

Evolution comparée de la production et de la compétitivité du tournesol (*Helianthus annuus* L.) en conditions hydriques limitantes

N. AOUN¹
S. KHOUFI¹
S. SLIM^{*2}
F. BEN JEDDI¹

¹ Université de Carthage. Laboratoire des Sciences Horticoles, INA Tunisie

² Université de Carthage. Laboratoire des Sciences Horticoles, ESA Mateur.

Corresponding author: slimbss@yahoo.fr

Abstract - In Tunisia, the improvement of the industrial oleaginous as sunflower (*Helianthus annuus* L.) represents a strategic action for the sector of the big crops. However, the major constraint in the development of this crop is the absence of varieties improved from local genotypes adapted to the bioclimatic context characterized by chronic aridity. Five lines of sunflower (C_{8.3.1.2}, C_{7.3.2.2}, C_{1.3.1.1}, C_{5.2.3.2}, C_{31.1.1.2}), selected from 80 autochthonous populations were estimated in semi dry upper in soft winter according to two water regimes (RH₅₀ = 312mm and RH₁₀₀ = 512mm) compared with the pluvial witness (127mm). These five sunflowers were compared with an hybrid (64A71). From a water regime to the other one, a significant agro-physiological variability was observed within lines. The thermal characterization of sunflowers in the bloom stage and in pluvial regime showed a group of hative sunflower (C_{7.3.2.2}, C_{1.3.1.1}, C_{5.2.3.2}, C_{31.1.1.2}) with an accumulation of 696,7°Cd and a late group (C_{8.3.1.2} and 64A71) with an accumulation of 801,9°Cd. The analysis of some osmolytes as proline showed that C_{8.3.1.2} is the most tolerant in the drought. The drought tolerance of C_{7.3.2.2} allowed stability at the level of the production in seeds through three water regimes. This stability was observed at the level of hundred seeds weight. The variation of water regime has no effect on the protein value of sunflower seeds.

Keywords: sunflower / autochthonous populations / drought / seeds production

Résumé

En Tunisie, l'amélioration des oléagineuses à but industriel comme le tournesol (*Helianthus annuus* L.) représente une action stratégique pour le secteur des grandes cultures. Cependant, la contrainte majeure au développement de cette culture est l'absence de variétés améliorées d'origine locale



adaptées au contexte bioclimatique caractérisé par des sécheresses chroniques. Cinq lignées de tournesol présélectionnées ($C_{8.3.1.2}$, $C_{7.3.2.2}$, $C_{1.3.1.1}$, $C_{5.2.3.2}$, $C_{31.1.1.2}$), à partir d'un ensemble de 80 populations autochtones ont été évaluées dans le semi aride supérieur à hiver doux selon deux régimes hydriques ($RH_{50} = 312\text{mm}$ et $RH_{100} = 512\text{mm}$) comparés au témoin pluvial (127mm). Ces génotypes ont été comparés à un témoin hybride (64A71). D'un régime hydrique à l'autre, une variabilité agro-physiologique significative a été observée au sein de ces lignées. La caractérisation thermique des tournesols à la floraison et en régime pluvial fait apparaître un groupe de tournesol ($C_{7.3.2.2}$, $C_{1.3.1.1}$, $C_{5.2.3.2}$, $C_{31.1.1.2}$) précoce avec un cumul de $696,7^{\circ}\text{Cj}$ et un groupe tardif ($C_{8.3.1.2}$ et 64A71) avec un cumul de $801,9^{\circ}\text{Cj}$. L'analyse de certains osmolytes comme la proline a montré que la lignée $C_{8.3.1.2}$ est la plus tolérante à la sécheresse. La tolérance à la sécheresse du tournesol $C_{7.3.2.2}$, a permis une stabilité au niveau de la production en graines à travers les trois régimes hydriques. Cette stabilité a été de même observée au niveau du poids de cent graines. La variation du régime hydrique n'a aucun effet sur la valeur protéique des graines de tournesol.

Mots clés : tournesol / populations autochtones / sécheresse / production en graines

1. Introduction

Le tournesol (*Helianthus annuus* L.) est une espèce ayant des performances biologiques lui permettant de bien valoriser des milieux à ressource hydrique limitante. En Tunisie, l'évaluation de la diversité génétique au sein de l'espèce en rapport avec l'apport d'eau est un outil de sélection prometteur pour son développement en zones semi-arides. Dans ces régions, Le tournesol est représenté par des populations très hétérogènes sujettes à de grandes fluctuations climatiques. En conséquence, leur production en graines se

trouve affaiblie avec une mauvaise qualité de remplissage. Etant donné la concurrence croissante pour l'utilisation de l'eau dans les périmètres irrigués, le tournesol ne peut jamais bénéficier massivement de l'irrigation (Kiani, 2007). Par ailleurs, l'espèce doit conserver son image de culture économe en eau. D'où l'intérêt de développer les voies d'amélioration de la productivité du tournesol dans le cadre d'une contrainte hydrique plus ou moins marquée. Ainsi, l'amélioration de la productivité du tournesol repose sur deux approches complémentaires: l'optimisation de la conduite culturale et la sélection de génotypes particuliers valorisant mieux les apports d'eau limités. Analyser les réponses au stress hydrique est primordial dans les protocoles expérimentaux entrepris dans les programmes de sélection des cultivars de tournesol. Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre de travaux entrepris pour une meilleure gestion et valorisation de l'eau dans un contexte climatique sujet à des changements de plus en plus sensibles. L'étude porte sur une évaluation agro-morphologique et biochimique *in situ* de 6 génotypes de tournesol sous diverses conditions hydriques.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Matériel biologique

Six lignées de tournesol (*Helianthus annuus* L.) sélectionnées et maintenues par l'unité de recherche cultures maraîchères et florale (UCMF), projet symbiotes rhizo-mycorhiziens et phytoremédiation (SRMP) (Institut National Agronomique de Tunisie) ont fait l'objet de la présente étude : **H1 / H2 / H3 / H4 / H5** et **H6** de Génotypes respectifs $C_{8.3.1.2}$ / **64A71** / $C_{7.3.2.2}$ / $C_{1.3.1.1}$ / $C_{5.2.3.2}$ et $C_{31.1.1.2}$.

