

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



1 جامعة فرحات عباس، سطيف
كلية علوم الطبيعة والحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

N°...../SNV/2023

THÈSE

Présentée par

BOURAHLA Amel

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : **SCIENCES AGRONOMIQUES**

Spécialité : **PRODUCTION VÉGÉTALE**

THÈME

**Caractérisation de géotypes de blé et cultures fourragères conduits en
Systèmes d'Adaptation à un Éventuel Changement climatique en milieu des
Hauts Plateaux Sétifiens**

Soutenue publiquement le : 11/ 05/ 2023

Devant le Jury :

Président	HAFSI	Miloud	Pr UFA Sétif 1
Directeur	CHENNAFI	Houria	Pr. UFA Sétif 1
Examineur	BAHLOULI	Fayçal	Pr. UMBI BBA
Examineur	BENDERRADJI	Laid	Pr. UMB M'Sila
Examination	KHATEM	Rachid	MCA UMAB Mostaganem
Examineur	OULMI	Abdelmalek	MCA UFA Sétif 1
Invité	BELGHEMMAZ	Salah	MAA UFA Sétif 1

Laboratoire de valorisation des ressources biologiques naturelles (LVRBN)

Dédicace

A

La mémoire de mon père et de tous mes proches

Ma mère

Mon époux ZOUBIR et mes enfants MOUAADH et YAHIA

Mes collègues Hadjer, Oula, Sihem, Sihem, et Hizia, qui ont été une source constante d'inspiration et de soutien.

Remerciements

Dieu merci.

Il me sera très difficile de remercier tout le monde, car c'est grâce à l'aide de nombreuses personnes que j'ai pu mener cette thèse à son terme.

Je voudrais tout d'abord remercier grandement ma directrice de thèse, *CHENNAFI HOURIA*, Professeur à l'Université de Sétif 1, qui m'a encadrée tout au long de cette thèse et qui m'a fait partager ses brillantes intuitions. Qu'elle soit aussi remerciée pour sa gentillesse, sa disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'elle m'a prodigués.

J'adresse tous mes remerciements à Monsieur *BAHLOULI. F*, Professeur à l'Université de Bordj Bou Arreridj, Monsieur *BENDARAJI. L*, Professeur à l'Université de M'Sila, Monsieur *KHATEM. R*, Docteur à l'Université de Mostaganem, ainsi qu'à Monsieur *OULMI. A*, Docteur à l'Université de Sétif 1, de l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être rapporteurs examinateurs de cette thèse.

Je tiens à remercier Monsieur *HAFSLIM*, Professeur à l'Université de Sétif 1, pour avoir accepté de participer à mon jury de thèse et pour sa participation scientifique ainsi que le temps qu'il a consacré.

Je tiens à remercier notre invité d'honneur Monsieur *BELGHEMMAZ. S.* d'avoir été parmi nous.

Je remercie toutes les personnes avec qui j'ai partagé ces années de thèse.

Mes derniers remerciements vont à mon Marie *ZOUBIR* qui a tout fait pour m'aider, qui m'a soutenu et surtout supporté dans tout ce que j'ai entrepris.

توصيف الأنماط الجينية لمحاصيل القمح والأعلاف التي أجريت في أنظمة التكيف مع تغير المناخ المحتمل في مرتفعات منطقة الهضاب العليا

تعتبر مرتفعات الهضاب العليا ذات المناخ الحيوي الشبه الجاف منطقة زراعية رعونية. ومع ذلك فإنها تواجه مخاطر الظواهر الجوية المتطرفة الناجمة عن مخاطر تغير المناخ، لذلك ينصح في مثل هذه الأنظمة البيئية المتقلبة بإتباع مسار الزراعة والرعي وفق إدارة متناسقة، من خلال أنظمة التكيف. يهدف منهج البحث في مشروع أطروحة الدكتوراه إلى تجريب المواد النباتية × التي نظمتها أربعة أنماط وراثية للقمح القاسي (واحة، بوسلام، بوطالب، وواد البارد) ومجموعتان من محاصيل الأعلاف (البقوليات، البازلاء الحقلية). تعتبر المواد النباتية المكون المحدد في المقصورة المناخية الزراعية × البازلاء الحقلية) و (الخرطال × الحبوب) (الشعير لنظام التكيف مع مخاطر المناخ وبالتالي، يتم اختبار هذه الأصناف تحت تأثير نظامين للسقي (الامطار والري). أجريت التجارب في تصميم السياق المناخي من خلال - الحقول في بيئتي الهضاب العليا برج بوعريريج وسطييف خلال المواسم الزراعية (2018-2020)، ودمج الأنماط الحرارية وأنماط هطول الأمطار على مدى سلسلة بيانات مدتها 119 عاما، مقدمة من السلسلة الزمنية الموصولة بشبكة وحدة البحوث المناخية ويتجلى هذا الوضع المقيد في زيادة درجة الحرارة ونقص تراكم الأمطار وبالفعل، تتميز المنطقة بتقلبات موسمية وسنوية في هطول الأمطار، مرتبطة بالجفاف والأمطار المفاجئة ذات الكمية الكبيرة. والعواقب تكون حتمية بظهور التصحر بسبب نقص خصوبة التربة، وندرة المياه، وانخفاض إنتاجية المحاصيل. نتيجة لهذا الوضع مطلوب إنشاء أنظمة التكيف مع الظروف المناخية القاسية، من تحليل لنتائج الأنماط الوراثية للقمح، وإنتاجية المياه والموسم الزراعي والتأثير البيئي وكذلك تحت التأثير التفاعلي يتم عرض الاختلاف الكبير لجميع الخصائص المقاسة تكشف النتائج أن إنتاج الغلة تحت تأثير التفاعلي للأنماط الوراثية وإنتاجية المياه والموسم الزراعي وكذا التأثير البيئي للنمط الجيني بوطالب هي الاحسن مسجلة بـ 73,9 قنطار للهكتار تحت تأثير الري في بيئة برج بوعريريج خلال الموسم الأول من ناحية أخرى واد البارد كان الأقل إنتاجا، في حين قدر إنتاج محصول القش للصنف واحة بـ 138 قنطار للهكتار، فيما يتعلق بالكتلة الحيوية فالنمط الجيني بوطالب كان الاوفر بطاقة إنتاجية قدرت بـ 104 قنطار للهكتار من ناحية أخرى ، تكشف المؤشرات الموجودة على مكون الارتباط النباتي للخلائط العلفية ان الخليط المكون من (الخرطال و البازلاء الحقلية) حقق كتلة حيوية تقدر بـ 16,10 قنطار للهكتار في حين الخليط (الشعير بازلاء حقلية) انتج اقل، من ناحية أخرى، تحدد هذه العناصر رسما تخطيطيا لاستجابة النبات في سياق نموذج النظم الزراعية للتكيف مع تعاقب الأحداث المناخية. وعلاوة على ذلك، يولد تنوع المحاصيل مرونة النظم الإيكولوجية والنظم الزراعية في البيئات الشبه الجافة. ومع ذلك، هناك حاجة إلى بذل جهود أكبر لتحديد النهج العلمي، على أساس التجريب، وإدارة النظم الزراعية والقدرات التحليلية.

الكلمات المفتاحية: الظواهر الجوية المتطرفة، ارتباط النبات، نظام التكيف، شبه الجافة، المرونة.

Caractérisation de géotypes de blé et cultures fourragères conduits en Systèmes d'Adaptation à un Éventuel Changement climatique en milieu des Hauts Plateaux Sétifiens

