques génétiques intrinsèques de chaque variété et leur capacité d'adaptation aux conditions édapho-climatiques de Lubumbashi. Il est intéressant de noter que les deux variétés d'origine irlandaise (HOR 6765 et HOR 4288) présentent des comportements distincts, ce qui souligne l'importance des caractéristiques génotypiques spécifiques au-delà de l'origine géographique.

D'un point de vue brassicole, toutes les variétés présentent des PMG supérieurs à 40 g, ce qui est favorable pour le rendement en extrait de malt. Cependant, les variétés HOR 6765 et HOR 5929 apparaissent comme les plus prometteuses pour ce critère.

2.3. Capacité germinative

La capacité germinative varie très significativement entre les variétés ($p < 0,001$). La variété HOR 6765 se distingue par une capacité germinative nettement supérieure ($91,67 \pm 7,53\%$), suivie par HOR 4288 ($80,00 \pm 6,32\%$). Les variétés HOR 2774 et HOR 5929 présentent des valeurs significativement plus faibles, respectivement de $51,67 \pm 7,53\%$ et $50,00 \pm 6,32\%$. Cette forte variabilité inter variétale peut s'expliquer par des différences de sensibilité aux conditions environnementales de Lubumbashi, notamment aux températures élevées et aux variations d'humidité. Les variétés irlandaises (HOR 6765 et HOR 4288) semblent mieux adaptées de ce point de vue, probablement grâce à une meilleure stabilité génétique ou à des mécanismes physiologiques plus efficaces pour maintenir la viabilité de l'embryon. Pour l'industrie brassicole, seule la variété HOR 6765 approche le seuil minimal de 95% de capacité germinative généralement requis, ce qui en fait la variété la plus prometteuse pour ce critère fondamental.

2.4. Teneur en protéines

La teneur en protéines diffère significativement entre les variétés ($p < 0,001$). La variété HOR 4288 présente la teneur la plus élevée ($12,49 \pm 0,61\%$), suivie par HOR 2774 ($11,56 \pm 0,33\%$) et HOR 6765 ($11,42 \pm 0,93\%$). La variété HOR 5929 affiche la teneur la plus faible ($11,19 \pm 0,66\%$). Ces différences reflètent les caractéristiques génétiques propres à chaque variété en termes de métabolisme azoté et de capacité d'accumulation des protéines dans le grain. Du point de vue brassicole, les variétés HOR 5929 et HOR 6765 présentent les teneurs en protéines les plus proches de la plage optimale (9,5-11,5%), tandis que HOR 4288, avec une teneur plus élevée, pourrait nécessiter des ajustements dans le processus de maltage.

3. Interactions entre saison et variété

3.1. Teneur en humidité

Aucune interaction significative n'a été détectée entre la saison et la variété pour la teneur en humidité ($p = 1,000$), indiquant que toutes les variétés répondent de manière similaire aux conditions saisonnières. Ce résultat confirme que le comportement hydrique des grains à la récolte est principalement influencé par les conditions environnementales et les pratiques culturales plutôt que par des réponses variétales spécifiques.

3.2. Poids de mille grains

Une interaction significative est observée entre la saison et la variété pour le PMG ($p = 0,029$), indiquant que les variétés répondent différemment aux conditions saisonnières. L'écart entre les saisons est particulièrement marqué pour la variété HOR 2774, dont le PMG passe de 41,00 g en saison des pluies à 44,73 g en saison sèche, soit une augmentation de 9,1%. À l'inverse, la variété HOR 6765 montre l'écart le plus faible (1,3% d'augmentation en saison sèche). Cette interaction suggère des différences de plasticité physiologique entre les variétés face aux variations environnementales. La variété HOR 6765 semble présenter la plus grande stabilité pour ce caractère, ce qui constitue un atout pour la régularité de la production dans le contexte de variabilité climatique de Lubumbashi.

3.3. Capacité germinative

Malgré les différences importantes observées entre les variétés et entre les saisons, l'interaction entre ces facteurs n'est pas significative pour la capacité germinative ($p = 0,917$). Ce résultat indique que les effets de la variété et de la saison sur ce paramètre sont indépendants et additifs. En d'autres termes, le classement relatif des variétés pour la capacité germinative reste constant quelle que soit la saison de culture.