2.2. Caractérisation du site expérimental

L'essai expérimental a été réalisé dans le site de l'INAT (Institut National Agronomique de Tunisie) de longitude $10^{\circ}11'$; latitude $36^{\circ}55'$; et altitude 10m. Le sol est de type peu évolué d'apport alluvial (tableau 1).

Tableau 1: Caractéristiques physiques de la couche arable (0-20cm) du sol

Caractéristiques physiques			Caractéristiques chimiques					
Argile%	Limons%	Sable%	pH	NT%	MO%	C/N	P ppm	K ppm
40	33	25	8,00	0,065	2,12	18,96	27,33	440,00



L'étage bioclimatique du site est le semi aride supérieur caractérisé par un hiver doux et humide, un printemps venté et un été sec.

2.3. Dispositif expérimental

Deux facteurs de variation ont été évalués dans un dispositif expérimental en blocs aléatoires. Le premier facteur est représenté par les 6 lignées de tournesol, alors que le deuxième est caractérisé par 3 régimes hydriques: 100 et 50% des besoins hydriques du tournesol (512mm) avec comme témoin le pluvial.

2.4. Conduite de l'essai expérimental

Un déchaumage a été effectué en fin de cycle du précédent cultural (début septembre). Suivie par un labour superficiel avec un outil à disques, suivie d'un recroisement. La préparation du lit de semences a été effectuée manuellement par des râtaux. L'ouverture des lignes de semis a été faite par une binette. Sur chaque ligne de semis, 12 graines de tournesol ont été semées à 2cm de profondeur et espacées de 10cm. Les apports d'engrais phosphaté et potassique n'ont pas été réalisés vu les reliquats largement suffisants trouvés dans le sol. Trois apports présentant chacun 30% des besoins totaux de la plante (50 unité/ha) ont été répartis selon des stades de développement particuliers. Un éclaircissage a été effectué au stade cinq paires de feuilles en laissant sur chaque ligne 8 plants de tournesol espacés de 25cm. Le désherbage a été effectué manuellement durant les premiers stades de développement du tournesol. Avant chaque opération d'irrigation, des mesures de l'humidité de sol sur 3 horizons (20, 40, et 60cm) ont été effectuées. L'apport de l'eau d'irrigation avait une fréquence de deux fois par semaine.

2.5. Paramètres mesurés

La teneur en protéines brutes dans les graines de tournesol a été déterminée par la méthode Kjeldahl. La teneur en protéines a été calculée par le produit du pourcentage d'azote avec un coefficient 6,25.

Le suivi de la cinétique de levée des tournesols a été fait quotidiennement par un comptage des plants au sein de toutes les unités expérimentales sur une durée de 37 jours. Une mesure de la hauteur des plantes de tournesol a été réalisée pour les différentes lignées; et à quatre stades phénologiques (stade végétatif, stade bouton floral, stade floraison, stade

maturité). La surface foliaire des tournesols a été mesurée à tous les stades phénologiques (végétatif, bouton floral, floraison, maturité). Elle a été déterminée selon l'équation de Pilorgé *et al.* (2004), et Pouzet et Bugat (1985). A chaque stade phénologique des tournesols, le cumul thermique a été calculé selon Cross and Zuber, 1972; Gilmore and Rogers, 1958; Klepper *et al.*, 1984; McMaster, 1993; Mc-Master and Smika, 1988; Russelle *et al.*, 1984). L'observation de l'évolution des stades a été faite à une fréquence de deux fois par semaine.

Les teneurs en chlorophylle ont été déterminées selon deux méthodes:

- Technique SPAD: La teneur en chlorophylle a été déterminée par un SPAD mètre ou chlorophyllomètre.

- Technique d'extraction de la chlorophylle par l'acétone: La technique d'extraction de la chlorophylle a été celle décrite par Arnon (1949). Les différentes concentrations de chlorophylle ont été déterminées par la loi de Beer Lambert.

Pour déterminer la teneur en proline, La technique utilisée est celle de Troll et Lindsley (1955) simplifiée par Dreier et Goring (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986). Le principe est la quantification de la réaction proline ninhydrine par mesure spectrophotométrique.

En atteignant la phase de maturité, les capitules ont été décapités et décortiqués afin de récupérer les graines de chacun par lignée de tournesol et régime hydrique séparément. Les graines ont été caractérisées quantitativement et qualitativement selon les critères suivants:

- Poids des graines par capitule en gramme: les graines de chaque capitule ont été pesées séparément.
- Poids de 100 graines en gramme: cent graines par lot (capitule) ont été comptées puis pesées.
- Poids de la canne en gramme: chaque canne relative à chaque lignée et traitement a été pesée séparément.
- Poids des fanes en gramme: cette partie à restituer au sol a été de même pesée pour chaque plante.
- Efficacité de l'utilisation de l'eau: ce paramètre a été estimé selon l'équation de Passioura (1986).



2.6. Analyse statistique

Les différents paramètres étudiés ont été analysés moyennant le logiciel SAS (version 9.1). L'ensemble des mesures a fait l'objet d'une analyse de variance à facteurs multiples (Lignées, Régime hydrique, Stades biologiques) en utilisant la procédure PROC ANOVA avec l'option de comparaison des moyennes LSD du SAS (9.1). La signification de la variance a été vérifiée par le test de Fisher au seuil 5%. Les interactions CV ont été comparées en utilisant la macro PD Mix 80 de la procédure PROC Mix du SAS 9.1.

3. Résultats et Discussion

3.1. Effet du stress hydrique sur la levée des tournesols

Les taux de levée des tournesols varient de 59,33% ; 70,88% ; 59,33% respectivement en pluvial, RH₅₀ et RH₁₀₀. La lignée H3 renferme le taux de levée le plus bas (33,33%) quelque soit le régime hydrique; cette faiblesse de levée est d'origine génotypique. Alors que la lignée H4 a le taux de levée le plus élevé (81,33%). La faculté germinative est un facteur lié essentiellement au génotype, mais aussi aux variations climatiques. D'après Cook (1979) et Jones (1986), la germination des graines est l'étape la plus sensible aux stress environnementaux. Le déficit hydrique est l'une des limitations les plus importantes du développement et de la croissance des plantes en raison du rôle essentiel de l'eau dans le métabolisme des végétaux. Cependant, il existe une grande variation entre les espèces pour le potentiel hydrique minimum de la germination (Evans et Etherington, 1990).