Résumé

Les Hauts Plateaux Sétifiens situés sous étage bioclimatique semi-aride se singularisent comme zone agropastorale. Cependant, ils sont confrontés aux risques des avènements météorologiques extrêmes générés par les effets du risque de changement climatique. Donc, cette structure environnementale, soumise aux exigences de l'interférence de *l'agriculture et le pastoralisme* recommande des modalités de management approprié, par des systèmes d'adaptation. L'approche méthodologique de la recherche du projet de thèse s'appréhende par la mise en expérimentation de matériel végétal charpenté par 1) quatre géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Waha, Boussalem, Boutaleb et Oued El Bared) et 2) deux associations de cultures fourragères (légumineuse x céréale), l'AS1 [(*Vicia sativa* L.) x Orge (*Hordeum vulgare* L.)] et l'AS2 [(*Vicia sativa* L.) x Triticale (*Triticosecale*)]. Le matériel végétal est considéré la composante déterminante dans le compartiment agropédoclimatique d'un système d'adaptation aux risques climatiques. Ainsi, ce matériel végétal est testé sous l'effet de deux régimes d'apports d'eau, $T1 = \text{pluvial}$ et $T2 = \text{confort hydrique}$. Il est mis en expérimentation dans un dispositif en blocs complètement randomisés, aménagé en split-plot, avec trois répétitions sur un précédent cultural jachère. Les expérimentations ont été conduites sur deux saisons agricoles successives 2018/2019 et 2019/2020, et sur deux sites des Hauts Plateaux [(*Bordj Bou Arreridj, E1*) et (*Sétif, E2*)]. Le principe d'évaluation de la quantité d'eau à apporter, et les données météorologiques sont cernés par le logiciel *climwat* attaché au *Cropwat*, et pour les stations (E1, E2). Le contexte climatique est conçu par l'intégration de régimes thermiques et pluviométriques sur une série de données de 119 ans, fournie par *Climatic Research Unit gridded Time Series (CRUTS, 2022)*. L'analyse climatique révèle la variation décroissante du gradient de température en fonction de l'altitude, plus accusée sur E2. Par ailleurs, sur la période de 1901-2020, le milieu des Hauts Plateaux Sétifiens s'emble se heurter aux effets de risques engendré par un éventuel changement climatique. Cette situation contraignante se manifeste par l'augmentation de la température et la réduction du cumul de la précipitation. Déjà, la région se particularise par les variabilités saisonnières et interannuelles des précipitations, associées à des avènements de sécheresse et d'averses brutales dont l'intensité est appréciable. Les conséquences sont contraignantes, par la dégradation de la qualité du sol, la rareté de l'eau, la réduction de la productivité des cultures, donc tendance à la désertification. L'urgence s'impose par la mise en place de systèmes d'adaptation aux conditions d'avènement climatique extrêmes. Ainsi, de l'analyse des résultats relatifs aux géotypes de blé, s'affiche la divergence significative relativement pour l'ensemble des caractères mesurés sous l'effet géotype (*G*), apport d'eau (*T*), saison agricole (*C*) et environnemental (*E*), ainsi que sous l'effet interactif. Les résultats révèlent que la production de rendement sous $G \times T \times E \times C$, le géotype Boutaleb apparaît performant sous $T2 \times E1 \times C1$, avec 73.9 qha^{-1} , par contre OEB est le moins productif avec un $RDT < 2 \text{ qha}^{-1}$. Alors que Waha valorise la production en paille, avec $138 \text{ qha}^{-1} (T2 \times E2 \times C1)$, et donc prospère en milieu favorable. Aussi BT s'affiche efficient en eau pour produire la biomasse aérienne, avec $104 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ à l'égard de Boussalem avec $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. D'autre part, les indications sur le volet association végétale, divulgue que l'AS2 [(Triticale x Vesce)] produit plus de biomasse aérienne avec 16.10 qha^{-1} , alors que l'AS1 [(Orge x Vesce)] réalise moins. En revanche, ces éléments déterminent une esquisse de la réponse végétale dans un contexte de model de systèmes agricoles d'adaptation à des événements climatiques pénalisants. D'ailleurs, la diversité des cultures génère la résilience des écosystèmes et agrosystèmes en environnement semi-aride. Toutefois, des efforts sont à déployer pour cerner l'approche scientifique, fondée sur l'expérimental, la conduite des systèmes agricoles et les capacités d'analyse.

Mots clés : Avènements météorologiques extrêmes, Association végétale, système d'adaptation, semi-aride, résilience

Characterization of Wheat and Fodder Crop Genotypes Conducted in Adaptation Systems to Possible Climate Change in the Setif Highlands Environment

Abstract

The Setifian Highlands located under semi-arid bioclimatic stage are singled out as an agropastoral area. However, they are confronted with the risks of extreme meteorological events generated by the effects of the risk of climate change. Therefore, this environmental structure, subject to the requirements of the interference of agriculture and pastoralism recommends appropriate management modalities, through adaptation systems. The methodological approach of the research of the project of thesis is apprehended by the setting in experimentation of plant material structured by 1) Four durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes (Waha, Boussalem, Boutaleb and Oued El Bared) and 2) Two forage crop associations (legume x cereal), AS1 [(*Vicia sativa* L.) x Barley (*Hordeum vulgare* L.)] and AS2 [(*Vicia sativa* L.) x Triticale (*Triticosecale*)]. The plant material is considered the determining component in the agropedoclimatic compartment of an adaptation system to climatic risks. Thus, this plant material is tested under the effect of two water supply regimes, T1= rainfed and T2= water comfort. It is being tested in a completely randomized block design, set up as a split-plot, with three replications on a previous fallow crop. The experiments were conducted over two successive agricultural seasons 2018/2019 and 2019/2020, and on two sites in the High Plateaux [(Bordj Bou Arreridj, E1) and (Sétif, E2)]. The principle of evaluation of the amount of water to be supplied, and the meteorological data are identified by the climwat software attached to the Cropwat, and for the stations (E1, E2). The climatic context is designed by integrating thermal and rainfall regimes over a 119-year data series, provided by *Climatic Research Unit gridded Time Series (CRUTS, 2022)*. The climatic analysis reveals the decreasing variation of the temperature gradient according to the altitude, more marked on E2. In addition, over the period 1901-2020, the environment of the Setifian Highlands seems to face the effects of risks generated by a possible climate change. This constraining situation is manifested by the increase of temperature and the reduction of the accumulation of precipitation. The region is already characterized by seasonal and interannual variability in rainfall, associated with drought and sudden showers of appreciable intensity. The consequences are constraining, by the degradation of the quality of the ground, the scarcity of water, the reduction of the productivity of the cultures, thus tendency to the desertification. It is urgent to set up adaptation systems to extreme climatic conditions. Thus, from the analysis of the results related to wheat genotypes, we can see the relatively significant divergence for all the characters measured under *the genotype (G), water supply (T), agricultural season (C) and environmental (E) effect, as well as under the interactive effect*. The results reveal that the yield production under GxTxExC, the Boutaleb genotype appears to perform well under T2xE1xC1, with 73.9qha⁻¹, on the other hand OEB is the least productive with an RDT<2qha⁻¹. While Waha valorises the straw production, with 138qha⁻¹(T2xE2xC1), and therefore thrives in favourable environment. Also, BT is efficient in water to produce the above ground biomass, with 104kggha⁻¹mm⁻¹ with respect to Bousselem with 80.0kggha⁻¹mm⁻¹. On the other hand, the indications on the plant association component, disclose that AS2 [Triticale x Vetch] produces more above ground biomass with 16.10 qha⁻¹, while AS1 [Barley x Vetch] realizes less. On the other hand, these elements determine an outline of the plant response in a context of modelling agricultural systems of adaptation to penalizing climatic events. Moreover, crop diversity generates the resilience of ecosystems and agrosystems in semi-arid environments. However, efforts are needed to identify the scientific approach, based on *experimental, farming systems and analytical capabilities*.

Keywords: Extreme weather events, plant association, adaptation system, semi-arid, resilience.

Sommaire

Dédicace	
Remerciements ملخص	
Résumé	
Abstract	
Liste des tableaux Liste des figures Acronymes	
Introduction générale	1
Chapitre I.	Synthèse Bibliographique
	<i>Place de la culture de blé pour la sécurité alimentaire</i>
1. Les grands pays producteurs de blé	5
2. Situation de l'Algérie en production de blé y compris blé dur	6
3. Les perspectives d'amélioration de la production : Les nouvelles variétés de blé dur Boutaleb et Oued El Bared	9
	<i>Les cultures fourragères et l'agrosystème</i>
1. Situation de la production en Algérie	10
2. Exigences agropédoclimatiques de cultures fourragères céréalières et de légumineuses	12
2.1. La culture de L'orge (<i>Hordium vulgare</i> L.)	12
2.2. La culture du Triticale (<i>Triticosecale</i>)	12
2.3. La culture de la vesce (<i>Vicia sativa</i> L.)	13
3. La productivité de l'agrosystème par l'association (Graminées x Légumineuses)	14
3.1. Différents types d'associations	15
	<i>Les Effets d'Avènement du Risque de Changement Climatique et l'Agriculture</i>
1. Effets sur l'agrosystème en environnement semi-aride	15
2. Adaptation de l'agriculture algérienne au changement climatique	16
3. Prédiction des conséquences des effets du changement climatique sur l'agriculture	17

1. Caractérisation des sites expérimentaux	18
1.1. L'environnement E1 : Situation, coordonnées géographiques, Description agropédoclimatique	18
1.2. L'environnement E2 : Situation, coordonnées géographiques, Description agropédoclimatique	19
2. Matériel et Méthodes	19
2.1. Caractérisation du sol et de l'eau d'irrigation	19
2.2. Matériel Végétal	20
2.3. Dispositifs expérimentaux	22
2.4. Principe de l'utilisation du logiciel Climwat for Cropwat	22
3. Les paramètres mesurés	23

Les Composantes de Rendement des cultures testées

1. Hauteur des plants (H, cm)	23
2. Nombre d'épis par mètre carré (NE/m ²), et de gousses par tige par plan (NG/P)	23
3. Poids de mille grains (PMG, g)	23

Les paramètres physiologiques mesurés chez les cultures Testées

4.1. Teneur Relative en Eau (TRE%)	23
4.2. Intégrité cellulaire (IC%)	24
4.3. Teneur en chlorophylle	25

La productivité des cultures

5.1. Biomasse aériennes (BIO, q.ha ⁻¹)	26
5.2. Rendement en grains (RDT, q.ha ⁻¹)	26
5.3. Rendement en paille (PAL, q.ha ⁻¹)	26
5.4. Indice de récolte (IR)	27

Réponse des cultures à l'Efficiace de l'Eau sous les Effets des facteurs Etudiés

6. Analyse des données	27
------------------------	----

Volet 1 : Agro climat et changement climatique

1. Le changement climatique	28
-----------------------------	----

2. Impacts du changement climatique sur l'agriculture	28
3. Les solutions pour une agriculture résiliente face au changement climatique	28
4. L'agriculture résiliente face au changement climatique	29
5. Politiques et programmes d'action pour l'agro climat	29
6. Changement climatique dans les hauts plateaux Sétifiens	30
6.1. Situation géographique des zones d'études	30
6.2. Climatologie des zones d'études	32
6.2.1. Environnement de Bordj Bou Arreridj	32
6.2.2. Environnement de Sétif	34
7. Les apports d'eau sur les cultures mises en expérimentation	36
7.1. Infrastructures des données d'entrée et de sortie du logiciel Cropwat	37
7.1.1. Les données d'entrée pour Copwat	37
7.1.2. Les données de sortie pour Cropwat	37
7.2. Consommations en eau des cultures testés	37