3.4. Teneur en protéines

Une interaction significative est détectée entre la saison et la variété pour la teneur en protéines ($p = 0,045$). Cette interaction se manifeste notamment pour la variété HOR 4288, qui présente une augmentation particulièrement marquée de sa teneur en protéines en saison sèche (de 12,01% à 12,97%, soit +8,0%). À l'inverse, la variété HOR 2774 montre l'augmentation la plus faible (de 11,30% à 11,81%, soit +4,5%). Ces différences de réponse peuvent s'expliquer par des

variations d'efficacité d'absorption et d'assimilation de l'azote selon les conditions environnementales. Certaines variétés, comme HOR 4288, semblent plus réactives aux conditions favorables d'assimilation de l'azote qui prévalent en saison sèche sous irrigation contrôlée.

4. Implications pour la sélection variétale et la conduite culturale

L'analyse intégrée des résultats permet de formuler plusieurs recommandations pour optimiser la production d'orge brassicole à Lubumbashi :

Choix variétal : La variété HOR 6765 apparaît comme la plus prometteuse pour la production de malt, présentant le meilleur compromis entre PMG élevé (44,78 g), excellente capacité germinative (91,67%) et teneur en protéines acceptable (11,42%). Sa stabilité face aux variations saisonnières constitue un atout supplémentaire pour la régularité de la production.

Saison de culture optimale : Si l'objectif prioritaire est d'obtenir une orge à forte capacité germinative, la culture en saison des pluies semble préférable, particulièrement pour la variété HOR 6765 qui atteint dans ces conditions une capacité germinative de 96,67%, très proche des standards internationaux. En revanche, si l'objectif est de maximiser le rendement en extrait (lié au PMG), la culture en saison sèche avec irrigation contrôlée est recommandée.

Gestion de la fertilisation azotée : La tendance à l'augmentation des teneurs en protéines en saison sèche, particulièrement pour certaines variétés comme HOR 4288, suggère la nécessité d'ajuster la fertilisation azotée en fonction de la saison et de la variété pour maintenir ce paramètre dans la plage optimale (9,5-11,5%).

Traitement post-récolte : Pour les variétés présentant une capacité germinative insuffisante (particulièrement HOR 2774 et HOR 5929), des traitements post-récolte spécifiques pourraient être envisagés pour améliorer ce paramètre, comme la pré-germination contrôlée ou des traitements hormonaux appropriés.

4. DISCUSSION

L'humidité des grains a été significativement influencée par la saison, mais pas de manière significative par les variétés ou par l'interaction entre la saison et la variété (tableau 1). La saison sèche avait une humidité moyenne plus élevée. Cela pourrait s'expliquer par une meilleure conservation et des conditions de récolte plus sèches. Mes résultats semblent supérieurs à ceux rapportés par Zairi (2015), qui avait obtenu des moyennes d'humidité comprises entre 9,57 et 10,15% (Arruda et al. 2016, Rekik et al 2016) [21, 2]. Selon le plan stratégique de développement 2017 de Wallonie pour les grandes cultures, l'orge de brasserie devrait avoir une humidité cible comprise entre 14 et 16%. Mes résultats sont cohérents avec cette fourchette recommandée. L'humidité obtenue dans mon étude convient donc aux exigences des meuniers pour la production de malt. Des recherches supplémentaires seraient nécessaires pour confirmer ces résultats initiaux.

La germination est un facteur important pour la qualité de brasserie, car elle prédit l'homogénéité de fabrication du malt. La germination a été très significativement influencée par la variété et de manière significative par la saison. La plus forte valeur a été obtenue avec la variété HOR 6765 (91,67 %) et les plus faibles valeurs ont été obtenues avec les variétés HOR 2774 et HOR 4288. Selon Hafez et al. (2011), la germination des graines est influencée par des facteurs intrinsèques (dormance, perméabilité à l'eau et à l'oxygène, qualité des graines) et environnementaux (eau, oxygène, température, lumière) (Kadi, 2018, Ajib et al. 2013) [5, 7]. Les auteurs concluaient qu'un taux de germination optimal est obtenu à une température ambiante de 15°C. Dans cette étude, les conditions homogènes et contrôlées en boîte de Petri ont pu favoriser la germination. Selon le plan stratégique de développement 2017 de Wallonie pour les grandes cultures, l'orge de brasserie doit avoir un taux de germination supérieur à 90%. Mes résultats sont légèrement inférieurs à ceux recommandés par l'Institut français de brasserie et malterie (Gebhardt et al. 2014, Imran et al. 2017) [16, 17]. Cette différence pourrait s'expliquer par les conditions de récolte et de conservation des grains. Des recherches complémentaires seront nécessaires pour confirmer ces tendances.

