

# Impact du relief et des circuits semenciers locaux sur la diversité agro-morphologique du blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) dans la vallée d'Er Rich - Imilchil (Maroc)

A. SAHRI<sup>1</sup>, L. CHENTOUFI<sup>1</sup>, M. ARBAOUI<sup>1</sup>, M.H. MULLER<sup>2</sup>, P. ROUMET<sup>2</sup>, L. BELQADI, A. BIROUK<sup>1</sup>

(Reçu le 05/08/2014; Accepté le 25/09/2014)

## Résumé

La diversité phénotypique de 101 populations locales de blé dur issues des oasis de montagnes de l'Atlas oriental (Maroc) a été étudiée. Neuf caractères (morphologiques et agronomiques) ont été mesurés sur les 3030 lignées (30 lignées par population). Les fréquences de chaque classe phénotypique ont été utilisées pour l'estimation et l'analyse de la diversité, en considérant les zones géographiques d'origine et les gradients d'altitude. L'indice de diversité de Shannon-Weaver ( $H'$ ) a montré une forte variabilité pour l'ensemble des caractères considérés. Cet indice varie d'une zone à une autre et d'une classe d'altitude à une autre. Le  $H'$  moyen obtenu pour l'ensemble des zones est de 0,62, indiquant la présence d'un degré élevé de polymorphisme au sein des populations locales de blé dur collectées. Les résultats de l'analyse en composantes multiples ainsi que de la classification hiérarchique ont montré que la proximité géographique et l'altitude jouent un rôle majeur dans la discrimination ainsi que sur la structuration des populations de blé dur étudiées. Les informations recueillies à partir de ces résultats peuvent être exploitées dans des programmes de sélection conventionnels et de conservation *in situ* de la diversité.

**Mots clés:** Populations locales, diversité phénotypique, structuration, conservation *in situ*, blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*).

## Abstract

Phenotypic diversity of 101 durum wheat landrace populations collected from the oasis of the Oriental Atlas Mountains (Morocco) was studied. Nine characters (morphological and agronomic) were measured on the 3030 lines (30 lines per population). The frequencies of each phenotypic class were used for the estimate and the analysis of diversity, by considering the geographical zones of origin and the gradients of altitude. The Shannon-Weaver diversity index ( $H'$ ) showed a wide variability for all considered traits. This index varies from one area to another and from one altitudinal class to another. The mean  $H'$  recorded for all areas was 0.62, indicating the presence of a high degree of polymorphism among the studied durum wheat landrace populations. The results of the multiple component analysis and the hierarchical clustering showed that the geographical proximity and altitude play a main function in the discrimination and the structure of the studied durum wheat populations. The information gathered from this study could be used in conventional breeding programs and *in situ* conservation of the diversity.

## INTRODUCTION

La biodiversité est à la base de plusieurs programmes de sélection pour la création de variétés adaptées aux différentes contraintes topographiques et climatiques (Bellon *et al.*, 1996; Kebebew *et al.*, 2001). La connaissance de cette diversité a un impact significatif sur le progrès de la sélection des plantes cultivées. Les études de diversité des plantes cultivées ont clairement montré que la diversité génétique décroît de plus en plus, avec la substitution d'un ensemble de variétés, génétiquement diversifiées, par des variétés modernes uniformes, reposant sur une base génétique réduite (Hawkes, 1983; Brush, 1991; Harlan, 1992). Cette érosion génétique concerne plusieurs régions dans le monde y compris les divers centres de domestication et de diversité

(Brush *et al.*, 1998), comme par exemple certains pays du bassin méditerranéen, où la diversité de plusieurs espèces cultivées est concentrée et où les agriculteurs maintiennent non seulement les variétés anciennes, mais aussi les techniques et pratiques de gestion traditionnelles.

Le Maroc, de par son emplacement géographique et sa richesse floristique, est considéré comme un centre de diversité génétique pour le genre *Triticum*, et d'autres genres (Vavilov, 1951). Le blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) y représente une céréale aux enjeux économiques importants. Elle occupe une superficie de 0,9 Mha à 1 Mha et se classe au troisième rang après le blé tendre et l'orge (MAPM, 2013). La production peine à satisfaire la demande qui ne cesse de s'accroître avec l'augmentation de la population. L'amélioration de la productivité de cette culture est donc un enjeu national qui peut, entre autre, se

<sup>1</sup> Département de Production, Protection et Biotechnologies Végétales, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202, Rabat-Instituts, Rabat, Maroc. ahmed.birouk@gmail.com / mustaphaarbaoui@hotmail.com

<sup>2</sup> INRA, UMR Amélioration Génétique et Adaptation des Plantes Méditerranéennes et Tropicales (AGAP), 2 place Pierre Viala, F-34060 Montpellier Cedex 1, France

faire par la création de variétés plus productives et plus adaptées, tout en tenant compte de l'amélioration des techniques culturales.

Cette production est associée soit à une agriculture intensive localisée sur les hauts plateaux et plaines du pays et basée sur l'introduction et l'utilisation des techniques de production très performantes (variétés modernes, mécanisation, engrais, pesticides, etc.), soit à une agriculture plus vivrière caractérisée par l'utilisation de techniques culturales traditionnelles et localisée principalement dans les zones marginales du pays (Ait El Mekki, 2006). Dans ces régions, les variétés traditionnelles de blé dur sont produites et maintenues selon un système informel dans lequel les agriculteurs produisent le plus souvent leurs propres semences (Jouve et al., 1995). Les échanges de semences restent donc restreints au cas où la production de semences faite sur l'exploitation n'est pas suffisante; dans ces cas, l'approvisionnement se fait généralement chez le voisin ou par le biais de la commercialisation au niveau du marché local (Sadiki et al., 2005). De nombreux facteurs environnementaux, socio-économiques, biologiques et culturels influent sur les choix des agriculteurs quant au maintien de ces populations traditionnelles de blé dur. En effet, au fil du temps, ces agriculteurs modifient progressivement la structure génétique de leurs variétés en sélectionnant des plantes présentant des caractères intéressants (Sadiki et al., 2002).

Du fait de leur adaptation à des conditions environnementales et à des pratiques agronomiques locales très diversifiées, les variétés locales de blé dur constituent une source importante de gènes d'adaptation, ce qui rend leur caractérisation importante (Pecetti et al., 1992a). Plusieurs missions de collecte ont été menées pour caractériser la diversité et la structure génétique des populations locales de blé dur dans les pays du pourtour méditerranéen (Pecetti et Nachit, 1993; Pecetti et al., 1996, Kehel et al. 2013). Pour la caractérisation de ces populations, les caractères agro-morphologiques ont été utilisés (Jadarat, 2006; Jaradat et Shahid, 2014).

De fait, plusieurs études ont porté sur la variabilité des populations traditionnelles de blé dur en se basant

sur les caractères phénotypiques, morphologiques et agronomiques (Jain et al., 1975; Pecetti et al., 1992b; Hailu et al., 2010; Zarkti et al., 2012). La plupart de ces études ont montré la présence de variations inter et intra populations ainsi que celle dues aux facteurs topographiques, environnementaux, aux pratiques de sélection et aux flux de semences entre les agriculteurs. Ces données sont essentielles dans une perspective de conservation et d'utilisation de ces populations.

La présente étude a pour objectif de documenter la diversité de populations traditionnelles de blé dur issues de la vallée d'Er Rich – Imilchil et de voir comment différents facteurs tels que les zones géographiques d'origine, les gradients d'altitude et les échanges entre les agriculteurs peuvent affecter le maintien de la diversité à l'échelle de cette vallée. Les informations recueillies nous permettront de mieux exploiter et gérer ce matériel local et d'identifier les stratégies à adopter en vue de le conserver *in situ* ou *ex situ*.

## MATERIEL ET METHODES

### Sites de collecte

Au cours de l'année 2010 - 2011, une prospection a été effectuée afin i) d'identifier les zones de culture de populations locales de blé dur, dans des agro-écosystèmes traditionnels des provinces du Maroc en particulier dans la vallée d'Er Rich - Imilchil et ii) de collecter des échantillons représentant les différentes variétés utilisées par les agriculteurs dans ces zones (Chentoufi et al., 2014).