Volet 2 : Caractérisation des nouveaux génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en milieu semi-aride

Les Composantes de Rendement des Génotypes testés

1. Hauteur des plants	41
2. Nombre d'épis et de Grains par Épi	46
3. Poids de mille grains	57

Les paramètres physiologiques mesurés chez les génotypes

1. Teneur relative en eau	61
2. Intégrité cellulaire	66
3. Teneur en chlorophylle	69

La productivité des génotypes

1. Biomasse aérienne	73
2. Rendement en grains	77
3. Rendement en paille	82
4. Indice de récolte	86

Réponse génotypique à l'Efficiency de l'Eau sous les Effets des facteurs étudiés

1. Efficacités d'utilisation de l'eau sous chacun des facteurs étudiés	90
--	----

2. Effet des facteurs étudiés sur l'efficacité d'utilisation de l'eau	90
2.1. EUEBIO (Kgha ⁻¹ mm ⁻¹)	91
2.2. EUERDT (Kgha ⁻¹ mm ⁻¹)	91
2.3. L'Efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement en paille	92
3. Effet interactif lié à deux facteurs sur l'efficacité d'utilisation de l'eau	92
3.1. L'EUEBIO	92
3.2. L'EUERDT	95
3.3. L'EUEPLL	97
4. L'EUE sous l'interaction de trois et de quatre facteurs	100
4.1. La productivité de l'eau sous l'effet GxTxE	100
4.2. La productivité de l'eau sous l'effet GxExC	102
4.2.1. EUEBIO sous GxExC	102
4.2.2. EUERDT sous GxExC	102
4.2.3. EUEPLL sous GxExC	103
4.3. La productivité de l'eau sous l'effet GxTxC	103
4.3.1. EUEBIO sous GxTxC	103
4.3.2. EUERDT sous GxTxC	104
4.3.3. EUEPLL sous GxTxC	104
4.4. La productivité de l'eau sous l'effet GxTxExC	105
4.4.1. EUEBIO sous GxTxExC	105
4.4.2. EUERDT sous GxTxExC	106
4.4.3. EUEPLL sous GxTxExC	107

Volet 3 : Associations Végétales Conduites en Pluvial et en Apport d'Eau, en

Environnement Semi-Aride

1. Effet facteurs étudié sur les paramètres mesurés	109
<i>Effet compagne agricole</i>	<i>109</i>
<i>Les composantes de rendement des Associations végétales</i>	
1. Hauteur, nombre de grains par épi et gousses par plant, poids des épis et des gousses, et le poids de mille grains (PMG, g)	109
1.1. La hauteur (Hc, Hl)	110
1.2. Nombres de grains par épi et de gousses par plant (NGE, NGP)	112

1.3. Le poids des épis et des gousses (PE et PG, g)	112
1.4. Poids de mille grains des graminées et de la légumineuse (PMGg et PMGl, g)	113
2. Synthèse de la réponse des associations végétales pour les composantes de rendement	116

Les paramètres physiologiques mesurés chez les Associations

1. Teneurs relatives en eau et en chlorophylles des céréales et de la légumineuse	114
1.1. La teneur relative en eau (TRE%)	117
1.2. La teneur en chlorophylle (SPAD)	118
1.2.1. La chlorophylle chez les céréales	118
1.2.2. La chlorophylle chez la légumineuse	119
2. Synthèse des paramètres physiologiques caractéristiques des associations végétales	120

La productivité des Associations

1. Biomasse aérienne	122
2. Rendement en grains et en gousses	124
3. Indice de récolte	125

Réponse des Associations à l'Efficiace de l'Eau

1. Efficacités d'utilisation de l'eau de la biomasse aérienne et de rendement grain	128
1.1. L'efficace d'utilisation de l'eau pour la biomasse aérienne	129
1.2. L'efficace d'utilisation de l'eau pour le rendement grain	130

Effet Environnement

Les composantes de rendement des Associations végétale

1. Hauteur, nombre de grains par épi et gousses par plant, poids des épis et des gousses, et le poids de mille grains (PMG, g)	132
1.1. La hauteur (Hc, HI)	134
1.2. Nombre de grains par épi et de gousse par plant (NGE, NGP)	135
1.3. Le poids des épis et des gousses (PE et PG, g)	136
1.4. Poids de mille grains des graminées et de la légumineuse (PMGg et PMGl, g)	136
2. Synthèse de la réponse des associations végétales pour les composantes de rendement	137

Les paramètres physiologiques

1. Teneurs relatives en eau et en chlorophylles des graminées et de la légumineuse	138
1.1. La teneur relative en eau (TRE%)	140
1.2. La teneur en chlorophylle (SPAD)	140

1.2.1. La chlorophylle chez les céréales	140
1.2.2. La chlorophylle chez la légumineuse	141
2. Synthèse des paramètres physiologiques caractéristiques des associations végétales	142
<i>La productivité des Associations</i>	
1. Biomasse aérienne	143
2. Rendement en grains et en gousses	145
3. Indice de récolte	146
<i>Réponse des Associations à l'Effcience de l'Eau</i>	
1. Efficacités d'utilisation de l'eau de la biomasse aérienne et de rendement grain	149
1.1. L'efficacite d'utilisation de l'eau pour la biomasse aérienne	150
1.2. L'efficacite d'utilisation de l'eau pour le rendement grain	151
<i>Effet Interaction ASxTxCxE</i>	
<i>Les composantes de rendement des Associations végétales</i>	
1. La hauteur (Hg, Hl)	152
2. Nombres de grains par épi et de gousses par plant (NGE, NGP)	153
3. Le poids des épis et des gousses (PE et PG, g)	154
4. Poids de mille grains des graminées et de la légumineuse (PMGg et PMGl, g)	154
<i>Les paramètres physiologiques mesurés chez les Associations</i>	
1. La teneur relative en eau (TRE%)	155
2. La teneur en chlorophylle (SPAD)	156
2.1. La chlorophylle chez les céréales	156
2.2. La chlorophylle chez la légumineuse	156
<i>La productivité des Associations</i>	
1. Biomasse aérienne	157
2. Rendement en grains et en gousses	158
3. Indice de récolte	158
<i>La réponse des Associations à l'Effcience de l'Eau</i>	
1. L'efficacite d'utilisation de l'eau pour la biomasse aérienne	159
2. L'efficacite d'utilisation de l'eau pour le rendement grain	159
2. Analyse factorielle d'ACP des facteurs mesurés	160
2.1. Sous l'effet Compagne agricole	160

<i>2.2. Sous l'effet Environnement</i>	161
3. Régressions linéaires des paramètres mesurés	162
4. Classification ascendante hiérarchique des facteurs sur les variables mesurées (CAH)	163
Conclusion et Perspectives	166
Références bibliographiques	171
Annexe	181

Liste des tableaux

Synthèse Bibliographique

1. Production du blé dur des pays en hausse (2020/2021) Bulletins FAO (2022)	5
2. Production du blé dur des pays en repli (2020/2021) Bulletins FAO (2022)	6
3. Bilan du blé dur en Algérie (2011 – 2021) CIC, (2021)	8

Matériels et Méthodes

1 : Analyses des sols effectuées par Laboratoire agronomique Fertial (2018/2019)	20
2 : Origines des quatre génotypes, Taux de germination et poids de mille graines	21

Résultats et Interprétations

Volet 1 : Agro climat et changement climatique

Volet 1.1 Consommations en eau des génotypes de blé dur sous l'effet des environnements E1 et E2 durant les campagnes agricoles (2018/2019 et 2019/2020)	38
Volet 1.2 Consommations en eau des associations des cultures fourragères sous l'effet des environnements E1 et E2 durant les campagnes agricoles (2018/2019 et 2019/2020)	39

Volet 2 : Caractérisation des nouveaux génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en milieu semi-aride

Volet 2.1 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des composantes de rendement des quatre génotypes (G) de blé dur testés sous l'effet d'apport d'eau (T), de l'environnement (E.), au cours de deux campagnes successives (C) (2018/2019, 2019/2020)	41
Volet 2.2 Hauteur du chaume des génotypes sous l'effet significatif des interactions (TxE , TxC)	44
Volet 2.3 Réponse des G pour H conduits sous T1 et T sous l'effet ExC	46
Volet 2.4 NE produit par G conduits en pluvial et sous apport d'eau, sous ExC	51
Volet 2.5 NGE produit sous l'effet [(GxT), (GxE), (GxC), et TxC]	52
Volet 2.6 NGE des génotypes conduits en pluviale et en apport d'eau, sous ExC	56
Volet 2.7 PMG sous l'effet de l'interaction ($GxTxExC$)	60
Volet 2.8 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres physiologiques mesurés des quatre génotypes (G) de blé dur testés sous l'effet d'apport d'eau (T), de l'environnement (E.), au cours de deux campagnes successives (2018/2019, 2019/2020)	61