La levée des tournesols suit une dynamique en deux temps. La première s'étend sur une période de 20j après le semis; alors que la seconde couvre les 10 jours suivants jusqu'à stabilisation des levées. Le régime pluvial induit des levées limitées durant la première phase et qui se situent entre 3,85 et 20,51%. Juste après cette période de latence, toutes les lignées de tournesols marquent un accroissement rapide des levées pour atteindre des niveaux proches et équivalents à ceux des autres tournesols en condition hydrique RH₅₀ et RH₁₀₀.

Quelque soit le régime hydrique, la lignée H3 se caractérise par une levée très faible de 29,49; 38,46 et 33,33% respectivement pour les régimes hydriques pluvial, RH₅₀, et RH₁₀₀ comparée aux autres.

La première phase de latence de levée des tournesols s'est caractérisée par une pluviosité de 6,5mm. Ce volume d'eau pluviale a entraîné une levée variant de 0,59 à 3,15% /mm respectivement pour H3 et H1. Alors que la deuxième phase a été mieux arrosée soit une hauteur pluviale de 39,5mm. Encore une fois, la réponse à cet apport d'eau naturelle a été variable de 1,94 à 4,66% /mm respectivement pour H3 et H4 en RH₅₀ et de 1,20 à 2,75%/mm respectivement pour H3 et H4 en RH₁₀₀.

En condition pluviale, la D₅₀ relative à toutes lignées est constante de l'ordre de 23 à 24 jours. Cependant, la réponse à un complément d'eau d'irrigation est variable d'un tournesol à l'autre.

Trois classes de tournesol peuvent être détectées selon le niveau des D₅₀ relatives à chaque apport d'eau supplémentaire. Selon le régime hydrique, les lignées H1 et H5 se caractérisent par une stabilité de leur D₅₀. Cependant, H3 répond nettement mieux au régime RH₁₀₀, ce qui dénote sa sensibilité à la sécheresse.

3.2. Caractérisation thermique des stades biologiques des tournesols

La levée des tournesols en régime pluvial a nécessité des cumuls thermiques plus importants que les autres régimes de l'ordre de 157,2°Cj pour toutes les lignées sauf H3 qui a cumulé 171,1°Cj (Tableau 2). Les apports d'eau complémentaires RH₅₀ et RH₁₀₀ ont permis un gain de chaleur de 56,78 à 31,37°Cj; permettant ainsi une installation plus rapide des tournesols. Selon Boyeldieu, (1991), le tournesol nécessite pour la levée 90°Cj en condition hydrique non limitante (512mm); ce qui prouve ainsi les résultats trouvés avec le régime RH₁₀₀. Ce retard de stade entre les divers régimes hydriques s'est prolongé pour atteindre le stade 5 paires de feuilles pour un cumul thermique relatif de 420,0 à 487,3°Cj en régime pluvial. Le besoin en chaleur n'a pas été affecté par les régimes hydriques RH₅₀ et RH₁₀₀, en se maintenant à 411,4°Cj.

Le stade bouton floral en régime pluvial est atteint après un cumul thermique de 549,05 à 707,6°Cj. Les régimes hydriques n'affectent pas les besoins en chaleur des tournesols sauf pour l'hybride H2 qui atteint ce stade biologique après un retard de chaleur de 68,6 à 114,3°Cj comparé respectivement aux régimes RH₅₀ et RH₁₀₀ (tableau 2).

Tableau 2: Durées des stades en jours et en GDD des tournesols selon les régimes hydriques pluvial, RH₅₀ (312mm) et RH₁₀₀ (512mm)

Lignées	Stades biologiques depuis le semis	Pluvial		RH ₅₀		RH ₁₀₀	
		GDD (°Cj)	nombre de jours	GDD (°Cj)	nombre de jours	GDD (°Cj)	nombre de jours
H1	Levée	157,2	26,	85,7	16	85,7	16
	5 feuilles	487,3	63	411,4	54	411,4	54
	Bouton Floral	593,2	74	549,1	70	545,1	68
	Floraison	795,0	89	747,2	86	695,05	82
	Maturité	1171,0	110	1108,2	107	1452,65	126
H2	Levée	157,2	26	85,7	16	113,2	19
	5 feuilles	487,3	63	411,4	54	487,3	63
	Bouton Floral	707,6	83	619,95	76	593,25	74
	Floraison	808,8	90	764,25	87	707,6	83
	Maturité	1723,0	145	1723	146	1651,7	138
H3	Levée	171,1	28	187,9	30	213,9	33
	5 feuilles	487,3	63	411,4	54	411,4	54
	Bouton Floral	593,2	74	549,09	70	545,1	68
	Floraison	683,4	81	721,15	84	695,05	82
	Maturité	1485,9	128	1598,2	135	1862,95	133
H4	Levée	157,2	26	85,7	16	85,7	16
	5 feuilles	420,3	55	411,4	54	411,4	54
	Bouton Floral	606,5	75	549,09	70	545,1	68
	Floraison	695,0	82	721,15	84	695,05	82
	Maturité	1033,3	103	1452,65	128	1452,65	126
H5	Levée	157,2	26	85,7	16	157,2	26
	5 feuilles	420,3	55	411,4	54	411,4	54
	Bouton Floral	549,0	70	549,09	70	545,1	68
	Floraison	695,0	86	721,15	84	695,05	82
	Maturité	1033,3	107	1598,2	135	1452,65	126
H6	Levée	157,2	26	85,7	16	113,2	19
	5 feuilles	487,3	63	411,4	54	411,4	54
	Bouton Floral	593,2	74	549,09	70	545,1	68
	Floraison	683,4	81	721,15	84	695,05	82
	Maturité	1582,3	134	1452,65	128	1452,65	126
Moyenne	Levée	159,5±5,7	26,3±0,2	102,3±41,7	18,3±5,7	128,15± 49,5	21,5±6,7
	5 feuilles	465,0±34,6	60,3±4,1	411,4±0,0	54,0±0,0	424,0±31,0	55,5±3,7
	Bouton floral	607,1±53,0	75,0±4,3	560,9±28,9	71,0±2,4	553,1±19,6	69,0±2,4
	Floraison	726,8±58,6	84,8±4,1	732,7±18,6	84,8±1,3	697,1±5,1	82,2±0,4
	Maturité	1338,1±297,7	121,2±16,9	1488,8±212,7	129,8±12,9	1554,2±170,9	129,2±5,1