Dans la vallée d'Er Rich - Imilchil, six grandes zones ont été retenues pour notre étude (Figure 1 et Tableau 1). Les zones numérotées de 1 à 3 (Er-Rich, Amouguer-Outerbate, Imilchil) ont été initialement identifiées en fonction des données historiques et de leur positionnement selon un gradient altitudinal. Nous avons également échantillonné les régions de Zaouiat Sidi Hamza et Amellagou (respectivement au nord et au sud-ouest d'Er-Rich, zones 4 et 5) et la région d'Aghbala, Province de Beni Mellal (zone 6), où la culture de blé dur est importante (Sadiki et al., 2002).

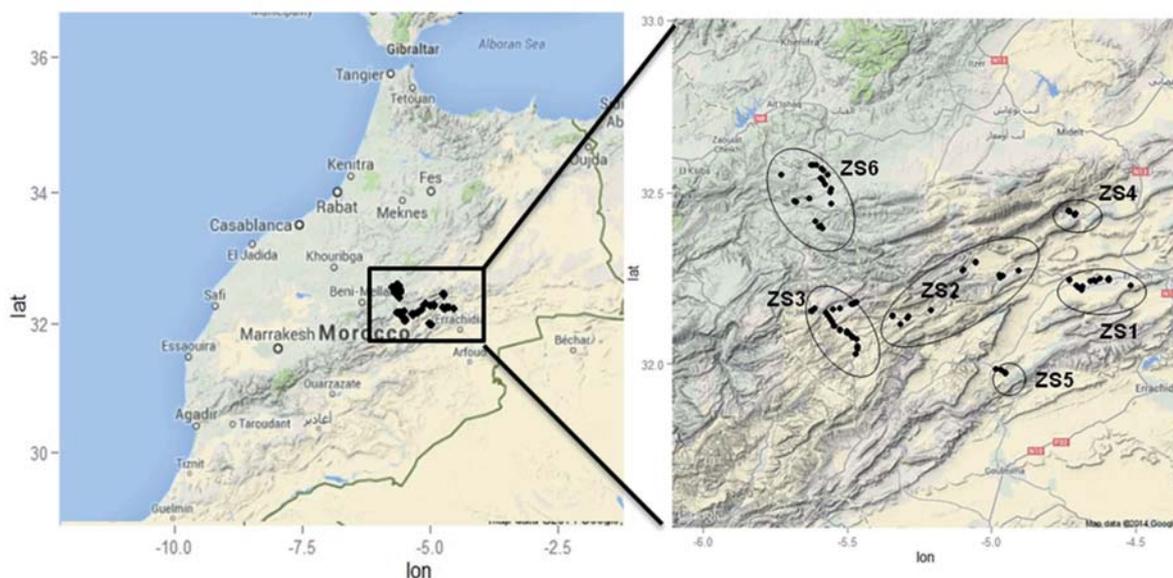


Figure 1: Localisation des différentes zones de prospection. Les points représentent les sites de collecte dans chacune des six zones.

Un travail d'enquête a été réalisé dans ces six zones afin de décrire les types d'agro-systèmes dans lesquels évoluent les populations traditionnelles de blé, de déterminer les différentes variétés de blé dur locales sur la base de la perception des agriculteurs, et d'évaluer l'effet des pratiques agricoles sur la gestion de la diversité des locale du blé dur. Au total, 101 agriculteurs ont été enquêtés sur les six zones (Chentoufi *et al.*, 2014).

À partir des données d'enquêtes et des informations relatives aux variétés, un échantillonnage a été réalisé afin de représenter le spectre variétal au sein des régions étudiées. La stratégie adoptée pour la collecte des populations locales est basée sur une approche exhaustive. Au total, 101 populations ont été collectées sur les six zones; une population étant une variété donnée cultivée chez un agriculteur. Pour chaque population, 30 épis issus de 30 pieds différents ont été collectés aléatoirement le long de la grande diagonale de la parcelle agricole, selon un parcours «en zig-zag».

### Evaluation agro-morphologique

Au cours de la campagne agricole 2011-2012, 20 grains issus de chacun des 30 épis collectés par population ont été semés selon un dispositif en épi-ligne (longueur de la ligne = 1 m, espacement entre les lignes = 0,3 m)- à la station expérimentale de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II à Rabat (Latitude 33°58'35" N, Longitude 6°51'59" W, Elévation 50 m). Un apport d'engrais de fond (14-28-14) a été appliqué avant le semis et un autre apport d'azote a été appliqué au début du stade de tallage. Un désherbage régulier a été effectué pendant la phase végétative de la culture ainsi qu'à la fin de la montaison. Aucun traitement (insecticide, pesticide ou fongicide) n'a été appliqué sur les plantes.

Neuf caractères (qualitatifs et quantitatifs) sélectionnés parmi les descripteurs du blé (IBPGR, 1985) ont été retenus pour l'évaluation des 3030 lignées.

Les caractères quantitatifs mesurés sont au nombre de six et concernent: la longueur de l'épi (exprimée en cm; elle est mesurée au stade maturité à partir de la base de

l'épi jusqu'au sommet de l'épillet terminal), la longueur de la barbe (en cm; mesurée à maturité), la hauteur de la plante (en cm; mesurée à maturité du ras du sol jusqu'au sommet de la plante), la date d'épiaison (nombre de jours du semis jusqu'au jour où 50% des épis de la lignée sortent de leurs gaines), le poids de mille grains (exprimé en g; il est mesuré à maturité) et la densité de l'épi (annoté DE; elle a été estimée selon la formule:  $DE = (\text{Nombre d'épillets par épi} / \text{Longueur de l'épi}) * 100$ ; Zhao *et al.*, 2013). Plus cet indice est élevé plus l'épi est dense et vice versa. Les mesures ont été effectuées sur un effectif de cinq plantes par lignée, sélectionnées de façon aléatoire.

Les caractères qualitatifs évalués sont au nombre de trois et concernent: la couleur de la barbe (observée à maturité; deux couleurs de barbes ont été répertoriées: barbes noires et barbes blanches), la couleur des grains (notée à maturité; trois couleurs de grains ont été observées: claire, brune et rouge), le type des épis (deux types d'épis ont été notés à maturité; épis plats, contenant trois fleurs par épillet et épis carrés composés de cinq fleurs par épillet).

Pour chacun des six traits quantitatifs, les moyennes (M) et les coefficients de variation (SD) ont été calculés et ont servi à classer l'ensemble des lignées en trois classes (Classe 1] < M -SD; Classe 2] > M-SD à < M+SD et Classe 3] > M+SD) comme indiqué dans Zar (1996). La même classification a été utilisée pour regrouper les différentes altitudes en trois classes (vallée basse: < 1490 m; vallée moyenne: entre 1491 m et 2150 m; vallée haute: >2151 m). Les classes phénotypiques pour chaque caractère sont présentées sur le tableau 2.

### Analyses statistiques

Les fréquences des lignées des différentes classes phénotypiques pour chaque trait dans chacune des six zones de collecte ainsi que dans les trois classes d'altitude ont été calculées.