La teneur en protéines est un critère important pour évaluer la qualité de l'orge, tant pour l'alimentation animale et humaine que pour les procédés technologiques comme le maltage. Les résultats montrent des différences très significatives de teneur en protéines entre les saisons et entre les variétés. La saison sèche a donné des valeurs plus élevées, avec une variabilité au sein des saisons et des variétés. La plus forte teneur a été obtenue avec la variété HOR 4288 (12,49 %) et la plus faible avec la variété HOR 5929 (11,19 %), comme le montre la figure 5. Ces valeurs sont cohérentes avec l'intervalle de 10 à 17 % rapporté par de nombreuses études sur différentes variétés d'orge (Chaouche, 2017). La teneur en protéines d'une même variété peut varier selon les récoltes et les lieux (références). D'après la classification de l'Institut français de brasserie et malterie, les teneurs entre 10-11 % sont très bonnes, entre 11-11,5 % moyennes et < 9 % mauvaises. Selon cette

échelle, l'ensemble des échantillons étudiés présente une teneur moyenne satisfaisante pour les malteurs et brasseurs, comprise entre 11 et 11,5 % (Kumlehn et al 2014, Garsous et al 2022, Menad et al 2011) [18, 19, 20].

La détermination du poids de 1000 grains permet d'évaluer le degré de remplissage des grains et de prédire le rendement en extrait de malt, critère important pour les malteurs. Le poids de 1000 grains dépend principalement de la variété et des conditions climatiques lors de la croissance. Des grains bien remplis donneront potentiellement plus d'extrait, avec moins d'amidon, de protéines et de polyphénols. Dans cette étude, le poids de 1000 grains a été très significativement influencé par la saison, fortement par la variété, mais pas de manière significative par leur interaction. La saison sèche a donné le poids le plus élevé. La variété HOR 6765 a obtenu la moyenne la plus grande (44,78 g) et HOR 2774 la plus faible (42,87 g), comme indiqué dans le tableau 1. Ceci pourrait s'expliquer par les caractéristiques intrinsèques des variétés et les conditions climatiques. Ce paramètre est également corrélé positivement au taux de protéines et à l'humidité. Mes résultats corrélaient avec ceux rapportés par Emmanuel et al. (2017) [6] mais différent de ceux de Hallab et al. (2016) (Arruda et al 2016, Caouche et al 2017) [21, 22]. En effet, ce caractère est fortement lié aux conditions climatiques pendant le remplissage des grains, comme décrit par Jochen et al. (2014) ; (Budour et al 2013, Demik, 2020) [9, 23]. La variabilité observée pourrait donc s'expliquer par les conditions climatiques entre les saisons, ainsi que par les conditions de récolte et de conservation.

5. CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de cette étude démontrent qu'il est techniquement envisageable de produire localement une orge de qualité brassicole à Lubumbashi, dans un contexte agro climatique tropical. La saison de culture s'est révélée être un facteur déterminant, avec une nette supériorité de la saison sèche sur la majorité des paramètres qualitatifs évalués. Par ailleurs, les variétés HOR 6765 et HOR 5929 ont montré un comportement agronomique et technologique satisfaisant, attestant de leur aptitude à répondre aux exigences de l'industrie brassicole.

Ainsi, en combinant un choix variétal judicieux avec une programmation culturale adaptée à la saison sèche et des pratiques agronomiques appropriées, il est possible de produire localement une orge répondant aux standards requis pour le maltage. Cette stratégie pourrait non seulement renforcer l'approvisionnement de la filière brassicole en matières premières locales, mais également contribuer à la réduction de la dépendance aux importations, favorisant ainsi une meilleure autonomie agro-industrielle dans la région du Haut-Katanga.