H1: C_{8.3.1.2}, H2: 64A71, H3: C_{7.3.2.2}, H4: C_{1.3.1.1}, H5: C_{5.2.3.2}, H6: C_{3.1.1.2}



Au stade floraison et en régime pluvial, deux groupes de tournesol apparaissent:

- un premier groupe tardif (H1 et H2) nécessitent une moyenne thermique de 801,9°Cj; et

- le deuxième groupe (H3, H4, H5, et H6) plus précoce ayant accumulé en moyenne 696,7°Cj.

Comparé aux autres tournesols, l'hybride H2 est le plus tardif avec un retard de floraison de 13,8 à 125,4°Cj. L'irrigation stimule la précocité aussi bien chez H2 que H1 avec un gain de chaleur de 44,6 à 101,2°Cj respectivement en régimes RH₅₀ et RH₁₀₀. Pioneer (2008), a caractérisé les besoins thermiques des hybrides de tournesol oléagineux entre 820 et 890°Cj. Cette variabilité détermine le degré de précocité variétale. Cette précocité biologique au stade floraison représente un critère de sélection des tournesols en régions chaudes (Hichri, 2009). Selon Tardieu *et al.* (2008), les lignées locales sont considérées des tournesols à cycle cultural court et peuvent avoir une floraison avant les périodes les plus stressantes de point de vue sol et climat.

La maturité des graines de tournesol a coïncidé avec des cumuls thermiques moyens de 1338,1; 1448,0 et 1554,2°Cj respectivement avec les régimes hydriques pluvial, RH₅₀ et RH₁₀₀. Ce résultat montre que la conduite des tournesols en pluvial fait précipité la maturité des graines comparée à ceux recevant un complément d'eau soit de moitié ou la totalité de leur besoin hydrique.

3.3. Effet du stress hydrique sur les critères agro-physiologique

3.3. 1. La surface foliaire totale

La caractérisation des lignées de tournesol selon l'évolution des surfaces foliaires au stade floraison contribue à déterminer la qualité des surfaces photosynthétiques en rapport avec le niveau hydrique reçu.

Cette évaluation fait apparaître diverses classes de tournesol:

- tournesols indifférents à la variation du régime hydrique. Cette classe englobe seulement la lignée H1. La conduite pluviale induit des chutes de surface foliaire relativement réduites de 422,25 et 608,98 cm²/plante comparé avec RH₅₀ et RH₁₀₀.

- tournesols hautement affectés par un le niveau d'eau apporté. Dans cette classe, deux tournesols apparaissent H2 et H6. La conduite

pluviale induit des chutes de surface foliaire relativement réduites avec une moyenne de 1384,15 et 1649,61 cm²/plante comparé avec RH₅₀ et RH₁₀₀; et

- tournesols moyennement affectés par la quantité d'eau reçue. Cette catégorie englobe H3, H4, et H5. La conduite pluviale induit des chutes de surface foliaire relativement réduites de 292,99 et 1124,37 cm²/plante comparées avec RH₅₀ et RH₁₀₀.

Les écarts des surfaces foliaires totales entre les régimes RH₁₀₀ et RH₅₀ varient de 323,26 à 977,29 cm²/plante respectivement pour les lignées H6 et H5. Alors que le RH₁₀₀ entraîne un plus de surface foliaire de 608,98 à 1683,20 cm²/plante relatif aux lignées H1 et H6. Wolfe *et al.* (1992) ont remarqué que la réduction de la surface foliaire consécutive d'une faible élongation cellulaire est l'une des conséquences du déficit hydrique.

3.3. 2. Chlorophylle

Au stade floral, et quelque soit le régime hydrique, les taux de pigments chlorophylliens foliaires des tournesols ne sont pas significativement. Ces taux de chlorophylle (a) varient de 0,29 à 0,37; 0,24 à 0,37 et 0,33 à 0,38 respectivement en pluvial, RH₅₀ et RH₁₀₀. Cornic *et al.* (2000) ont estimé que la survie des plantes au manque d'eau est en grande partie due à l'entretien de la capacité photosynthétique des feuilles. En conséquence, toutes les lignées pourraient présenter une certaine tolérance aux stress hydriques modéré et ou sévère. En effet, le suivi régulier selon les stades biologiques des tournesols de la valeur SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) permet d'estimer les taux de chlorophylle foliaire. De plus, Il est considéré comme un moyen permettant de détecter les carences et le contrôle de l'état azoté des cultures. Quelque soit le régime hydrique, toutes les valeurs SPAD des tournesols sont situées dans un intervalle de 23,80 à 44,97. Cette situation indique selon Sadras *et al.* (2000), une absence de déficit azoté spécifique au tournesol caractérisé par une valeur SPAD variant entre 20 et 45. Selon le stade de développement des lignées, les maximas des valeurs SPAD se situent entre le bouton floral et la floraison; alors que les minimas coïncident avec la maturité des graines.



3.3.3. Sucres totaux des tournesols

La variation des taux des sucres totaux dans les feuilles de tournesol au stade floraison selon les lignées et régimes hydriques est hautement significative au seuil 5%.

En régime pluvial, les taux de sucre varient de 1,98 à 4,35mg/g de matière fraîche foliaire (MF) respectivement pour H4 et H1. Les irrigations complémentaires font baisser les taux de sucres totaux jusqu'à 0,86 à 2,52 et 0,61 à 1,40 mg/g de MF respectivement en régimes RH₅₀ et RH₁₀₀. Ces réductions en RH₅₀ (312mm) et RH₁₀₀ (512mm) sont respectivement de 2,54 à 0,21 et de 3,74 à 0,66 mg/g de MF. Selon Bray *et al.* (2000), l'accumulation de solutés ou d'osmolytes (sucre...) aide à maintenir un équilibre osmotique au niveau cellulaire dans des conditions de déshydratation. En conséquence, les génotypes H1 et H6 seraient plus tolérants à la sécheresse que les autres tournesols.