Sur la base de ces fréquences, l'indice de Shannon-Weaver (Shannon et Weaver, 1948) a été calculé pour chaque trait dans le but d'estimer la diversité phénotypique qui existe dans les six zones d'étude et dans les différentes classes

**Tableau 1: Informations sur les zones retenues pour l'étude de caractérisation des populations locales de blé dur.**

| Zones d'études                 | Provinces   | Communes | Caidats             | Altitudes (m)    | Nombre de populations collectées |
|--------------------------------|-------------|----------|---------------------|------------------|----------------------------------|
| <b>ZS 1: Er-Rich</b>           | Midelt      | Er-Rich  | Ait Izdeg           | 1385-1464        | 15                               |
| <b>ZS 2: Amouger-Outerbate</b> | Midelt      | Imilchil | Amouger - Outerbate | 1593-2133        | 22                               |
| <b>ZS 3: Imilchil</b>          | Midelt      | Imilchil | Imilchil            | 2160-2387        | 27                               |
| <b>ZS 4: Zt Sidi Hamza</b>     | Midelt      | Er-Rich  | Ait Izdeg           | 1662-1674        | 8                                |
| <b>ZS 5: Amellagou</b>         | Errachidia  | Goulmima | Amellagou           | 1293-1296        | 6                                |
| <b>ZS 6: Aghbala</b>           | Beni Mellal | ElKsiba  | Aghbala             | 1492-1894        | 23                               |
| <b>Total</b>                   |             |          |                     | <b>1293-2387</b> | <b>101</b>                       |

d'altitude. L'indice de Shannon-Weaver (H) est défini comme suit:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Où S est le nombre de classes phénotypiques du caractère et  $P_i$ , le pourcentage de l'effectif total dans chacune des classes phénotypiques définies pour chaque variable.

Afin d'homogénéiser les classes phénotypiques des traits qualitatifs et quantitatifs, H a été standardisé. Le nouvel indice (noté  $H'$ ) a été calculé comme suit :

$$H' = H / H_{max}$$

Où  $H_{max} = \log_e(S)$ .

Une analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été réalisée sur les valeurs de  $H'$  afin de déterminer s'il existe des différences significatives entre les zones d'études et les classes d'altitude. L'ANOVA a été réalisée pour chaque caractère dans chacune des zones et classes d'altitudes. Le modèle de l'ANOVA considéré est le suivant:  $Y_i = \mu + A_i + \varepsilon_i$ ; Où:  $Y_i$  est la variable à expliquer;  $\mu$  est la moyenne générale de la variable;  $A_i$  est l'effet fixe de la  $i^{\text{ème}}$  zone ou altitude et  $\varepsilon_i$  représente l'erreur aléatoire de mesure.

Une analyse hiérarchique de la variance a été également réalisée sur le  $H'$  moyen de l'ensemble des caractères considérés comme indiqué dans Jain et al. (1975) afin d'estimer la contribution des différents composantes de la variance (effet zone d'origine ou classe d'altitude et aussi l'effet de l'interaction population x zone/ altitude) sur les niveaux de la diversité totale.

Une analyse en composantes multiples (ACM) ainsi qu'une classification ascendante hiérarchique, basée sur les résultats de l'ACM, ont été réalisées afin d'étudier la structure de notre collection sur les différents traits qualitatifs et quantitatifs. L'ensemble des analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R-cran (<http://cran.r-project.org/>).

## RESULTATS

### Distribution des fréquences phénotypiques

La distribution des fréquences phénotypiques au niveau des zones de prospection et des différentes classes d'altitude a montré une forte variation entre les lignées des populations de blé dur (Tableau 2).

Il existe ainsi autant de lignées à barbe noire qu'à barbe blanche (52% et 48% respectivement). Les lignées à barbes blanches sont plus abondantes dans les zones 1, 4 et 5 ; alors que celles à barbes noires sont plus dominantes dans les zones 3 et 6. Il est à noter que les zones 1 et 5 présentent les mêmes fréquences de distribution pour ce caractère. Au niveau des classes d'altitudes, les lignées à barbes blanches prédominent dans les basses et moyennes altitudes (vallée basse et vallée moyenne), alors que celles à barbes noires sont plus fréquentes dans les hautes altitudes (vallée haute).

La couleur brune des grains des lignées de la collection est très fréquente par rapport aux autres modalités (Tableau 2). La distribution des classes de ce caractère dans les six zones a révélé une similitude des fréquences entre les zones 1 et 5, ainsi qu'entre la zone 3 et la zone 6. Au niveau des trois classes d'altitude, la fréquence des lignées à grains bruns est la plus élevée. Cette fréquence décroît progressivement dans les hautes altitudes (vallée moyenne et haute) avec une légère augmentation des lignées à grains rouges. Sur l'ensemble de la collection, la classe des lignées à épis moyennement denses est la plus représentée avec une fréquence totale générale de 75%. Les lignées à épis très denses sont moins fréquentes dans les zones 3 et 6, alors que les lignées à épis lâches sont moins présentes dans les zones 1, 2, 4 et 5. Au niveau des classes d'altitude, la classe des lignées à épis moyennement denses est la plus représentée. Les lignées à épis lâches sont moins fréquentes dans la vallée basse et la vallée moyenne, alors que les lignées à épis très denses sont moins présentes dans la vallée haute.

Les types de lignées à épis carrés sont les plus représentés dans les zones 1, 2, 4 et 5, tandis que les types de lignées à épis plats sont dominants dans les zones 3 et 6. Dans les basses altitudes (vallée basse), les épis de type carrés sont les plus fréquents alors que dans les hautes altitudes (vallée haute), les épis de type plats sont majoritairement représentés.

Les lignées à longueur d'épi moyenne (classe 2) sont majoritairement représentées, avec une fréquence de 68%. Dans les zones 1, 2, 4 et 5, les lignées à longueur d'épis inférieur à 5,50 cm (classe 1) sont plus fréquentes, tandis que les lignées à longueur d'épis supérieur à 7,50 cm (classe 3) sont plus répandues dans les zones 3 et 6. Au niveau des altitudes, les lignées à longueur d'épis inférieur à 5,5 cm (classe 1) sont largement représentées dans la vallée basse que dans les moyennes et hautes altitudes et inversement les lignées à longueur d'épis supérieur à 7,5 cm sont très fréquentes dans les moyennes et hautes altitudes que dans les basses altitudes.

Les longueurs des barbes de la majorité des lignées de la collection varient entre 10,50 et 15cm (classe 2). Cette classe représente 76% de l'ensemble des lignées collectées. Les lignées ayant une longueur de barbe supérieure à 15 cm sont plus fréquentes dans les zones 1, 2, 4 et 5 ainsi que dans les basses et moyennes altitudes, tandis que la fréquence des lignées ayant une longueur de barbe inférieure à 10,50 cm est plus élevée dans la zone 3 et les hautes altitudes que dans les autres zones.

La fréquence des lignées ayant un poids de mille grains (PMG) qui varie entre 21 et 85 g (classe 2) est la plus prédominante. Les lignées ayant un PMG supérieur à 68g sont plus fréquentes dans les zones 1, 2, 4 et 5 ainsi que dans les basses et moyennes altitudes, tandis que les lignées ayant un PMG inférieur à 52 g sont plus répandues dans la zone 3 et les hautes altitudes que dans les autres zones.

La distribution phénotypique du caractère hauteur a montré que 78% des lignées de la collection ont une hauteur entre 108 cm et 142 cm (classe 2). Cette classe de hauteur prédomine au niveau de toutes les régions d'étude ainsi que dans les 3 classes d'altitudes. Toutefois, les lignées ayant des hauteurs inférieures à 108 cm sont plus

fréquentes dans la zone 1 et les basses altitudes alors que celles ayant des hauteurs supérieures à 135 cm sont plus présentes dans la zone 3 et les hautes altitudes.

La plupart des lignées de la collection épiant entre 126 et 142 jours (classe 2). Cette classe représente environ 68% de l'ensemble des lignées de la collection. Pourtant, dans la zone 3 et les hautes altitudes, la fréquence des lignées qui épiant tardivement (> 145 jours) est élevée par rapport aux autres zones et niveaux d'altitude.

### Estimation et analyse de la diversité phénotypique des épis collectés

Les indices de diversité estimés pour chaque caractère sont représentés sur le tableau 3. La collection présente une grande variabilité pour les différents caractères mesurés.