6. REFERENCES

- [1] Bruno G. Orge brassicole : Qualité et micro-maltes. Gembloux (Belgique) : Centre wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W) ; 2018.
- [2] Rekik R, Djebali N, Saïdi S. Caractérisations biochimique et physiologique de nouvelles lignées d'orge résistantes au virus de la jaunisse nanisante. *J New Sci Agric Biotechnol*. 2016 ;25(7) :1173–80.
- [3] Hallab A. Croisement intraspécifique de quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) [thèse de doctorat]. M'Sila (Algérie) : Université Mohamed Boudiaf de M'Sila ; 2016.
- [4] Saulnier L. Les grains de céréales : diversité et compositions nutritionnelles. *Cah Nutr Diét*. 2012 ;47(1): S4–15.
- [5] Kadi Z. Sélection de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) pour la tolérance aux stress abiotiques [thèse de doctorat]. Sétif (Algérie) : Université Ferhat Abbas Sétif 1 ; 2018.
- [6] Hafez M, Manderscheid R, Brüggemann W, Weigel HJ. Individual and combined effects of pre- and post-anthesis temperature on protein composition of two malting barley cultivars. *J Cereal Sci*. 2013 ;58(2):341–7.
- [7] Ajib B. Contribution à la modélisation de la qualité de l'orge et du malt pour la maîtrise du procédé de maltage [thèse de doctorat]. Nancy (France) : Université de Lorraine ; 2013.
- [8] Bouchetat F. Hybridation de l'orge en vue de l'obtention de lignées de la variété locale Saïda adaptées à la zone subhumide centre [thèse de doctorat]. Blida (Algérie) : Université Saad Dahlab de Blida ; 2011.
- [9] Budour A. Contribution à la modélisation de la qualité de l'orge et du malt pour la maîtrise du procédé de maltage [thèse de doctorat]. Nancy (France) : Université de Lorraine ; 2013.
- [10] Hocine B. Contribution à la sélection de l'adaptation de quelques génotypes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans les conditions agro-climatiques semi-arides de la région de Sétif [thèse de doctorat]. M'Sila (Algérie) : Université Mohamed Boudiaf ; 2021.
- [11] Autran JC. Qualité technologique de l'orge. 2016.
- [12] Zairi M. Caractérisation de la qualité de quelques lignées d'orge issues de la première sélection participative en Algérie [thèse de doctorat]; 2015.
- [13] Martinez F, Crossa J, Reynard R, Alvarado G, Moragues M. Enhancing grain yield and quality of winter barley through agronomic strategies to prolong canopy greenness. *Field Crops Res*. 2014; 170:125–38.
- [14] Izydorczyk MS, Edney MJ. Barley: Grain-quality characteristics and management of quality requirements. In: Wrigley C, Batey I, Miskelly D, editors. *Cereal Grains*. 2nd ed. Cambridge: Woodhead Publishing; 2017. p. 195–234.
- [15] Hugor M. Évaluation de la productivité et de la valeur technologique de 4 variétés d'orge dans les conditions climatiques de Lubumbashi, Haut-Katanga RDC [mémoire DEA]. Lubumbashi (RDC) : Université de Lubumbashi ; 2022.
- [16] Gebhardt S, Weschke W. Barley grain: Development and structure. In: Shewry PR, Ullrich SE, editors. *Barley*. 2nd ed. St. Paul (MN): AACC International Press; 2014. p. 11–53.
- [17] Soltner D. Les bases de la production végétale : les techniques de production des céréales. 1ère éd. Le Chesnay : Sciences et Techniques Agricoles ; 1986. 472 p.
- [18] Imran E, Wani AA, Dar BN, Ahmed M. Bioactive phytochemicals in barley. *J Food Drug Anal*. 2017;25(1):148–61.

- [19] Kumlehn J, Hensel G. Biotechnological approaches to barley improvement. In: Altman A, Hasegawa PM, editors. *Biotechnology in Agriculture and Forestry*. Vol. 69. Berlin : Springer-Verlag; 2014. p. 189–206.
- [20] Garsous J, Plane P. Conflit Russie–Ukraine : Quelles conséquences sur les économies africaines ? *Note brève FERDI*. 2022;(233):142–61.
- [21] Menad A. Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare L.*) : application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nat Technol*. 2011;(5) :99.
- [22] Arruda SC, Paula A, Azevedo RA. Barley germination: Spatio-temporal considerations for designing and interpreting 'omics' experiments. *J Cereal Sci*. 2016 ;70 :29–37.
- [23] Chaouche M. Étude de comportement de l'orge (SAIDI 183) [mémoire de master]. Guelma (Algérie) : Université 8 mai 1945 de Guelma ; 2017.
- [24] Demik Y. Étude comparative de l'effet de deux échantillons de margines sur la germination et la levée de l'orge (*Hordeum vulgare L.*) variété Fourra en conditions contrôlées [mémoire de master]. Tizi Ouzou (Algérie) : Université Mouloud Mammeri ; 2020.



How to cite this article: Helinoro Diamondra RAZAIVAOVOLOLONIAINA, Sergio Ruffin Damy Milasoa BANDAHY et Hacynicolas Finoana Arizo RANDRIAMANDRATONDRKOTONIRINA. PERFORMANCES MORPHOMÉTRIQUES DE TROIS RACES CAPRINES DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITÉ HYDRIQUE CONTRASTÉE : ÉTUDE DANS LE DISTRICT D'AMBOVOMBE, MADAGASCAR. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2025; 20(6): 1-10. DOI: 10.5281/zenodo.15557645

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non-Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>