3.3.4. Teneurs en proline des tournesols

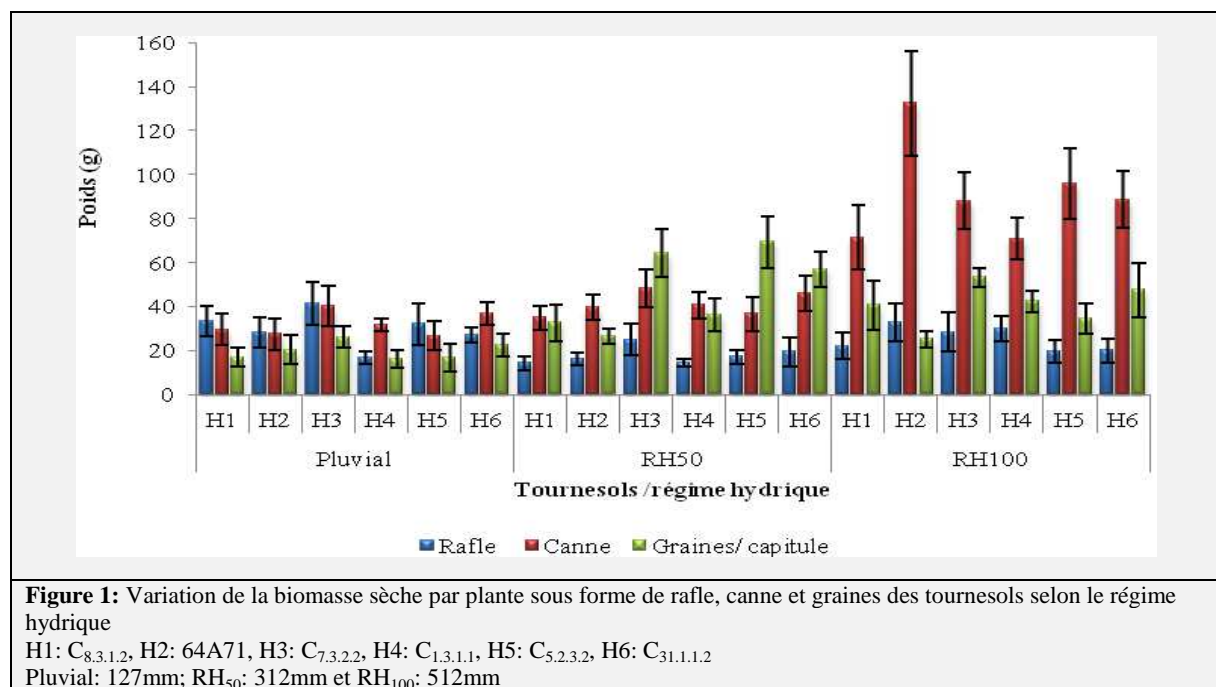
Les taux de proline dans les feuilles de tournesol varient significativement selon les lignées et régimes hydriques. Ces taux varient

de 0,94 à 0,52 mg/g de MF respectivement pour H1 et H4 conduites en pluvial. Les irrigations complémentaires font baisser les taux de proline foliaire jusqu'à 0,39 à 0,47 et 0,12 à 0,31 mg/g de MF respectivement en régimes RH₅₀ et RH₁₀₀. Ces réductions en RH₅₀ et RH₁₀₀ sont respectivement de 0,06 à 0,46 et de 0,33 à 0,81 mg/g de MF. Les lignées H1 et H6 sont les plus à la sécheresse. Selon Bray *et al.* (2000), l'accumulation de solutés ou d'osmolytes (proline, ...) aide à maintenir un équilibre osmotique au niveau cellulaire dans des conditions de déshydratation.

3.4. Effet du stress hydrique sur les paramètres agronomiques du tournesol

3.4.1. Biomasse totale

Une interaction hautement significative entre les lignées et le régime hydrique a été trouvée pour les trois paramètres quantitatifs (canne, rafles, et graines). Par rapport à une conduite hydrique normale (RH₁₀₀), le pluvial induit des pertes de poids secs des cannes de 54,52 à 79,16% selon la lignée de tournesol. Un stress modéré (RH₅₀) induit aussi une baisse significative des poids de la canne (Figure 1).



Contrairement au poids sec de la canne, le pluvial induit une augmentation du poids de la rafle par rapport aux autres régimes hydriques. Comparé à RH₅₀, cette augmentation varie de 2,44 à 19,27 g/plante respectivement pour H4 et H1. Dans le pluvial, le système racinaire

faisant partie de la rafle se caractérise par une taille plus importante pour un meilleur approvisionnement de l'eau. La longueur de la racine ainsi que la masse par unité de volume du sol sont considérées comme des paramètres utiles dans la sélection du tournesol pour la



sécheresse. Selon Vannozzi et Paolini (1982), les génotypes de tournesol ayant un système racinaire bien développé tolèrent mieux à la sécheresse. Dans ces conditions, le tournesol H3 qui développe plus rafle, soit 41,35g/plante peut être considérée comme tolérant mieux la sécheresse que les autres. Par ailleurs, une grande diversité architecturale des racines des tournesols a été observée par Seiler (1994). Cependant, Le poids des graines par capitule croît positivement avec l'augmentation de la quantité d'eau fournie à la plante. Le passage du régime pluvial au régime RH₁₀₀ provoque un gain de poids de graines par capitule de 4,78 à 27,28g. Selon Roche (2005), un stress hydrique durant la phase floraison et remplissage des graines induit un avortement des ovules et en conséquence une réduction du nombre des graines produites par unité de surface. Le stress hydrique modéré (RH₅₀) n'induit pas toujours une baisse du poids des graines par capitule. Les lignées H1 et H4 s'avèrent plus sensibles à ce type de stress.