Au niveau des zones de collecte, l'indice de diversité H' moyen varie entre 0,55 pour les populations locales de blé dur collectées dans la zone 5 et 0,70 pour les populations

**Tableau 2: Liste des caractères étudiés, leurs classes respectives et le pourcentage des lignées de chaque classe phénotypique de chaque caractère dans les différentes zones d'études et classes d'altitude.**

| Caractères                       | Zones d'études  |                           |                  |                       |                   |                 | Classes d'altitude * |                |              | Pourcentage moyen |
|----------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|----------------------|----------------|--------------|-------------------|
|                                  | Zone 1: Er-Rich | Zone 2: Amouger-Outerbate | Zone 3: Imilchil | Zone 4: Zt Sidi Hamza | Zone 5: Amellagou | Zone 6: Aghbala | Vallée basse         | Vallée moyenne | Vallée haute |                   |
| <b>Couleur de la barbe</b>       |                 |                           |                  |                       |                   |                 |                      |                |              |                   |
| Blanche (B)                      | 99%             | 60%                       | 5%               | 88%                   | 99%               | 26%             | 91%                  | 51%            | 5%           | <b>48%</b>        |
| Noir (N)                         | 1%              | 40%                       | 95%              | 12%                   | 1%                | 74%             | 9%                   | 49%            | 95%          | <b>52%</b>        |
| <b>Couleur des grains</b>        |                 |                           |                  |                       |                   |                 |                      |                |              |                   |
| Brune (Br)                       | 74%             | 73%                       | 63%              | 85%                   | 85%               | 66%             | 75%                  | 73%            | 60%          | <b>70%</b>        |
| Claire (Cl)                      | 17%             | 9%                        | 19%              | 5%                    | 5%                | 23%             | 16%                  | 13%            | 20%          | <b>16%</b>        |
| Rouge (R)                        | 9%              | 18%                       | 18%              | 10%                   | 10%               | 11%             | 9%                   | 14%            | 20%          | <b>14%</b>        |
| <b>Densité de l'épi</b>          |                 |                           |                  |                       |                   |                 |                      |                |              |                   |
| Lâche (L)                        | 13%             | 6%                        | 21%              | 5%                    | 2%                | 18%             | 11%                  | 10%            | 21%          | <b>13%</b>        |
| Intermédiaire (M)                | 65%             | 71%                       | 77%              | 82%                   | 76%               | 78%             | 69%                  | 76%            | 77%          | <b>75%</b>        |
| Dense (D)                        | 22%             | 23%                       | 2%               | 13%                   | 22%               | 4%              | 20%                  | 14%            | 3%           | <b>12%</b>        |
| <b>Type d'épi</b>                |                 |                           |                  |                       |                   |                 |                      |                |              |                   |
| Carré                            | 81%             | 65%                       | 9%               | 84%                   | 98%               | 22%             | 78%                  | 49%            | 11%          | <b>46%</b>        |
| Plat                             | 19%             | 35%                       | 91%              | 16%                   | 2%                | 78%             | 22%                  | 51%            | 89%          | <b>54%</b>        |
| <b>Longueur d'épi (cm)</b>       |                 |                           |                  |                       |                   |                 |                      |                |              |                   |
| Classe 1 (< 5,5)                 | 30%             | 25%                       | 13%              | 23%                   | 26%               | 4%              | 26%                  | 16%            | 13%          | <b>18%</b>        |
| Classe 2 (5,5 - 7,5)             | 63%             | 65%                       | 72%              | 68%                   | 63%               | 70%             | 66%                  | 66%            | 75%          | <b>68%</b>        |
| Classe 3 (> 7,5)                 | 7%              | 10%                       | 15%              | 10%                   | 11%               | 25%             | 8%                   | 18%            | 12%          | <b>14%</b>        |
| <b>Longueur de la barbe (cm)</b> |                 |                           |                  |                       |                   |                 |                      |                |              |                   |
| Classe 1 (<10,5)                 | 4%              | 8%                        | 35%              | 3%                    | 12%               | 8%              | 9%                   | 7%             | 35%          | <b>14%</b>        |
| Classe 2 (10,5 - 15)             | 73%             | 70%                       | 63%              | 58%                   | 62%               | 78%             | 67%                  | 74%            | 62%          | <b>69%</b>        |
| Classe 3 (> 15)                  | 23%             | 21%                       | 2%               | 39%                   | 26%               | 14%             | 24%                  | 19%            | 3%           | <b>16%</b>        |
| <b>Poids de 1000 grains (g)</b>  |                 |                           |                  |                       |                   |                 |                      |                |              |                   |
| Classe 1 (<52)                   | 9%              | 10%                       | 17%              | 4%                    | 14%               | 26%             | 11%                  | 16%            | 18%          | <b>15%</b>        |
| Classe 2 (52 - 68)               | 66%             | 68%                       | 79%              | 57%                   | 65%               | 72%             | 68%                  | 68%            | 77%          | <b>70%</b>        |
| Classe 3 (> 68)                  | 25%             | 22%                       | 4%               | 39%                   | 21%               | 2%              | 22%                  | 16%            | 5%           | <b>15%</b>        |
| <b>Hauteur de la plante (cm)</b> |                 |                           |                  |                       |                   |                 |                      |                |              |                   |
| Classe 1 (<108)                  | 41%             | 5%                        | 4%               | 14%                   | 7%                | 11%             | 28%                  | 9%             | 4%           | <b>12%</b>        |
| Classe 2 (108-135)               | 56%             | 84%                       | 76%              | 84%                   | 88%               | 86%             | 68%                  | 84%            | 77%          | <b>78%</b>        |
| Classe 3 (>135)                  | 4%              | 11%                       | 20%              | 3%                    | 5%                | 3%              | 4%                   | 7%             | 19%          | <b>10%</b>        |
| <b>Date d'épiaison (jours)</b>   |                 |                           |                  |                       |                   |                 |                      |                |              |                   |
| Classe 1 (<126)                  | 20%             | 1%                        | 0%               | 40%                   | 53%               | 42%             | 28%                  | 24%            | 0%           | <b>19%</b>        |
| Classe 2 (126-142)               | 77%             | 92%                       | 63%              | 60%                   | 45%               | 53%             | 70%                  | 68%            | 67%          | <b>68%</b>        |
| Classe 3 (>142)                  | 3%              | 7%                        | 37%              | 0%                    | 2%                | 5%              | 3%                   | 8%             | 33%          | <b>13%</b>        |

\* Vallée basse: < 1490 m; Vallée moyenne: entre 1491 m et 2150 m; Vallée haute: > 2151 m

de la zone 2. Le H' le plus élevé (0,95) a été enregistré pour le caractère couleur de la barbe dans la zone 2, alors que l'indice le plus faible (0,05) a été observé pour le même caractère, mais dans la zone 5.

Au niveau des 3 classes d'altitudes, l'indice de diversité H' moyen le plus élevé (0,75) a été enregistré pour les populations locales de blé dur collectées dans la classe d'altitude II, alors que le H' moyen le plus faible (0,60) a été observé pour les populations collectées dans les hautes altitudes (classe III). L'ensemble des caractères morphologiques et phénotypiques notés au niveau de la

classe II, présentent des indices de diversité supérieurs à 0,50.

Les valeurs H' moyennes du caractère «couleur des grains» augmentent avec l'altitude, alors que celles du caractère «densité de l'épi» diminuent avec l'altitude. Aucune relation entre l'altitude et les moyennes des H' n'est observée pour les autres traits.

Afin d'évaluer s'il existe des différences entre les régions d'études et les différentes classes d'altitudes sur les degrés de diversité de chaque variable, une analyse de la variance a été réalisée sur les indices de diversité (H') calculés pour chacun des caractères considérés (tableau 4).