Volet 2.9 Teneur relative en eau des géotypes sous l'effet significatif (TxE , TxC et ExC)	64
Volet 2.10 Teneur relative en eau sous l'effet de l'interaction ($GxTxExC$)	65
Volet 2.11 Teneur relative en eau sous l'effet de l'interaction ($GxTxExC$)	69
Volet 2.12 Teneur en chlorophylle des géotypes sous l'effet significatif de TxC	72
Volet 2.13 Teneur en chlorophylle des géotypes sous l'effet de l'interaction $GxTxExC$	73
Volet 2.14 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de rendement en grains et en biomasse aérienne, paille et indice de récolte des quatre géotypes (G) de blé dur testés sous l'effet d'apport d'eau (T), de l'environnement (E.), au cours de deux campagnes successives (2018/2019, 2019/2020)	73
Volet 2.15 Biomasse aérienne réalisée par les géotypes sous l'effet significatif (TxC)	76
Volet 2.16 Biomasse aérienne produite sous l'effet $GxTxExC$	77
Volet 2.17 RDT des géotypes sous l'effet de l'interaction $GxTxExC$	81
Volet 2.18 Rendement paille des géotypes sous l'effet significatif de [(TxC) et (ExC)]	84
Volet 2.19 Rendement en paille des géotypes sous l'effet $GxTxExC$	85
Volet 2.20 Indice de récolte des géotypes sous l'effet de l'interaction $GxTxExC$	89
Volet 2.21 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de l'efficacité d'utilisation en eau des quatre géotypes (G) de blé dur testés sous l'effet d'apport d'eau (T), de l'environnement (E), au cours de deux campagnes successives (2018/2019, 2019/2020)	90
Volet 2.22 EUEBIO ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) sous l'effet des interactions GxT , GxC , GxE , TxE , ExC et TxC	93
Volet 2.23 EUERDT ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) sous l'effet des interactions GxT , GxC , GxE , TxE , ExC et TxC	95
Volet 2.24 EUEPLL ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) sous l'effet des interactions GxT , GxC , GxE , TxE , ExC et TxC	98
Volet 2.25 EUEBIO sous $GxExC$	102
Volet 2.26 EUERDT ($\text{kg mm}^{-1} \text{ha}^{-1}$) sous $GxExC$	103
Volet 2.27 EUEPLL sous $GxExC$ (Ppds5%=7.4)	103
Volet 2.28 EUEBIO ($\text{kg mm}^{-1} \text{ha}^{-1}$) sous $GxTxExC$	105
Volet 2.29 EUERDT sous l'effet de l'interaction $GxTxExC$	106

Volet 3: Associations Végétales Conduites en Pluvial et en Apport d'Eau, en Environnement Semi-Aride

Volet 3.1 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des composantes de rendement des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), et campagnes agricoles (C) et des interactions [$(AS \times T)$, $(AS \times C)$, $(T \times C)$ et $(AS \times T \times C)$]	110
---	-----

2. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des composantes de rendement des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), et campagnes agricoles (C) et des interactions [(AS x T, AS x C, T x C) et (AS x T x C)]	110
Volet 3.3 Moyennes des moindres carrées des composantes de rendement relatives à la réponse des <i>graminées</i> , évaluées sous l'effet (T1, T2; C1, C2) en AS1, AS2	115
Volet 3.4 Moyennes des moindres carrées des composantes de rendement relatives à la réponse de la légumineuse <i>Vicia Sativa</i> , évaluées sous l'effet (T1, T2; C1, C2) en AS1 et AS2	115
Volet 3.5 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres physiologiques mesurés chez les céréales cultivées en associations (AS1, AS2) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), au cours de deux campagnes (C)	116
Volet 3.6 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres physiologiques mesurés chez la légumineuse cultivée en associations (AS1, AS2) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), au cours de deux campagnes (C)	117
Volet 3.7 Moyennes des moindres carrées des paramètres physiologiques exprimant la réponse des <i>graminées</i> , évaluées sous l'effet (T1, T2; C1, C2) en AS1, AS2	121
Volet 3.8 Moyennes des moindres carrées des paramètres physiologiques pour la réponse de la <i>vesce commune</i> sous l'effet (T1, T2; C1, C2) en AS1, AS2	121
Volet 3.9 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres mesurés chez les graminées en associations avec <i>vicia sativa</i> (AS1, AS2) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), au cours de deux campagnes (C)	122
Volet 3.10 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres mesurés chez la <i>vicia sativa</i> cultivée en associations [(AS1, Fouara); (AS2, Triticale: Juanillo)] testées sous l'effet d'apport d'eau (T), au cours de deux campagnes (C)	123
Volet 3.11 Moyennes des moindres carrées des paramètres de production mesurés sous l'effet de la campagne agricole des graminées	127
Volet 3.12 Moyennes des moindres carrées des paramètres de production mesurés sous l'effet de la campagne agricole de la légumineuse	128
Volet 3.13 Réponse des <i>graminées</i> en (AS1, AS2) testées sous l'effet (T1, T2; C1, C2)	131
Volet 3.14 Réponse de <i>Vicia Sativa</i> cultivée en (AS1, AS2) testée sous l'effet (T1, T2; C1, C2)	132

15. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des composantes de rendement des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), et l'environnement (E) et des interactions [(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)]	133
Volet 3.16 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des composantes de rendement des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), et l'environnement (E) et des interactions [(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)]	134
Volet 3.17 Moyennes des moindres carrées des composantes de rendement relatives à la réponse des <i>céréales</i> , évaluées sous l'effet (T1, T2; E1, E2) en AS1, AS2	138
Volet 3.18 Moyennes des moindres carrées des composantes de rendement relatives à la réponse de la légumineuse <i>Vicia Sativa</i> , évaluées sous l'effet (T1, T2; E1, E2) en AS1 et AS2	138
Volet 3.19 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres physiologiques des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), et l'environnement (E) et des interactions [(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)]	139
Volet 3.20 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres physiologiques de <i>Vicia Sativa</i> en association (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), et l'environnement (E) et des interactions [(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)]	140
Volet 3.21 Moyennes des moindres carrées des paramètres physiologiques exprimant la réponse des <i>graminées</i> , évaluées sous l'effet (T1, T2; E1, E2) en AS1, AS2	142
Volet 3.21 Moyennes des moindres carrées des paramètres physiologiques exprimant la réponse de <i>Vicia Sativa</i> , évaluée sous l'effet (T1, T2; E1, E2) en AS1, AS2	142
Volet 3.22 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres de production des graminées en association (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), l'environnement (E) et des interactions [(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)]	142
Volet 3.23 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres de production de <i>Vicia Sativa</i> en association (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), l'environnement (E) et des interactions [(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)]	143
Volet 3.24 Moyennes des moindres carrées des paramètres de production des graminées sous l'effet (T1, T2, E1, E2)	144
Volet 3.25 Moyennes des moindres carrées des paramètres de production de <i>Vicia Sativa</i> sous l'effet de (T1, T2, E1, E2)	148

Volet 3.26 Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de l'efficacité d'utilisation en eau des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), l'environnement (E) et des interactions [(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)]	148
Volet 3.27 Moyennes des moindres carrées de l'efficacité d'utilisation de l'eau sous l'effet de l'environnement des graminées.	149
Volet 3.28 Moyennes des moindres carrées de l'efficacité d'utilisation de l'eau sous l'effet de l'environnement de la légumineuse.	152
Volet 3.29. Moyennes des moindres carrées de l'efficacité d'utilisation de l'eau sous l'effet de l'environnement de la légumineuse.	152

Liste des figures

Synthèse Bibliographique

1. Évolution de la production des cultures fourragères en Algérie (2015-2017) STAT (2022) 11

Matériels et Méthodes

- 1: Image satellitaire de la zone d'études Google Earth (2022) 18
2: Image satellitaire de la zone d'études Google Earth (2022) 19
3: Parcelle élémentaire 22
4: Mesure de la Teneur Relative en Eau (TRE, %) 24
5: Mesure de L'intégrité cellulaire (IC, %) 25
6: Etapes de Dosage des pigments chlorophylliens 26

Résultats et Interprétations

Volet 1 : Agro climat et changement climatique

- Volet 1.1** Carte de prévision des rendements agricoles en 2050 (Banque mondiale, 2008) 30
Volet 1.2 Carte de Situation géographique de la Wilaya de Bordj Bou Arreridj 31
Volet 1.3 Carte de Situation géographique de la Wilaya de Sétif 31
Volet 1.4 Diagramme ombro-thermique de Bordj Bou Arreridj (Commune d'El Hammadia) période de (1901 – 2020) 33
Volet 1.5 Courbes Températures et Précipitations de Bordj Bou Arreridj (Commune d'El Hammadia) période d'essai (2018 – 2020) 34
Volet 1.6 Diagramme ombro-thermique de Sétif (Fermato El Bez) période (1901 – 2020) 35
Volet 1.7 Courbes Températures et Précipitations de Sétif (Fermato- El Bez) période d'essai (2018 – 2020) 36

Volet 2 : Caractérisation des nouveaux géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en milieu semi-aride

- Volet 2.1** Effet G (Ppds5%= 3.16), traitements irrigués (Ppds5%=2.24, E (Ppds5%=2.24), et C (Ppds5%=2.24)) sur H 42
Volet 2.2 Valeurs de H(cm) sous l'effet de l'interaction GxT (Ppds5%= 4.47) 43