3.4. 2. Poids de cent graines des tournesols

La variation du poids de cent graines (PCG) des tournesols est hautement significative selon les lignées et régimes hydriques. Le

régime hydrique RH₁₀₀ tend significativement à induire des graines de plus gros calibre avec un PCG de 5,05 à 10,82g respectivement pour H2 et H5. Cependant, une réduction de 50% des besoins hydriques du tournesol fait réduire ce paramètre qualitatif de la graine de 9,05 à 34,71% respectivement pour H4 et H1. Les lignées H2 et H4 ne se trouvent pas affectées par cette baisse de poids des graines entre les régimes RH₅₀ et le pluvial. La conduite pluviale des tournesols induit des PCG variant entre 4,65 à 7,10g respectivement pour H2 et H5. Dans tous les cas, l'hybride H2 renferme les PCG les plus faibles de 4,65 à 5,05g respectivement pour les régimes hydriques pluvial, RH₅₀ et RH₁₀₀. Ces derniers se trouvent conformes aux valeurs trouvées par Chervet et Vear (1988), dans le cas d'un approvisionnement hydrique normal.

3.4. 3. Efficience d'utilisation de l'eau

L'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) sur la base de la production de la biomasse aérienne (cannes et graines) des tournesols varie significativement selon le régime hydrique et la lignée.

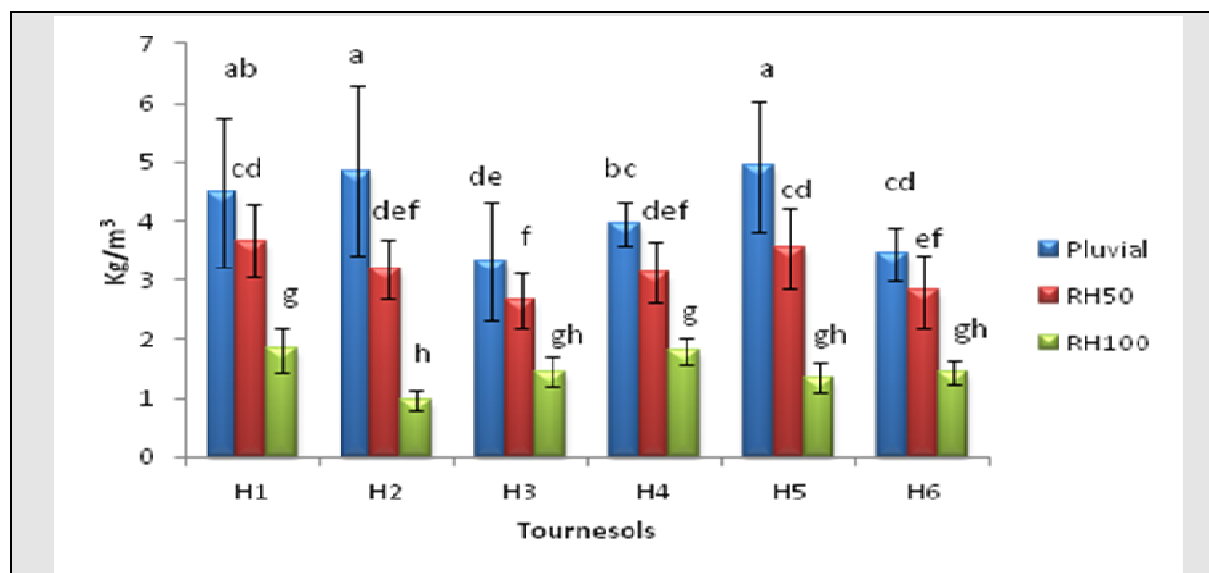


Figure 2: Efficience d'utilisation de l'eau des tournesols selon le régime hydrique