**Tableau 3: Indices H' de Shannon-Weaver estimés pour les différentes variables phénotypiques au niveau des six zones d'études et des trois classes d'altitude.**

|                                  | Couleur de la barbe | Couleur du grain | Type d'épi | Densité de l'épi | Longueur de l'épi | Longueur de la barbe | Date d'épiaison | Hauteur de la plante | Poids de 1000 grains | H' Moyen    |
|----------------------------------|---------------------|------------------|------------|------------------|-------------------|----------------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------|
| <b>Zone 1: Er-Rich</b>           | 0,09                | 0,68             | 0,73       | 0,80             | 0,77              | 0,64                 | 0,57            | 0,75                 | 0,77                 | <b>0,67</b> |
| <b>Zone 2: Amouger-Outerbate</b> | 0,97                | 0,69             | 0,95       | 0,68             | 0,78              | 0,71                 | 0,28            | 0,49                 | 0,75                 | <b>0,70</b> |
| <b>Zone 3: Imilchil</b>          | 0,28                | 0,84             | 0,45       | 0,56             | 0,72              | 0,66                 | 0,61            | 0,61                 | 0,56                 | <b>0,59</b> |
| <b>Zone 4: Zt Sidi Hamza</b>     | 0,53                | 0,47             | 0,64       | 0,52             | 0,75              | 0,73                 | 0,61            | 0,48                 | 0,74                 | <b>0,60</b> |
| <b>Zone 5: Amellagou</b>         | 0,05                | 0,47             | 0,18       | 0,57             | 0,80              | 0,82                 | 0,71            | 0,43                 | 0,81                 | <b>0,55</b> |
| <b>Zone 6: Aghbala</b>           | 0,83                | 0,78             | 0,77       | 0,57             | 0,67              | 0,61                 | 0,78            | 0,45                 | 0,60                 | <b>0,66</b> |
| <b>Moyenne par zone</b>          | 0,46                | 0,66             | 0,62       | 0,62             | 0,75              | 0,69                 | 0,60            | 0,53                 | 0,70                 |             |
| <b>Classe I</b>                  | 0,45                | 0,66             | 0,78       | 0,75             | 0,76              | 0,75                 | 0,65            | 0,68                 | 0,76                 | <b>0,70</b> |
| <b>Classe II</b>                 | 0,90                | 0,70             | 0,90       | 0,65             | 0,80              | 0,67                 | 0,73            | 0,51                 | 0,77                 | <b>0,75</b> |
| <b>Classe III</b>                | 0,28                | 0,87             | 0,54       | 0,57             | 0,67              | 0,70                 | 0,59            | 0,60                 | 0,60                 | <b>0,60</b> |
| <b>Moyenne par calsse</b>        | 0,57                | 0,74             | 0,77       | 0,66             | 0,74              | 0,71                 | 0,66            | 0,60                 | 0,71                 |             |

\* Vallée basse: < 1490 m; Vallée moyenne: entre 1491 m et 2150 m; Vallée haute: > 2151 m

**Tableau 4 : Résultats de l'analyse de la variance réalisée sur les indices de diversité (H') de chaque caractère considéré.**

| Caractères           | Zones d'études | Classes d'altitude |
|----------------------|----------------|--------------------|
|                      | ddl= 5         | ddl= 2             |
| Couleur de la barbe  | NS             | NS                 |
| Couleur du grain     | *              | **                 |
| Type d'épi           | ***            | NS                 |
| Densité de l'épi     | ***            | *                  |
| Longueur de l'épi    | ***            | **                 |
| Longueur de la barbe | *              | NS                 |
| Date d'épiaison      | ***            | NS                 |
| Hauteur de la plante | ***            | *                  |
| Poids de 1000 grains | ***            | *                  |

ddl: degrés de liberté; NS: non significative; \* P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

L'ANOVA a montré des différences significatives ( $P < 0,05$ ) ou hautement significatives ( $P < 0,001$ ) entre les zones de collecte pour l'ensemble des  $H'$  estimées à partir des caractères phénotypiques, excepté pour le  $H'$  du caractère «couleur de la barbe». Ce résultat indique que pour ce caractère, les indices de diversité estimés pour chaque zone sont les mêmes.

Au niveau des altitudes, l'ANOVA sur les valeurs des  $H'$  a montré des variations significatives entre les 3 classes d'altitudes pour certains caractères, comme la couleur du grain, la densité de l'épi. Toutefois, il n'y a pas d'effet «altitude» sur la diversité ( $H'$ ) de la couleur et de la longueur de la barbe ainsi que sur l'épiaison.

Une analyse hiérarchique de la variance sur la moyenne de  $H'$  de l'ensemble des caractères a été réalisée (Tableau 5 et Tableau 6). Les résultats de cette analyse montrent des différences significatives entre les zones d'études ainsi qu'entre les classes d'altitude pour le  $H'$  moyen. Toutefois, le niveau de diversité intra population est le même pour toutes les populations dans chaque zone et dans chaque classe d'altitude.

### Structuration de la diversité

Dans le but d'identifier les caractères qui contribuent à la structuration des populations locales de blé dur dans les différentes régions de collectes et les différents niveaux d'altitude, une analyse en composante multiple a été réalisée. Les résultats de cette analyse sont représentés sur le tableau 7.

L'analyse en composantes multiples (ACM) sur l'ensemble des caractères morphologiques mesurés révèle que les 5 premiers axes expliquent plus de 45% de la variation totale de la diversité (respectivement 16% pour le 1<sup>er</sup> axe; 8% pour l'axe 2, 7% pour l'axe 3 et 6% pour l'axe 4). Les caractères fortement corrélés au premier axe sont «couleur de la barbe» et le «type d'épi». Le deuxième axe est corrélé positivement au caractère «hauteur de la plante» et au caractère «longueur de la barbe». Alors que, l'axe 3 est principalement corrélé avec le caractère «Date de l'épiaison».

La représentation des 101 populations locales de blé dur dans le plan principal de l'ACM met en évidence une structuration à caractère zonal en différenciant deux

**Tableau 5: Analyse hiérarchique de la variance réalisée à partir des  $H'$  de chaque trait dans les zones d'études.**

| Sources de variation | Degré de liberté | Carré Moyen | F-ratio |
|----------------------|------------------|-------------|---------|
| Zones                | 5                | 0,06        | 7,09*** |
| Populations / zone   | 95               | 0,01        | 0,68 NS |
| Populations          | 101              | 0,01        |         |

NS: non significative; \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$

**Tableau 6 : Analyse hiérarchique de la variance réalisée à partir des  $H'$  de chaque trait dans les classes d'altitudes.**

| Sources de variation   | Degré de liberté | Carré Moyen | F-ratio |
|------------------------|------------------|-------------|---------|
| Altitude               | 2                | 0,05        | 5,86**  |
| Populations / altitude | 98               | 0,01        | 0,90 NS |
| Populations            | 101              | 0,01        |         |

NS: non significative; \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$

**Tableau 7 : Pourcentages de contribution des traits agro-morphologiques sur la variation totale dans les 5 premiers axes de l'ACM.**

| Caractères                      | Vecteur de variation |       |       |       |       |
|---------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                 | Axe 1                | Axe 2 | Axe 3 | Axe 4 | Axe 5 |
| Couleur de la barbe             | 70,90                | 0,10  | 0,20  | 0,30  | 0,00  |
| Couleur du grain                | 8,00                 | 18,20 | 6,30  | 20,00 | 22,70 |
| Type d'épi                      | 68,60                | 0,60  | 0,50  | 1,30  | 2,10  |
| Densité de l'épi                | 24,30                | 11,30 | 21,90 | 15,70 | 1,90  |
| Longueur de l'épi               | 14,60                | 18,80 | 21,50 | 48,30 | 5,30  |
| Longueur de la barbe            | 23,40                | 25,60 | 14,60 | 3,60  | 1,90  |
| Date d'épiaison                 | 26,20                | 11,60 | 42,30 | 4,80  | 23,80 |
| Hauteur de la plante            | 12,30                | 27,40 | 11,70 | 0,20  | 16,40 |
| PMG                             | 12,80                | 18,00 | 6,70  | 16,70 | 30,50 |
| Eigenvalue                      | 0,29                 | 0,15  | 0,14  | 0,12  | 0,12  |
| % de la variance totale         | 16,32                | 8,23  | 7,86  | 6,93  | 6,54  |
| % de la variance totale cumulée | 16,32                | 24,55 | 32,41 | 39,34 | 45,88 |

grands groupes (Figure 2). Les deux premiers axes de l'ACM permettent d'opposer deux groupes. Le premier groupe est constitué des populations des zones 1, 2, 4 et 5, tandis que le deuxième groupe est constitué des populations des zones 3 et 6.