Volet 2.3 Hauteur du chaume (cm) sous l'effet significatif de l'interaction (<i>GXE</i>)	43
Volet 2.4 Hauteur du chaume (cm) sous l'effet significatif de l'interaction (<i>GxC</i>)	44
Volet 2.5 Variation de la hauteur du chaume sous l'effet <i>GxTxC</i>	45
Volet 2.6 Hauteur du chaume (H, cm) profilée, sous l'effet <i>BTxT1xE1xC1</i>	46
Volet 2.7 Effet génotype (Ppds5%= 13.4), apport d'eau (Ppds5%=9.5), environnement agricole sur le NE	et Campagne 47
Volet 2.8 NE produits par les génotypes sous l'effet des interactions <i>TxC(A)</i> et <i>CxE(B)</i>	48
Volet 2.9 NE produits par les génotypes sous l'effet interactif (<i>GxT</i>) (<i>Ppds5%=18.9</i>)	48
Volet 2.10 NE produit sous l'action interactive <i>GxE</i> (<i>Ppds5%=18.9</i>)	49
Volet 2.11 NE produit l'action interactive <i>GxC</i> (<i>Ppds5%=18.9</i>)	49
Volet 2.12 NE produit l'action interactive (<i>TxE</i>) (<i>Ppds5%=18.9</i>)	50
Volet 2.13 NE profiler, produit par OEB conduit en pluvial, sous E1 au cours de C1	50
Volet 2.14 Effet génotype, traitement, environnement et compagne agricole sur NGE	52
Volet 2.15 Valeurs moyennes du NGE sous l'effet significatif de l'interaction (<i>GxT</i>)	53
Volet 2.16 NGE moyen sous l'effet significatif de l'interaction (<i>GxE</i>)	53
Volet 2.17 Valeurs moyennes du NGE sous l'effet significatif de l'interaction (<i>GxC</i>)	54
Volet 2.18 NGE moyen produit sous l'effet combiné de TxC	55
Volet 2.19 NGE sous l'effet significatif de l'interaction <i>GxTxC</i>)	55
Volet 2.20 NGE sous l'effet significatif de l'interaction <i>GxExC</i>	56
Volet 2.21 NGE profilé, produit sous <i>OEBxT1xE1xC1</i>	56
Volet 2.22 Effet G, T, E (Ppds 5%= 1.9), et compagne agricole sur le PMG	57
Volet 2.23 PMG (g) sous l'effet significatif de l'interaction <i>GxE</i>	58
Volet 2.24 PMG (g) sous l'effet de 1) (<i>GxC</i>)(A), et de 2) <i>TxC</i> (B)	58
Volet 2.25 Valeurs du PMG (Ppds (5%) = 3.8g) sous l'effet de <i>GxT</i>	59
Volet 2.26 PMG sous l'effet de l'interaction (<i>GxExC</i>)	59
Volet 2.27 PMG du génotype BT conduit en pluvial T1xE1xC1	60
Volet 2.28 Effet génotype, apport d'eau, environnement et saison agricole sur TRE	62
Volet 2.29 Valeur de la teneur en eau (TRE, %) sous l'effet de l'interaction <i>GxT</i>	63
Volet 2.30 Valeur de la teneur en eau (%) sous l'effet de l'interaction <i>GxE</i>	63
Volet 2.31 Valeur de la TRE% sous l'effet de l'interaction <i>GxC</i>	64
Volet 2.32 TRE (%) sous l'effet de <i>GxTxE</i>	65

Volet 2.33 TRE mesurée chez waha conduite en pluvial sous <i>ElxC1</i>	66
Volet 2.34 Effet G, T, E et C sur l'intégrité cellulaire	66
Volet 2.35 Pourcentage moyen de l'intégrité cellulaire sous l'effet <i>GxT</i>	67
Volet 2.36 Pourcentage de l'intégrité cellulaire sous <i>GxE</i>	67
Volet 2.37 Indice de l'intégrité cellulaire sous l'effet <i>GxC</i>	68
Volet 2.38 Valeurs de l'IC% sous l'effet de l'interaction (<i>GxTxC</i>)	68
Volet 2.39 IC% sous <i>OEBxTlxElxC1</i>	69
Volet 2.40 Effet du génotype, apport d'eau, environnement, et saison agricole sur la chlorophylle	70
Volet 2.41 Valeurs des teneurs en chlorophylle sous l'effet de l'interaction <i>GxT</i>	71
Volet 2.42 Teneurs en chlorophylle [<i>Ppds (chla, 3.2; chlb, 7.2 et chl(a+b), 10.1)</i>] sous <i>GxE</i>	71
Volet 2.43 Valeurs des teneurs en chlorophylle sous l'effet de l'interaction <i>GxC</i>	72
Volet 2.44 Effet génotypes, environnement, apport d'eau et compagne agricole sur BIO	74
Volet 2.45 Variation de la biomasse aérienne sous l'interaction (<i>GxT</i>)	74
Volet 2.46 Valeur de la biomasse aérienne sous l'interaction (<i>GxE</i>)	75
Volet 2.47 Valeurs de la biomasse aérienne sous l'interaction (<i>GxC</i>)	75
Volet 2.48 Variation de la biomasse aérienne sous l'effet <i>GxTxC</i>	76
Volet 2.49 Biomasse aérienne produite par BT en pluvial sous <i>ElxC1</i>	77
Volet 2.50 Effet génotypes, traitement, environnement, et compagne agricole sur RDT	78
Volet 2.51 RDT sous l'effet de l'interaction (<i>GxT</i>)	78
Volet 2.52 Valeurs du rendement grain sous l'interaction (<i>GxE</i>)	79
Volet 2.53 RDT sous l'effet des interactions <i>TxC (A), CxE(B)</i>	79
Volet 2.54 Variation de RDT sous l'effet significatif <i>GxExC</i>	80
Volet 2.55 RDT sous l'interaction (<i>GxC</i>)(<i>Ppds5%=4.74</i>)	80
Volet 2.56 Variation du rendement en grains sous l'effet <i>GxTxC (Ppds5%= 6.7)</i>	81
Volet 2.57 RDT produit sous <i>BTxTlxElxC1</i>	81
Volet 2.58 Effet G, T, E, C, sur le rendement en paille	82
Volet 2.59 Valeurs du rendement en paille sous l'interaction (<i>GxT</i>)	82
Volet 2.60 Rendement paille réalisé sous <i>GxT</i> , et écart réel (PLL, T2-T1)	83
Volet 2.61 Valeurs du rendement en paille sous l'interaction (<i>GxC</i>)	83
Volet 2.62 Variation du rendement paille sous l'effet <i>GxTxC</i>	84
Volet 2.63 Rendement en paille sous <i>GxE(Ppds5%=13.51)</i>	84

Volet 2.64 A Rendement paille sous <i>GxTlxExC</i> , en condition pluviale	85
Volet 2.64 B Rendement paille sous <i>BtxTlxElxCl</i> , en condition pluviale	86
Volet 2.65 Rendement paille sous apport d'eau, <i>GxT2xExC</i>	86
Volet 2.66 Effet G, T, E, et C sur de l'indice de récolte	87
Volet 2.67 Valeurs de l'indice de récolte sous l'interaction (<i>GxE</i>)	87
Volet 2.68 Variation de l'Indice de récolte sous l'effet <i>GxTxC</i>	88
Volet 2.69 Valeurs de l'indice de récolte sous l'interaction (<i>GxC</i>) (<i>Ppds5%=0.05</i>)	88
Volet 2.70 l'indice de récolte sous (<i>GxT</i>) (<i>Ppds5%= 7.07x10⁻²</i>)	89
Volet 2.71 IR sous <i>BSxTlxElxCl</i> (= 0.53)	89
Volet 2.72 EUEBIO (kg $ha^{-1}mm^{-1}$) des géotypes sous l'effet (<i>G, T, E et C</i>)	91
Volet 2.73 EUERDT sous l'effet G, T, E et C	91
Volet 2.74 EUEPLL sous l'effet (<i>G, T, E et C</i>)	92
Volet 2.75 EUEBIO sous l'effet significatif de (<i>GxT</i>)	93
Volet 2.76 EUEBIO sous l'interaction (<i>GxC</i>)	94
Volet 2.77 Efficience d'utilisation de l'eau pour la BIO (<i>GxE</i>)	94
Volet 2.78 EUERDT sous l'effet significatif sous l'interaction (<i>GxT</i>)	96
Volet 2.79 EUERDT sous (<i>GxC</i>)	96
Volet 2.80 EUERDT sous l'interaction (<i>GxE</i>)	97
Volet 2.81 EUEPLL sous l'effet interactif <i>GxT</i> significatif	98
Volet 2.82 EUEPL sous l'effet significatif de l'interaction (<i>GxC</i>)	99
Volet 2.83 EUEPLL sous l'interaction (<i>GxE</i>) (<i>Ppds5%= 5.2</i>)	100
Volet 2.84 EUERDT sous l'effet significatif <i>GxTxE</i>	101
Volet 2.85 EUEBIO sous l'effet interactif <i>GxTxE</i> (<i>Ppds5%= 7.62</i>)	101
Volet 2.86 EUEPLL sous l'effet interactif <i>GxTxE</i> (<i>Ppds5%= 7.4</i>)	102
Volet 2.87 L'EUEBIO sous l'effet significatif de l'interaction <i>GxTxC</i>	104
Volet 2.88 L'EUERDT sous l'effet notable de l'interaction <i>GxTxC</i>	104
Volet 2.89 L'EUEPLL sous l'effet <i>GxTxC</i> (<i>Ppds5%= 4.7</i>)	105
Volet 2.90 L'EUEBIO (= 104.2 kg $mm^{-1}ha^{-1}$) caractéristique de <i>BTxTlxElxCl</i>	106
Volet 2.91 L'EUERDT (= 42,03 kg $mm^{-1}ha^{-1}$) caractéristique de <i>BSxTlxElxCl</i>	107
Volet 2.92 EUEPLL sous l'effet <i>GxTlxExC</i>	107
Volet 2.93 EUEPLL sous l'effet <i>GxT2xExC</i>	108