H1: C_{8.3.1.2}, H2: 64A71, H3: C_{7.3.2.2}, H4: C_{1.3.1.1}, H5: C_{5.2.3.2}, H6: C_{31.1.1.2}

Pluvial: 127mm; RH₅₀: 312mm et RH₁₀₀: 512mm

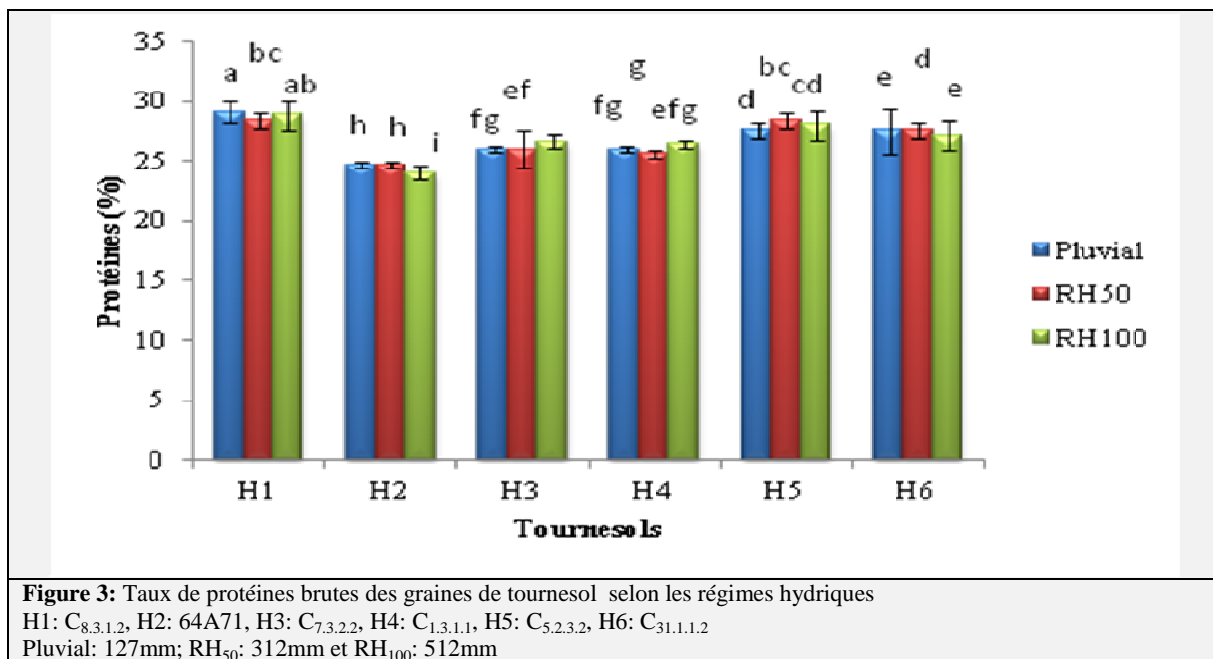


La valorisation de l'eau par les tournesols est significativement meilleure ($EUE > 3 \text{ Kg MS/m}^3$) dans le pluvial (Figure 29). Dans ces conditions, H2 et H5 se caractérisent par des EUE respectives de 4,85 et 4,92 kg/m^3 . Avec un cumul hydrique de 2628 m^3/ha , Hichri (2009) a signalé des efficacités d'utilisation de l'eau pour des lignées locales de tournesol variant entre 1,24 et 2,47 kg/m^3 . Selon Debaeke *et al.* (2007), les tournesols se caractérisent par une efficacité de l'eau égale à 4,5 kg/m^3 de graines en condition climatique tempérée. Les irrigations complémentaires

RH₅₀ et RH₁₀₀ induisent des réductions significatives des efficacités pour atteindre des niveaux proches de 1 Kg/m^3 .

3.4. 4. Taux de protéines brutes dans les graines de tournesol

Les taux protéiniques des graines de tournesol évoluent significativement selon les effets simultanés des lignées et régimes hydriques. La sécheresse n'a pas eu d'effet significatif sur les teneurs en protéines grainières des tournesols (Figure 3).



Ces teneurs en protéines varient de 24,50 à 28,80% respectivement pour les lignées H2 et H1 quelque soit le régime hydrique. D'après Talha et Osman (1974), le stress hydrique est souvent accompagné d'une stabilité relative de la teneur en protéines des graines de tournesol. De même, Gharbi (2010) a prouvé que la sécheresse n'a eu aucun effet sur la teneur en protéines des graines de tournesols.

4. Conclusion

L'évaluation d'une sélection de tournesol (*Helianthus annuus* L.) en condition hydrique limitante fait apparaître une diversité significative de comportement à différents niveaux d'observation aussi bien agronomique que physiologique. En condition hydrique sévère (pluvial), l'évolution des stades phénologiques des tournesols a été très aléatoire. Dans cette condition de culture, le

stade 5 paires de feuilles a nécessité un cumul thermique variant de 157,2 à 171,1°Cj; largement supérieur au besoin des tournesols (85°Cj) en condition hydrique optimale. La caractérisation thermique des tournesols au stade floraison représente le un indicateur pour la précocité. Ainsi, les lignées H1 et H2 peuvent être classées comme des tournesols tardifs et ce quelque soit le régime hydrique. Ces besoins en chaleur ont atteint 801,9°Cj. L'irrigation complémentaire provoque un gain thermique de 44,6 à 101,2°Cj respectivement pour H1 et H2 ; mais sans jamais atteindre le niveau de précocité des autres lignées. Contrairement aux autres stades biologiques, la maturité des graines se trouve retardée en RH₁₀₀ (512mm) par rapport au pluvial rassemblant ainsi un cumul thermique de 1554°Cj contre 1338,1°Cj.



Les taux de levées ont varié significativement selon les lignées de tournesol de 81,83 à 33,33%. Cependant, la cinétique de levée des tournesols a été la plus rapide en RH₅₀. L'évaluation de l'installation des tournesols représente un critère de sélection particulièrement en condition de stress environnemental (Cook, 1979 et Jones, 1986). En se basant sur la longueur des cannes, toutes les lignées se classent comme géante avec une moyenne de 144,9cm. L'irrigation complémentaire induit un gain de longueur de canne de 20,1 à 35,2cm respectivement pour RH₅₀ et RH₁₀₀.

Le pluvial induit des chutes des surfaces foliaires des lignées H2 et H6 de 1384,15 à 1649,61 cm²/plante par rapport aux régimes RH₅₀ et RH₁₀₀. Cependant H1 se trouve indifférente à la variation du régime hydrique. Pour cette dernière, le pluvial induit des chutes réduites de 422,25 à 608,98 cm²/plante par rapport aux RH₅₀ et RH₁₀₀. Au cours des stades biologiques, la sénescence foliaire apparaît plus accentuée en pluvial. Seule H3 se caractérise par une stabilité en gardant le même rythme de sénescence pour les différents régimes hydriques.

Les pigments chlorophylliens des tournesols ne sont pas affectés significativement par les stress hydriques. Cornic *et al.* (2000) ont estimé que la survie des plantes au manque d'eau est en grande partie due à l'entretien de la capacité photosynthétique des feuilles. Selon les valeurs SPAD, l'activité photosynthétique des feuilles se situe dans la zone 20 à 45 indiquant une absence d'une carence azotée. La synthèse d'osmolytes comme la proline intervient comme un indicateur de stress. Dans cette situation, H1 s'est montrée comme une lignée tolérante à la sécheresse.

L'évaluation des poids de cent graines (PCG) montre que ce paramètre qualitatif est significativement touché par un changement du régime hydrique de la culture de tournesol. Le passage de RH₁₀₀ au régime pluvial fait réduire le PCG de 7,85 à 34,40%. De même, Les biomasses sous forme de cannes, rafles et graines par capitule se trouvent hautement affectées par le niveau de l'eau fourni à la plante. Des corrélations linéaires ont été trouvées entre le rendement du tournesol et l'eau consommée (Merrien *et al.*, 1981a). Cependant, le tournesol valorise mieux l'eau en condition hydrique limitante, avec des

efficacités d'utilisation de l'eau meilleures en pluvial.

L'évaluation des tournesols selon le régime hydrique montre que la lignée H3 se caractérise par une meilleure stabilité sur le plan quantitatif. Alors que qualitativement, H4 se classe mieux.