Ces observations ont été confirmées par l'analyse de la matrice de similarité et par la classification ascendante hiérarchique (CAH) réalisée suivant le critère d'agrégation de Ward à partir des coordonnées des populations de blé dur sur les 5 premiers axes de l'ACM, permettant d'identifier

deux grands groupes selon leur degré de ressemblance phénotypique (Figure 3). L'analyse du dendrogramme fait ressortir deux groupes. Un premier groupe, constitué des populations des zones 1, 2, 4 et 5 et un deuxième groupe, formé des populations des zones 3 et 6.

Les résultats de l'ACM et du dendrogramme sont en total concordance avec les résultats des tableaux 2 et 3. En effet, pour certains caractères, les fréquences phénotypiques sont similaires entre les zones 3 et 6, ainsi qu'entre les zones 1, 2, 4 et 5. Les indices de diversité  $H'$  ont également démontré cette tendance.

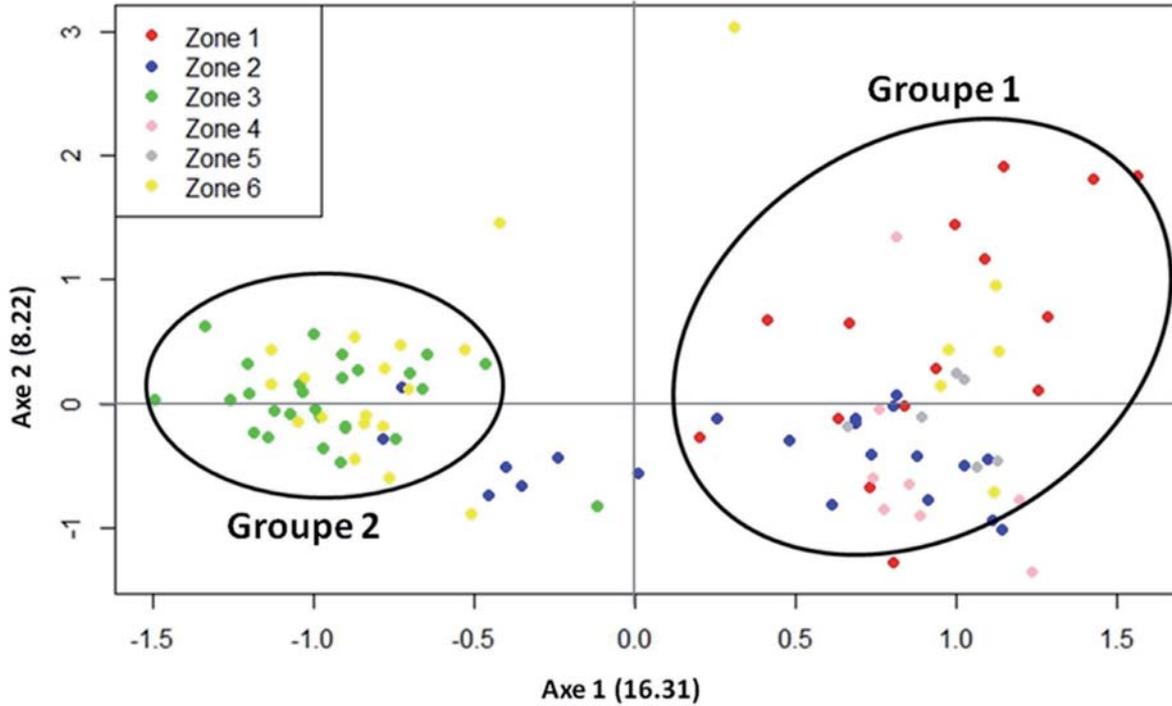


Figure 2: Projection des 101 populations de blé dur issues des 6 zones d'étude, sur les plans des axes 1-2 de l'ACM sur la base des variables phénotypiques et morphologiques considérées dans notre étude

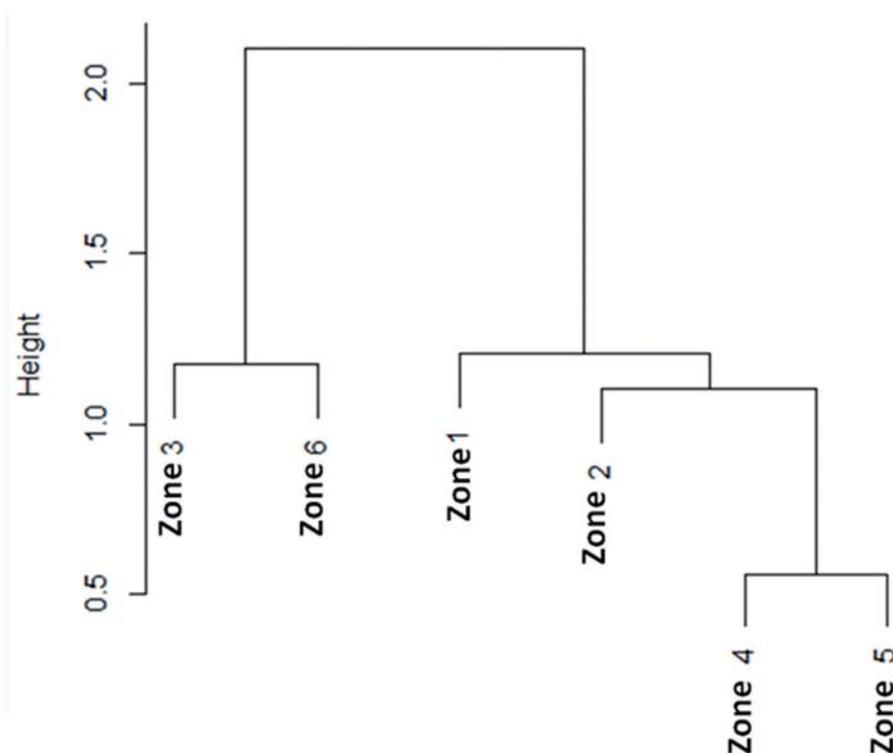


Figure 3: Classification ascendante hiérarchique (utilisant des distances euclidiennes et les critères d'agrégation de Ward) des 6 régions de collecte sur la base des variables phénotypiques et morphologiques considérées dans notre étude

## DISCUSSION

L'utilisation des traits morphologiques pour l'étude et l'analyse de la diversité génétique peut être complémentaire aux techniques de marquage moléculaire et les informations obtenues peuvent être utilisées dans la gestion et le maintien des ressources génétiques (Rogers et Fleming, 1973; Maduakor et Lal, 1989).

L'objectif de notre étude était d'analyser la diversité de populations locales de blé dur issues des oasis de montagnes de l'Atlas oriental en se basant sur neuf caractères agro-morphologiques ainsi que sur l'origine de chaque population étudiée.

Les populations de blé à barbe noire sont légèrement prédominantes comparées à celles à barbe blanche. Ce résultat est en concordance avec celui de Jain *et al.* (1975), qui a indiqué qu'au sud de l'Europe et au nord de l'Afrique, les blés tétraploïdes à barbe noire sont les plus fréquents.

Les types d'épis lâches et très denses sont rares, avec une large dominance des épis de densité intermédiaire. Des résultats identiques ont été reportés dans l'étude de Zarkti *et al.* (2012), qui a analysé la diversité morphologique de populations locales de blé dur collectées dans différentes régions du Maroc.

Les fréquences des trois classes de couleur des grains sont uniformément réparties sur les différentes zones de collecte, avec une nette abondance des populations à grains «bruns». Au Maroc, l'utilisation du blé dur ne se limite pas à la panification, mais aussi à sa transformation en semoule pour la production de couscous ou autres dérivés. Nos résultats ont montré la présence de différentes classes de couleurs de grains indiquant ainsi que les agriculteurs sélectionneraient les grains en fonction des différents types d'usages. Belay *et al.* (1995), ayant étudié la diversité phénotypique des populations locales de blé dur en Ethiopie, a également reporté dans son étude la présence d'un large éventail de types morphologiques associés au caractère «couleur des grains» et il a expliqué ce résultat par le fait que c'est lié aux coutumes traditionnelles de consommation des agriculteurs de chaque région.