Volet 2.94 L'EUEPLL (= 63.8kgmm⁻¹ha⁻¹) caractéristique de *BTxTlxElxCI* 108

**Volet 3: Associations Végétales Conduites en Pluvial et en Apport d'Eau,
en Environnement Semi-Aride**

Volet 3.1 Valeurs moyennes de la hauteur du plant sous l'effet significatif de ASxC	111
Volet 3.2 Variation de la hauteur du chaume des AS sous l'effet significatif de ASxTxC	111
Volet 3.3 Valeurs moyennes du NGE et NGP sous l'effet significatif de ASxTxC	112
Volet 3.4 Valeurs moyennes des (Pe, PG; g) sous l'effet significatif de ASxT	113
Volet 3.5 Valeurs moyennes du PMG (graminées, légumineuse) sous l'effet [(ASxT, ASxC)]	114
Volet 3.6 Valeurs des composantes du rendement sous l'effet de (ASxTxC)	114
Volet 3.7 Effet Association, apport d'eau et saison agricole sur la TRE chez les céréales et la légumineuse	118
Volet 3.8 Valeur de la TRE% sous l'effet de l'interaction (ASxTxC)	118
Volet 3.9 Effet de l'interaction ASxTxC sur la teneur en chlorophylle chez les graminées	119
Volet 3.10 Effet de l'interaction ASxTxC sur la teneur en chlorophylle chez Vicia Sativa	120
Volet 3.11 Variation de la biomasse aérienne sous l'interaction (ASxT) et (ASxC)	123
Volet 3.12 Variation de la biomasse aérienne sous l'interaction (ASxTxC)	124
Volet 3.13 Variation du rendement en grains et en gousses sous l'effet (ASxT, ASxC)	125
Volet 3.14 Variation du rendement en grains et en gousses sous l'interaction (ASxTxC)	125
Volet 3.15 Effet AS, T, et C sur de l'indice de récolte des associations végétales	126
Volet 3.16 Valeurs de l'indice de récolte sous l'interaction (ASxT) et (ASxC)	126
Volet 3.17 Variation de l'indice de récolte sous l'interaction (ASxTxC)	127
Volet 3.18 Variation de l'EUEBIO sous l'interaction (ASxT) et (ASxC)	129
Volet 3.19 Variation de l'EUEBIO des AS sous l'interaction (ASxTxC)	130
Volet 3.20 Variation de l'EUERDT sous l'interaction [(ASxT), (ASxC)]	130
Volet 3.21 Variation de l'EUERDT sous l'interaction (ASxTxC)	131
Volet 3.22 Valeurs moyennes du Hauteur du plant sous l'effet significatif (ASxE)	134
Volet 3.23 Variation de la hauteur du chaume sous l'effet significatif (ASxTxE)	135
Volet 3.24 Valeurs moyennes du NGE et NGP sous l'effet significatif (ASxTxE)	135
Volet 3.25 Valeurs moyennes des PE et PG sous l'effet significatif ASxE	136
Volet 3.26 Valeurs moyennes du PMG des Associations sous l'effet (ASxE)	136
Volet 3.27 Valeurs des composantes du rendement sous l'effet de l'interaction (ASxTxE)	137

Volet 3.28 Valeur de la TRE% sous l'effet de l'interaction (ASxTxE)	140
Volet 3.29 Effet de l'AS, T, et E sur la chlorophylle des graminées	141
Volet 3.30 Effet de l'AS, T, et E sur la chlorophylle de la légumineuse.	141
Volet 3.31 Variation de la biomasse aérienne sous l'interaction (ASxE)	144
Volet 3.32 Variation de la biomasse aérienne sous l'interaction (ASxTxE)	145
Volet 3.33 Variation du rendement en grains et en gousses sous l'interaction (ASxE)	145
Volet 3.34 Variation du rendement en grains et en gousses sous l'interaction (ASxTxE)	146
Volet 3.35 Effet AS, T, et E sur l'indice de récolte	147
Volet 3.36 Valeurs de l'indice de récolte sous l'interaction (ASxE)	147
Volet 3.37 Variation de l'indice de récolte sous l'interaction (ASxTxE)	148
Volet 3.38 Variation de l'EUEBIO sous l'interaction (ASxE)	150
Volet 3.39 Variation de l'EUEBIO sous l'interaction (ASxTxE)	150
Volet 3.40 Variation de l'EUERDT sous l'interaction (ASxE)	151
Volet 3.41 Variation de l'EUERDT sous l'interaction (ASxTxE)	151
Volet 3.42 Variation de la Hauteur sous l'effet de l'interaction ASxTxCxExE	153
Volet 3.43 Variation du NGE et NGP sous l'effet de ASxTxCxExE	153
Volet 3.44 Variation du PE et PG sous l'effet de ASxTxCxExE	154
Volet 3.45 Variation du PMG sous l'effet de ASxTxCxExE	155
Volet 3.46 Variation du pourcentage de la TRE sous l'effet de ASxTxCxExE	155
Volet 3.47 Variation de la teneur en chlorophylle des graminées sous l'effet ASxTxCxExE	156
Volet 3.48 Variation de la teneur en chlorophylle de la légumineuse sous ASxTxCxExE	157
Volet 3.49 Variation de la Biomasse aérienne sous l'effet de ASxTxCxExE	157
Volet 3.50 Variation du rendement en grains et en gousses sous l'effet de ASxTxCxExE	158
Volet 3.51 Variation de IR sous l'effet de ASxTxCxExE	158
Volet 3.52 EUEBIO sous l'effet de ASxTxCxExE	159
Volet 3.53 EUERDT sous l'effet ASxTxCxExE	160
Volet 3.54 Représentation graphiques des paramètres mesurés chez les graminées et <i>Vicia Sativa</i>	161
Volet 3.55 Représentation graphique des paramètres mesurés chez les graminées et <i>Vicia Sativa</i>	162
Volet 3.56 Régression linéaire des paramètres physiologiques	163
Volet 3.57 Régression linéaire de l'efficacité en utilisation d'eau RDT et BIO	163
Volet 3.58 Classification ascendante hiérarchique des facteurs sur les variables mesurées	164

ACRONYMES

A : Argile

Arr-sais : Arrière-Saison

Bes, Irr : Besoin en irrigation

BIO : Biomasse

BS : Bousselem

BSk : Climat froids semi-arides

BT : Boutaleb

C/N : Rapport massique carbone sur azote

Ca⁺⁺ : Calcium

CaCO₃ actif : Calcaire actif

CaCO₃ total : Calcaire total

CE: Conductivité électrique

CIMMYT : Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé

Crois : Croissance

Csa : climat méditerranéen chaud été

Csa : climat tempéré chaud

DDS : Dosage des sucres solubles (Suc)

DSA : Direction des Services Agricole

EC1, et EC2 : Conductivités du traitement avant et après passage au bain marie.

ETc : Evapotranspiration

EUE : Efficience d'utilisation de l'eau

EUE PAIL : Efficience d'utilisation de l'eau pour la paille

EUEBIO : Efficience d'utilisation de l'eau pour la biomasse

EUERDT : Efficience d'utilisation de l'eau pour le rendement

FAO : Organisation des Nations unies pour l'agriculture et l'alimentation

GCRAI : Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale

GIEC: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GIEC : Groupe d'experts international sur l'évolution du climat

H : Hauteur des plants

IC : Intégrité cellulaire

Init : Initiale

IR : Indice de récolte
ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures
Kc : Coefficient cultural
L : Limon
Mg⁺⁺ : Magnésium
Mi-sais : Mai-saison
MO : Matière Organique
N : Azote
NE/m² : Nombre d'épi par mètre carré
NGE : Nombre de grains par épi
O : Orge
OAIC : Office algérien interprofessionnel des céréales
OEB: Oued el Bared
P: Phosphore
PAL : Rendement en paille
PE : Poids des épis
PF : Poids de la matière fraîche foliaire
pH_{eau} : Potentiel Hydrique
Pluie eff : Pluie efficace
PMG : Poids de 1000 grains
Prol : Dosage de la proline
PS : Poids de la matière sèche foliaire
PT : Poids de la matière turgide foliaire
RDT : Rendement en grains
S : Sable
SF : Surface foliaire
T : Triticale
TRE : Teneur relative en eau foliaire
V : Vesce
W: Waha

Introduction

En Algérie, la relance de l'amélioration de la production des céréales semble s'octroyer de préoccupations déterminantes. En effet, c'est le pilier de la sécurité alimentaire qui s'est de tout temps affichée prioritaire. Cependant, ces dernières années, elle requiert une tendance si particulière. En Algérie, elle figure dans le référentiel des axes fondamentaux de recherches recommandés, intégrant *sécurité énergétique et santé du citoyen* (MESRS, 2021). Parfaitement, aux conséquences de l'interface des avènements *des effets sanitaires, des risques de la situation actuelle géopolitique à travers le monde et du changement climatique*, la sécurité alimentaire s'approprie de la régulation du fonctionnement socioéconomique pour la stabilité du pays. Brun (2017) révèle que le développement agricole et les stratégies de sécurisation des approvisionnements alimentaires sont au cœur des politiques publiques des pays. D'ailleurs, nombreuses investigations ont été élaborées pour évaluer le niveau de l'insécurité alimentaire qui n'a cessé de croître partout dans le monde. Effectivement, les efforts fournis doivent manager les effets des risques générés par *1) la crise sanitaire, 2) la sécurité énergétique ou géopolitique et 3) le changement climatique*. Les retentissements proclamés s'interfèrent par *un nombre important d'habitants dans l'insécurité alimentaire, des répercussions sur le système agricole et alimentaire mondialisé, et une forte hausse des prix* (Verrière et al., 2022). Les auteurs ajoutent que la pandémie de Covid-19 a basculé 320 millions de personnes supplémentaires dans l'insécurité alimentaire.