5. Références bibliographiques

- Anonyme (2008)** [www.internationaloliveoil.org / upelco,USA](http://www.internationaloliveoil.org/upelco,USA).
- Arnon D (1949)** Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15.
- Boyardieu J (1991)** Le tournesol. In : produire des grains protéagineux et oléagineux. Moati. P (ed.) Lavoisier-Tec et Doc, Condé-sur-Noireau : 68-113.
- Boyer JS (1968)** Relationships of water potential to growth of leaves. Plant physiol 43: 1056-1062.
- Bray EA, Bailey-Serres J et Weretilnyk E (2000)** Responses to abiotic stresses. In Biochemistry and Molecular Biology of Plants (eds B.B. Buchanan, W. Gruissem & R.L. Jones), American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD: 1158-1203.
- Campos PS, Quartin V, Ramalho JC, et Nunes MA (2003)** Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp. plants. Journal of Plant Physiology 160: 283-292.
- Chervet B et Vear F (1988)** Evolution des caractéristiques de la graine et du capitule chez le tournesol au cours de la maturation. Agronomie, 9: 305- 313.
- Cook RE (1979)** Patterns of juvenile morbidity and recruitment in plants. In: O. T. Solbrig, S. Jain, G. B. Johnson, and P. H. Raven (eds.), Topics in Plant Population Biology, 207-301. Columbia University Press, Los Angeles.
- Cornic G, Bukhov NG, Wiese C, Blibny R, et Heber U (2000)** Flexible coupling between light dependent electron and vectorial proton transport in illuminated leaves of C3 plants. Role of photosystem I-dependent proton pumping. Planta. 210: 468-477.
- Dahal P et Bradford KJ (1990)** Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes. II. Germination at reduced water potential. Journal of Experimental Botany, 41: 1441-1453.
- Damergi MZ (2009)** Caractérisation agromorphologique d'une population autochtone de tournesol (*Helianthus annuus* L.) : 70
- Debaeke P, Mailhol JC et Eric J (2007)** Adaptation agronomique au risque de sécheresse. Available from internet URL:<http://www.ESCO.inra-sea.agronomie.fr>
- Dore C et Varoquaux F (2006)** Histoire et amélioration de 50 plantes cultivées. Ed.Inra : 711-727.
- Dreir W et Goring M (1974)** Der einfluss hoher salzkonzentrationen auf physiologische



- parameter von Maiswurzeln. *Wiss. Z. Der H. U. Berlin. Nath. Naturwiss r.* 23: 641-644.
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton PA, Ruberg A et Smith F (1956)** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*.28.3:350-356
- Evans CE et Etherington JR (1990)** The effect of soil water potential on seed germination of some British plants. *New Phytol.* 115: 539-548.
- Gharbi H (2010)** Effet du stress hydrique sur la production et la qualité des graines d'une sélection de tournesol (*Helianthus annuus L.*): 71
- Hichri S (2009)** Effets des dates de semis sur la productivité de cinq lignées autochtones de tournesol (*Helianthus annuus L.*). Mastère de recherche. Institut National Agronomique de Tunisie : 76.
- Jones RA (1986)** High salt-tolerance potential in *Lycopersicon* species during germination. *Euphytica* 35: 576-582.
- Kiani P (2007)** Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus L.*) soumis à la sécheresse. Thèse Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Laisney J (1984)** L'huilerie moderne. Ed.Masson : 79-86.
- Matin M, Jarvis H et Hayden F (1989)** Leaf water potential, relative water content, and diffusive resistance in Barley. *Agron. J.* 81: 100-105.
- Merrien A, Blanchet R et Gelfi N (1981a)** Relationships between water supply, leaf area development and survival, and production in sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Agronomie* 1: 917-922.
- Merrien A, Blanchet R et Gelfi N (1981)** Importance of senescence resistance and leaf survival in yield formation in sunflower under water stress. *Informations Techniques CETIOM*, 77: 12-16.
- Monneveux P et Nemmar M (1986)** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum L.*) et chez le blé dur (*Triticum durum L.*) développement. *Agronomie*. 6: 583-590.
- Ouattar S, Ameziane TE et Baidada A (1989)** Sunflower adaptation to its environment in Morocco. In: Proc. IDRC Sesame and Sunflower Subnetworks Steering Comitee. Le Caire: 106-13.
- Passioura JB (1986)** Resistance to drought and salinity: Avenues for improvement. *Aust. J. Plant Physiol.*, 13: 191-201.
- Pilorgé E, Arjaure G et Adam C (2004)** Guide de l'expérimentateur tournesol. 27, 29, 31.
- Pouzet A et Bougat F (1985)** Description d'une méthode simple et rapide pour l'estimation de la surface foliaire par plante du tournesol. In: Proceedings of the 11th International Sunflower Conference, Mar Del Plata, Argentina: 21-26.
- Roche J (2005)** Composition de la graine de tournesol (*Helianthus Annuus L.*) sous l'effet conjugué des contraintes agri-environnementales et des potentiels variétaux. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France : 298.
- Sadras VO, Echaste L, et Andrade FH (2000)** Profiles of senescence during reproductive growth of sunflower and maize. *Annals of Botany* 85: 187-195.
- Seiler GJ (1994)** Primary and lateral root elongation of sunflower seedlings. *Environmental and Experimental Botany*. 34: 409-418.
- Talha M et Osman F (1974)** Effect of soil water stress on water economy and oil composition in sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Journal of Agricultural Science Camberra*, 84: 49-56.
- Tardieu F, Cruiziat P, Durant JL et Triboui E (2008)** Sécheresse et agriculture [on line]. Montpellier: ESCO. Chap. 1. Perception de la sécheresse par la plante. Conséquences sur la productivité et sur la qualité des produits récoltés. URL:<http://www.ESCO.inra-sea.agronomie.fr> >
- Troll W et Lindsley J (1955)** A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.* 215: 655-660.
- Ünyayar S, Keleş Y, et Ünal E (2004)** Proline and ABA levels in two sunflower genotypes subjected to water stress.
- Vannozzi GP et Paolini R (1982)** Taking advantage of variability in *Helianthus* genus for sunflower breeding. In: Proc. Workshop on Sunflower, Athens, Greece :105-14 I.
- Wolfe DW, Sadras VO, Villabolos J et Ferreres E (1992)** Photosynthesis recovery from drought in relation to stress effects on leaf osmotic potential and nitrogen content. In: Proceeding of the 13 th international sunflowers. Pisa, Italy, 1: 658-663.