Les gammes de variation des différentes valeurs des caractères quantitatifs mesurés, à savoir la date d'épiaison, la hauteur des plantes et le PMG, sont supérieures à celles reportées par Zarkti *et al.* (2012) qui a travaillé sur des populations locales marocaines de blé dur et Sourour *et al.* (2009) qui a étudié la diversité des variétés de blé dur tunisien.

Les résultats de cette étude ont démontré des niveaux de diversité élevés pour les différentes régions d'études et les différentes classes d'altitude en se basant sur les variables qualitatives et quantitatives.

L'indice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) a montré une large variabilité pour l'ensemble des caractères considérés. Le  $H'$  moyen obtenu est de l'ordre de 0,62, indiquant ainsi la présence d'un degré élevé de polymorphisme au sein des populations locales de blé dur collectées. Les estimations de  $H'$  observées dans notre étude, sont semblables à celles reportées pour les populations locales de blé dur en Ethiopie (Eticha *et al.*, 2005; Hailu *et al.*, 2010), en Jordanie (Jaradat, 1992), en Oman (Al Khanjari *et al.*, 2008) et en Tunisie (Sourour *et al.*, 2009; Sourour *et al.*, 2010).

L'indice de diversité  $H'$  varie d'une région à une autre et d'une classe d'altitude à une autre. En effet, les indices de diversité les plus élevés ont été enregistrés dans les classes d'altitudes moyennes (vallée moyenne). L'une des raisons qui peuvent expliquer ce résultat est le fait que la vallée moyenne regroupe les populations de blé de la zone 2. En effet, la zone 2 est une zone de transition entre les zones 1, 4 et 5 et les zones 3 et 6 (Figure 1) où les pratiques agricoles sont multiples et hétérogènes favorisant ainsi une diversité élevée de certains caractères. La variabilité des indices de  $H'$  estimés dans cette étude est peut être associée à l'adaptation de ces populations de blé dur aux différents environnements dans lesquels elles sont cultivées depuis des siècles. Des résultats similaires ont été enregistrés pour l'orge en Ethiopie par Abede et Bjornstad (1996).

L'analyse hiérarchique de la variance, a indiqué qu'il existe des différences très hautement significatives entre les zones de collecte et aussi entre les différentes classes d'altitudes. Toutefois, il n'y a pas de différence de diversité entre les populations au sein des zones de collecte ou des classes d'altitude. Les mêmes résultats ont été reportés dans des études comparables sur le blé dur en Ethiopie (Eticha *et al.*, 2005). Alors que dans d'autres études similaires, comme celle de Bechere *et al.* (1996), il a été reporté que la variance la plus élevée existe entre les populations à l'intérieur des zones de collectes et des différentes classes d'altitudes. Eticha *et al.* (2005) a expliqué ces résultats par le fait que les stratégies de sélection dépendent énormément des variations des conditions édapho-climatiques et topographiques au sein des sites de collecte.

Les analyses multi-variées ont permis de regrouper les populations étudiées de blé dur selon leurs degrés de similarité sur les caractères agro-morphologiques considérés. Les résultats de l'ACM ainsi que ceux de la classification hiérarchique, ont montré que la proximité géographique et l'altitude jouent un rôle majeur dans la discrimination des populations de blé dur collectées. Des résultats similaires ont été observés dans les études de Messele *et al.* (2001) et Hailu *et al.* (2006), qui ont reporté qu'il existe un fort effet de l'altitude dans la distribution de la diversité morphologique des populations locales de blé dur en Ethiopie.

La présence d'une importante variabilité morphologique inter et intra zones de collecte peut être aussi mise en relation avec les différentes modalités de flux de semences entre les agriculteurs des différentes régions prospectées. Les enquêtes menées auprès des agriculteurs (Chentoufi *et al.*, 2014) ont démontré l'existence de réseaux informels d'échange de semences qui assurent l'approvisionnement ou le renouvellement de ces derniers. Les conditions environnementales défavorables imposent aux agriculteurs un recours aux semences extérieures en complément de la semence issue de leur précédente récolte. Les sources de semences sont multiples (voisins d'un même village, les membres d'une même famille, au niveau du marché local ou même dans certains cas au niveau des marchés hebdomadaires des villages voisins). Les réseaux d'approvisionnement des différents agriculteurs finissent par s'entrecroiser et les échanges

de semences inter-villages s'effectuent sur une large échelle géographique (Emperaire *et al.*, 1998; Chambers et Brush, 2010; Coomes, 2010). Ces résultats combinés à ceux de l'ACM (Figure 2), de la CAH (Figure 3) et des fréquences phénotypiques (Tableau 2) réalisés dans cette étude, permettent d'expliquer la structuration de la diversité et les regroupements des populations locales de blé dur étudiées et valident ainsi les échanges de semences entre les agriculteurs des zones 3 et 6 ainsi que ceux des zones 1, 2, 4 et 5 reportés par Chentoufi *et al.* (2014) d'après les dires des agriculteurs de ces régions. Assefa *et al.* (2003), ayant travaillé sur la diversité phénotypique et la structuration des populations traditionnelles de teff (*Eragrostis tef* (Zuccagni)) en Ethiopie, a démontré qu'il existe une similarité entre les populations provenant de régions géographiquement proches et que les échanges de semences entre les agriculteurs des régions voisines expliquent cette structuration. Les flux de semence entre agriculteurs favorisent le maintien d'une variabilité intra- et intra- régions (Heckler et Zent, 2008; Bezançon *et al.*, 2009). Ces systèmes de gestion traditionnelle des populations locales de blé dur contribuent efficacement au maintien et à la conservation de la diversité (Jaradat, 2013).

Les informations recueillies à partir des résultats de cette étude peuvent être intéressantes pour des programmes de sélection et de conservation de la diversité. En effet, les populations locales de blé dur abritent une richesse génétique, qui est structurée et largement adaptée aux différentes conditions éco-géographiques. Au Maroc, la culture des populations locales est toujours prédominante dans certaines régions. Afin d'augmenter la production de ces populations de blé dur tout en maintenant un niveau de diversité appréciable, il est crucial d'améliorer leur productivité et maximiser leurs utilisations.

## CONCLUSION

Cette étude suggère que les populations locales de blé dur présentent un degré élevé de variabilité pour la plupart des caractères agronomiques considérés. Cette variabilité n'est pas uniforme et dépend fortement des zones de collecte ainsi que des différents facteurs environnementaux et socioculturels. Les populations locales doivent être considérées comme un réservoir de diversité, que les chercheurs et sélectionneurs doivent exploiter et utiliser dans leurs programmes de recherche, tout en menant des programmes durables de conservation *in situ*.

## REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à AGROPOLIS Fondation pour sa contribution au financement du projet ARCAD et à l'équipe scientifique et technique travaillant sur ce projet.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abebe D. and Bjornstad A. (1996). Genetic diversity in Ethiopian barley in relation to geographical regions, altitude range and agro-ecological zones as an aid to germplasm collection and conservation strategy. *Hereditas* 124: 17-29.
- Aït El Mekki A. (2006). Les politiques céréalières au Maroc. Les notes d'analyse du CIHEAM (7).
- Al Khanjari S., Filatenko A.A., Hammer K. and Buerket A. (2008). Morphological spike diversity of Omani wheat. *Genet Resour Crop Evol* 55: 1185-1195.
- Assefa K., Merker A. and Tefera H. (2003). Multivariate analysis of diversity of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) germplasm from western and southern Ethiopia. *Hereditas* 138: 228-236.
- Bechere E., Belay G., Mitiku D. and Merker, A. (1996). Phenotypic diversity of tetraploid wheat landraces from northern and north central regions of Ethiopia. *Hereditas* 124: 165-172.
- Belay G., Tesemma T., Bechere E. and Mitiku D. (1995). Natural and human selection for purple-grain tetraploid wheats in the Ethiopian highlands. *Genetic Resources and Crop Evolution* 42: 387-391.
- Bellon M. R. (1996). The dynamics of crop infra specific diversity: A conceptual framework at the farmer level 1. *Economic botany* 50: 26-39.
- Bezançon G., Pham J-L., Deu M., Vigouroux Y., Sagnard F., Mariac C., Kapran I., Mamadou A., Gérard B., Ndjeunga J., Chantreau J. (2009). Changes in the diversity and geographic distribution of cultivated millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties in Niger between 1976 and 2003. *Genetic resources and crop evolution* 56: 223-236.
- Brush S. B. (1991). A farmer-based approach to conserving crop germplasm. *Economic Botany* 45: 153-165.
- Brush S. B. (1998). Bio-cooperation and the benefits of crop genetic resources: the case of Mexican maize. *World Development* 26: 755-766.
- Chambers K. J. and Brush S. B. (2010). Geographic Influences on Maize Seed Exchange in the Bajío, Mexico. *The Professional Geographer* 62: 305-322.
- Chentoufi L., Sahri A., Arbaoui M., Belqadi L., Birouk A., Roumet P. and Muller M.H. (2014). Anchoring durum wheat diversity in the daily reality of traditional agricultural systems: varieties, seed management, and farmer's perception in two Moroccan regions. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10: 58.
- Coomes O. T. (2010). Of Stakes, Stems, and Cuttings: The Importance of Local Seed Systems in Traditional Amazonian Societies. *The Professional Geographer* 62: 323-334.
- Emperaire L., Pinton F., et Second G. (1998). Gestion dynamique de la diversité variétale du manioc en Amazonie du Nord-Ouest. *Nature Sciences Sociétés* 6: 27-42.
- Eticha F., Bekele E., Belay G. and Börner A. (2005). Phenotypic diversity in tetraploid wheats collected from Bale and Wello regions of Ethiopia. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 3: 35-43.
- Hailu F., Merker A., Belay G. and Johansson, E. (2006). Multivariate analysis of diversity of tetraploid wheat germplasm from Ethiopia. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53: 1089-1098.
- Hailu F., Johansson E. and Merker A. (2010). Patterns of phenotypic diversity for phenologic and qualitative traits in Ethiopian tetraploid wheat germplasm. *Genetic Resources and Crop Evolution* 57: 781-790.

- Harlan J. R. (1992). *Crops and Man*, Second Edition. Madison: American Society of Agronomy.
- Hawkes J. G. (1983). *The diversity of crop plants*. Cambridge: Harvard University Press.
- Heckler S. and Zent S. (2008). Piaroa Manioc Varietals: Hyperdiversity or Social Currency?. *Human Ecology* 36: 679-697.
- IBPGR (1985). *Descriptors of wheat (revised)*. IBPGR Secretariat, Rome.
- Jain S. K., Qualset C. O., Bhatt G. M. and Wu K. K. (1975). Geographical patterns of phenotypic diversity in a world collection of durum wheats. *Crop Science* 15: 700-704.
- Jaradat A. A. (1992). Estimates of phenotypic diversity and trait associations in durum wheat landraces from Jordan. *J. Genet. Breed.* 46: 69-76.
- Jaradat A. A. (2006). Phenotypic divergence in the meta-population of the Hourani wheat landrace. *J. Food Agric. Env.* 4:186-191.
- Jaradat A. A. (2013). Wheat Landraces: A mini review. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 25: 20-29.
- Jaradat A. A. and Shahid, M. (2014). How diverse a farmer-managed wheat landrace can be?. *Emirates Journal of Food And Agriculture* 26: 93-118.
- Jouve A. M., Belghazi S. and Kheffache Y. (1995). La filière des céréales dans les pays du Maghreb: constante des enjeux, évolution des politiques. *Options Méditerranéennes, Série B* 14: 169-192.
- Kebebew F., Tsehaye Y. and McNeilly T. (2001). Morphological and farmers cognitive diversity of barley (*Hordeum vulgare L.[Poaceae]*) at Bale and North Shewa of Ethiopia. *Genetic Resources and Crop Evolution* 48: 467-481.
- Khel Z., Garci-Ferrer A. and Nachit M.M. (2013). Using Bayesian and Eigen approaches to study spatial genetic structure of Moroccan and Syrian durum wheat landraces. *American Journal of Molecular Biology* 3: 17-31.
- Maduakor H. O. and Lal R. (1989). Root system top-growth and yield of cassava (*Manihot esculenta Crantz*) as affected by plant population in an arid soil. *J. Root Crops* 15: 115-122.
- MAPM (2013). Ministère de l'agriculture et de la pêche maritime. Bilan de la campagne agricole 2012-2013. Direction de la production végétale.
- Messele T., de Jong J. H., Koornneef M. and van den Berg, R. G. (2001). Morphological diversity in Ethiopian tetraploid wheat (*Triticum turgidum L.*) landraces. PhD dissertation, Wageningen University, Wageningen.
- Pecetti L., Annicchiarico P. and Damania A. B. (1992a). Biodiversity in a germplasm collection of durum wheat. *Euphytica* 60: 229-238.
- Pecetti L., Damania A. B. and Kashour G. (1992b). Geographic variation for spike and grain characteristics in durum wheat germplasm adapted to dryland conditions. *Genetic Resources and Crop Evolution* 39: 97-105.
- Pecetti L. and Nachit M. M. (1993). Phenotypic variation of durum wheat landraces from Morocco and influence of some features of the collecting site. *Agricoltura Mediterranea* 123: 243-243.
- Pecetti L. and Damania A. B. (1996). Geographic variation in tetraploid wheat (*Triticum turgidum spp. Turgidum convar. Durum*) landraces from two provinces in Ethiopia. *Genetic Resources and Crop Evolution* 43: 395-407.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Rogers D. J. and Fleming H. S. (1973). A monograph of *Manihot esculenta* with an explanation of the taximetrics methods used. *Economic Botany* 27: 1-113.
- Sadiki M., Birouk A., Bouizzgaren A., Belqadi L., Rh'rrib K., Taghouti M., Kerfal S., Lahbhili M., Bouhya H., Douiden R., Saidi S. et Jarvis D. (2002). La Diversité Génétique in Situ du blé dur, de l'orge, de la Luzerne et de la Fève: Options de Stratégie Pour sa Conservation. In *La Conservation in-Situ de la Biodiversité Agricole: un Défi Pour une Agriculture Durable*. Actes du Séminaire National Rabat, 21 et 22 Janvier 2002; Rabat (Maroc). International Plant Genetic Resources Institute (Rome, Italy):37-117.
- Sadiki M., Arbaoui M., Ghaoui L. and Jarvis D. (2005). Seed exchange and supply systems and on-farm maintenance of crop genetic diversity: a case study of faba bean in Morocco. In *Seed systems and crop genetic diversity on-farm*. Proceedings of a workshop, 16-20 September, 2003, Pucallpa, Peru. International Plant Genetic Resources Institute (Rome, Italy): 83-87.
- Shannon C.E. and Weaver W. (1948). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Sourour A. and Hajer S. A. (2009). Distribution and phenotypic variability aspects of some quantitative traits among durum wheat accessions. *African Crop Science Journal* 16 (4).
- Sourour A., Chahine K., Youssef T., Olfa S. A. and Hajer S. A. (2010). Phenotypic diversity of Tunisian durum wheat landraces. *African Crop Science Journal* 18(1).
- St. B. Brush and Meng E. (1998). Farmers' evaluation and conservation of crop genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution* 45: 139-150.
- Vavilov N. I. (1951). The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Soil Science* 72: 482.
- Zar, J. H. *Biostatistical Analysis*, 3<sup>rd</sup> Edition, 1996.
- Zarkti H., Ouabbou H., Udupa S. M., Gaboun F. and Hilali A. (2012). Agro-morphological variability in durum wheat landraces of Morocco. *Australian Journal of Crop Science* 6: 1172.
- Zhao, C., Cui, F., Fan, Z., Li, J., Ding, A., and Wang, H. (2013). Genetic analysis of important loci in the winter wheat backbone parent Aimengniu-V. *Australian Journal of Crop Science* 7:182-188.