Ainsi, l'Algérie déclare l'année 2023 celle du renforcement de l'indépendance des importations de céréales. En effet, les indications sur la production de la céréale se délimitent par la grande variabilité des rendements en fonction des saisons agricoles, des environnements et du contexte agro socioéconomique. Il apparaît que la surface moyenne réservée pour le blé est de 1.92 Mha, variant de [(1.3Mha, 2016/2017); (2.075Mha, 2022/2023)]. Le rendement moyen réalisé est de 15.18qha⁻¹ (2021/2022) (USDA, 2023). Le meilleur rendement 19qha⁻¹ caractérise la campagne 2018/2019, celui de 2015/2016 se réduit de 42.11% (USDA, 2023). En revanche, les importations sont estimées à 8.2 Mt, pour une consommation totale de 11.37Mt (USDA, 2023). Et ainsi, l'Algérie s'affiche cinquième importateur de blé, de *France, d'Allemagne, d'Espagne, du Canada, des États-Unis, d'Argentine, d'Uruguay et du Mexique* (USDA, 2023). Donc, l'approche de l'amélioration de la production se perçoit sous la dimension spatiotemporelle de durabilité. C'est un des défis auxquels l'Algérie se positionne par l'intégration de modèles considérés

potentiellement efficaces, tenant compte des moyens disponibles et ceux recommandés. En revanche, les perspectives de *management du secteur agricole* doivent être fondées sur l'augmentation de la production agricole, particulièrement des céréales pour réduire la dépendance liée aux importations. Alors, l'objectif doit être juxtaposé à travers des modèles de pratiques culturales innovatrices durables. Boissarie et *al.*, (2021) rappellent les effets de la pression sur les ressources naturelles et qui va croissant, générée par la démographie en croissance exponentielle, les progrès du développement économique et humain, mais aussi par les changements climatiques qui s'accélèrent.

Dès lors, une rénovation urgente s'impose, tenant compte des conditions contraignantes à la réalisation de productions optimales, tout en veillant à la préservation de la ressource naturelle en sol et en eau, et des modes de conduites des cultures dans le contexte *agrocimatologique actuel*. Effectivement, le rendement final des cultures mises en place dans une exploitation agricole est appréhendé en fonction de *l'aptitude culturale des sols des terroirs, des pratiques culturales, du contexte socioéconomique et des avènements climatiques* (Chennafi, 2012). Aussi, la *performance génotypique des cultures* est dépendante de *l'effet environnement* (Bourahla et Chennafi, 2022). D'ailleurs, le milieu des Hauts Plateaux Sétifiens se démarque par une année dite sèche de cumul pluviométrique de 370.0 mm, et un déficit d'écoulement moyen de 334.6mm (Chennafi, 2016). Ainsi, l'agriculture est le premier secteur vulnérable aux effets du risque du changement climatique (Castelano et Moroney, 2018). Par conséquent un aménagement hydroagricole doit être préconisé et orienté sous un management structuré qui intègre la dimension spatiotemporelle du milieu et *une politique participative*. NKOane et *al.*, (2018) recommandent de développer et d'appliquer des outils de supports pour assister les communautés rurales pour *s'adapter au changement climatique*. En effet, l'acquisition de produits agricoles pour répondre aux besoins d'une population galopante, implique le recours aux pratiques culturales les mieux adaptées en *impliquant la communauté rurale au changement climatique* (Žiga et Peter, 2018).

Par conséquent, la méthodologie doit cerner les paramètres des compartiments où sont intégrés les modes de production agricoles répondant aux conditions d'adaptation. Les pratiques culturales distinguées par des modèles dont le principe est la *résilience au changement climatique*, sont utiles en zones semi-arides. D'ailleurs, sous étage bioclimatique semi-aride, l'agriculture recommande l'urgence du maintien de *l'équilibre hydrique* dans le sol au profil de la plante (Chennafi et *al.*, 2005; Zhang et *al.*, 2016). En effet, dans nombreuses zones du monde, les conséquences

des changements climatiques mondiaux et de la pollution de l'environnement ont réduit la disponibilité de l'eau pour l'agriculture (Chandra et al., 2018). Ainsi, l'importance doit être accordée aux techniques hydroagricoles, par *l'irrigation, la physiologie des cultures et par la gestion des cultures en conditions sèches* pour valoriser la réponse des plantes à l'utilisation de l'eau.

En outre, *les inondations sont un élément redoutable* de la conséquence du changement du climat. Ainsi, la FAO (2021) rappelle que l'ensemble du système alimentaire est mis en péril sous *l'occurrence fréquente et l'intensité croissante des catastrophes*, ainsi que de la nature systémique des risques. D'où une action urgente générant des systèmes agricoles plus résilients doit être envisagée et mise en pratique (FAO, 2021; USDA, 2023). En revanche, en milieu semi-aride, la préservation et la protection du sol sont fondamentales pour la fiabilité de la faisabilité des modes conçus pour le développement durable. Il semble que la gestion de périodes de sécheresse est relativement modérée (Chennafi, 2012). Par contre, les systèmes d'adaptation aux inondations, aux intensités extrêmes recommandent une attention particulière. En effet, ces phénomènes sont contraignants en agriculture et les systèmes d'adaptation, de lutte et de prédiction sur terrain ne sont pas maîtrisés potentiellement. En condition pluviale, Belagrouz et al., (2018) mettent en relief les génotypes de blé valorisant l'eau, analysés comme outil pour assoir le management de l'eau et du sol pour le développement durable. La préservation de l'eau et la protection du sol sont fonction du paillage (Lal et Kimbel, 1996; Chennafi et al., 2011). Alors que l'amélioration de la performance de l'irrigation est indiquée comme un déterminant de changement potentiel des systèmes agricoles pluviaux (Žiga et Peter, 2018). Ainsi, l'irrigation déficitaire est un puissant modèle, voire produit récent de modification et d'amélioration du mode de production en milieu semi-aride (Chennafi et al., 2006). En effet l'efficacité d'utilisation de l'eau en agriculture (EUEA) est devenue une donnée de priorité d'amélioration lorsque la ressource en eau est limitée (Velasco-Muñoz et al., 2018; Belagrouz et al., 2018). Certains auteurs introduisent la dynamique de productivité de l'eau en agriculture sous-systèmes agricoles (Kumar et Sahu, 2018). Ainsi, des efforts accrus sont nécessaires pour s'adapter aux changements inévitables, atténuer les facteurs de changement et accroître la résilience (MedECC, 2020). Le changement climatique engendre des événements extrêmes plus fréquents et intenses, et donc dégrade les sols, impactant ainsi fortement les activités de production. MedECC (2020) prévoit une baisse de rendement des cultures dans les décennies à venir dans la plupart des zones actuelles de production et pour la plupart des cultures agricoles.

Toutefois, l'adoption de *méthodes agro-écologiques* en tant que *pratiques et gestion agricole* est estimée conséquente comme potentiel d'adaptation, d'ailleurs le stockage accru du carbone dans les sols atténue le changement climatique. Ainsi, Lal et Kimbel (1996) soulignent la pertinence des systèmes de gestion des sols et des cultures qui favorisent l'humification et augmentent la fraction passive de carbone organique du sol (COS). Ces pratiques agricoles sont considérées utiles et d'adaptation, car elles intensifient la production de biomasse, par 1) l'amélioration de la fertilité des sols et celles des cultures et des espèces, par 2) les cultures de couverture et la jachère, 3) les pâturages améliorés, et par 4) les cultures à racines profondes (Lal et Kimbel, 1996 ; USDA, 2021). Ainsi, se révèle l'adoption de pratiques de gestion des sols et des cultures pour la conservation ou l'amélioration de la stabilité structurale du sol comme déterminante à l'appui de *l'adaptation durable de l'agriculture au changement climatique*, en effet elle assure la régulation de la production agricole face à *une sécheresse croissante ou à un excès d'eau en veillant à la protection de l'environnement* (Blanchy et al., 2023). Sous cette analyse, s'intègre l'approche de la recherche du projet de thèse de doctorat en sciences, dénommé *Caractérisation de génotypes de blé et cultures Fourragères Conduits en Systèmes d'Adaptation à un Éventuel Changement Climatique en milieu des Hauts Plateaux Sétifiens*. C'est une partie intégrante du projet PRFU intitulé *Conceptualisation de systèmes agricoles d'adaptation aux scénarios d'avènement d'un éventuel changement climatique en environnement des Hauts Plateaux Sétifiens*.

Chapitre I. Synthèse Bibliographique

Place de la culture de blé pour la sécurité alimentaire

1. Les grands pays producteurs de blé

La production mondiale de blé dur de la campagne 2020 /2021 est estimée en hausse de 0,6 % par rapport à 2019/20, grâce à des récoltes volumineuses au Canada, en Australie, en Syrie et en Turquie (Tableau1). Cette progression est attribuée à l'augmentation des superficies ensemencées et récoltées au Canada, une forte hausse des surfaces consacrées au blé dur (+ 40 %) pour l'État uni, une augmentation des surfaces et grâce aux excellentes conditions de culture pour la Turquie, l'Australie, et le Kazakhstan (FAO, 2022).

Tableau 1. Production du blé dur des pays en hausse (2020/2021) (FAO, 2022).

Pays	Productions en Mt	Observation
Canada	6.57	Une augmentation de 32 % par rapport à 2019-2020
Turquie	3.4	3,2 Mt en 2019/2020
États-Unis	1.9	Une progression de 30 %
Kazakhstan	1.6	1,4 Mt en 2019/2020
Australie	0.9	0,2 Mt en 2019/2020

Par contre, la production est en baisse sur un an pour l'UE, l'Afrique du Nord et le Mexique (Tableau 2). Les pays du Maghreb ont enregistré des réductions de rendements dont l'origine est l'avènement de fortes sécheresses survenues durant le cycle végétatif des cultures. Alors que la baisse enregistrée par le Mexique, est liée à une réduction des surfaces, soit 24% par rapport à 2019. L'Union Européenne s'est distinguée par un recul de 2% de baisse de rendements moyens. La récolte mondiale de 2020 est évaluée à 33,8 millions de tonnes (FAO, 2022).

Tableau 2. Production du blé dur des pays en repli (2020/2021) (FAO, 2022)

<i>Pays</i>		<i>Productions en Mt</i>	<i>Observation</i>
UE		7.33	Un recul de 2 % sur la récolte 2019
Mexique		1.2	Une baisse de 31 % par rapport à la récolte 2019
Pays du Maghreb	Algérie	3	Un recul de 6 % par rapport à la récolte 2019
	Maroc	0.8	Un moins de 40 % par rapport à 2019/2020
	Tunisie	0.9	Contre 1,2 Mt en 2019/2020

2. Situation de la production du blé en Algérie

Le blé est la première source de protéines végétales et de calories à l'échelle mondiale. Il entre également dans la composition de nombreux produits alimentaires tels que le pain, les pâtes, les pâtisseries, la semoule et le couscous. C'est aussi la culture vivrière qui couvre la plus grande surface cultivée au niveau mondial (quelque 14 %) et qui représente la part la plus élevée des échanges de produits alimentaires dans le monde. Toutefois, ses rendements étant nettement plus faibles que ceux du maïs, la production de blé se situe à la deuxième place après cette céréale (OCDE/FAO (2020)).

Selon la FAO (2023), en Algérie, la production céréalière est estimée à 4,1 millions de tonnes, dont 3 millions de tonnes de blé, soit 12% de moins que la moyenne quinquennale, mais 17% de plus que la récolte de l'année 2021, qui est considérée a été affectée par les conditions météorologiques défavorables. La production du blé accuse une variation très significative d'une saison agricole à une autre, variant de 0.9 MT (2008/2009) à 3.2 (2019/2020) (FAO, 2021). D'autre part, l'Algérie est considérée un gros importateur de blé, blé tendre. De même en Algérie, les prix des denrées alimentaires ont augmenté de 17 pour cent entre juin 2021 et juin 2022, soit le taux d'inflation le plus élevé depuis le début de la série en 2010 (FAO, 2023).

Selon le ministre de l'Agriculture (Abdelhamid Hemdani, 2021), l'Algérie a enregistré une moyenne de production céréalière estimée à 52,3 millions de quintaux au cours des trois dernières

saisons (2018-2021). Tandis que la moyenne des superficies cultivées est de 3,5 millions d'ha, ce qui a permis d'obtenir des résultats positifs par rapport aux précédentes saisons (MADRA, 2021). Le ministre a rappelé que la feuille de route du secteur 2020-2024 vise à accroître la productivité dans la filière des céréales à travers le renforcement de l'irrigation complémentaire, la mise en place de mesures de facilitation au profit des agriculteurs notamment pour les crédits saisonniers, et l'amélioration des capacités de collecte et de stockage (OAICA, 2021). La récolte de la campagne agricole de 2018/2019 dans la région de Bordj Bou Arreridj est plus consistante que celles des 5 dernières années (Thabet, 2020). Il est estimé que sur une superficie de 18174 ha, la région de Bordj Bou Arreridj a réalisé une quantité de blé dur de 97434 quintaux lors de la saison de 2019/2020, soit un rendement de 5,36 qha⁻¹ (DSA BBA, 2020). Le rendement de la production céréalière de la wilaya de Bordj Bou Arreridj a été impacté par la faible pluviométrie qu'a connue la région. Autrement, Sétif, le grenier à blé du pays, elle s'est classée au 2^e rang juste après la wilaya de Tiaret avec une production de 2458253 quintaux sur une superficie de 175.000 ha lors pour la campagne agricole (2018/2019), l'équivalent de 14,04 qha⁻¹ (DSA Sétif, 2020). Près de 189.000 hectares ont été consacrés à la production de céréales pour la campagne agricole 2019/2020 dans la région de Sétif, dont 125.404 ha a été réservé à la culture de blé dur, les services agricoles de la région ont enregistré un rendement de 758.868 quintaux, soit 6,05q qha⁻¹ (DSA Sétif, 2020).

Devant cette situation, les chercheurs suggèrent que le changement climatique sévère projeté sur les pays de l'Afrique du Nord a besoin d'une stratégie d'adaptation basée sur la précocité du semis, l'utilisation des variétés précoces et la fertilisation, ou bien la création des nouveaux géotypes qui s'adaptent mieux aux conditions climatiques actuelles. L'information concernant l'efficacité de la précocité des semis comme stratégie d'adaptation de la culture du blé dur au changement climatique reste très limitée.

Le bilan du blé dur de 2020/2021 (CIC) (Tableau 3), les rendements de la culture de blé dur sont appréciables, avec une moyenne de 2,49 MT comparativement à celles du Maroc (1,6 MT) et de la Tunisie (0,9 MT) (Tableau 3). Les importations semblent en voie de diminution. Dans ce contexte le pays durant la campagne 2020/ 2021 a importé 8,2 MT de tonnes. Par contre l'augmentation de la consommation humaine a augmenté de 0,2% (CIC, 2021).

Tableau 3. Bilan du blé dur (MT) en Algérie (2011 – 2021) (CIC, 2021)

Mai/Juin en Mt	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19	19/20	20/21
Ressources										
Stocks débuts	0,7	0,9	1,2	0,9	0,3	0,2	0,3	0,3	0,6	0,4
Production	2,5	3,0	2,5	1,3	2,2	1,9	2,1	3,2	3,2	3,0
Importations	1,8	1,6	1,5	1,7	1,7	1,9	1,5	1,4	0,7	0,8
Disponibilités totales	5,0	5,2	5,2	4,0	4,2	4,1	3,9	4,8	4,5	4,3
Utilisations										
Consommation humaine	3,8	4,0	4,0	3,5	3,8	3,7	3,5	4,0	4,0	3,8
Consommation industrielle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alimentation animale	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Semences	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Autres	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Consommation totale	4,1	4,3	4,3	3,8	3,8	3,7	3,5	4,2	4,2	4,0
Exportations	-	-	-	-	-	-	--	-	-	-
Stocks finaux	0,9	1,2	0,9	0,3	0,2	0,3	0,3	0,6	0,4	0,2

Après le pic de consommation observé au printemps 2020, conséquence de longues périodes de confinement des ménages dues à la pandémie mondiale de *COVID-19*, la consommation humaine (produits de la semoulerie) reste prévue en légère hausse sur un an, malgré des restrictions moins lourdes imposées aux foyers « confinés » (cantines scolaires, restauration d'entreprise maintenue) dans la plupart des pays. Les besoins de blé dur de l'Italie et de la Turquie sont estimés en forte hausse pour répondre à un flux important d'exportations de pâtes de la part de ces deux pays. Les besoins de l'alimentation animale dans le monde sont projetés en retrait grâce aux bonnes qualités des grains observés globalement sur l'ensemble des récoltes.

Dès le début de la campagne 2020/2021, les pays d'Afrique du Nord ont été plus présents sur le marché qu'au cours de la campagne 2019/2020. Des disponibilités moindres pour l'Algérie (baisse de production) qui ont souffert de mauvaises conditions climatiques (sécheresse) ont poussé le pays à des volumes d'achats conséquents sur le marché mondial. Les importations de l'Algérie sont portées à 8,2 MT, soit une hausse de 11% par rapport à la précédente campagne.

La campagne d'inspiration pandémique *Covid-19* pour 2019/20, qui a entraîné une demande importante de la part des pays fournisseurs de produits de semoulerie, s'est achevée sous haute tension. Les cours du monde entier sont renforcés. Le prix du blé canadien de haute qualité CWAD 1 (St Laurent) a augmenté de plus de 60 \$ la tonne l'année dernière, pour atteindre 310 \$ la tonne en juillet 2020. Dans le même temps, les prix européens affichaient une hausse allant jusqu'à 70 dollars la tonne. Depuis le début de la campagne 2020/21, les tensions sur le marché sont restées élevées en raison de la réduction des disponibilités en Europe, en Afrique du Nord et au Mexique. L'augmentation de la quantité et de la qualité des récoltes prévues en Amérique du Nord a donné un coup de fouet au marché mondial. Les prix mondiaux se sont contractés à partir d'août 2020. A partir d'octobre, les prix ont de nouveau été relevés en raison des difficultés que le Canada, premier fournisseur du marché, rencontrait pour mener à bien son programme d'exportation face à une demande croissante. La qualité CWAD 1 (Vancouver) a encore gagné 20 \$/T, franchissant la barre des 320 \$/t le 10 novembre 2020. La tendance à la hausse semble se poursuivre au cours des premiers mois de 2021 (335 \$/t le 27 janvier). Le prix des marchandises a également augmenté dans l'Union européenne. Entre septembre et novembre 2020, le prix français a augmenté de 20 €/T, pour atteindre plus de 290 €/T. (CIC, 2021).

La production céréalière en Algérie est fortement dépendante des conditions climatiques. Cela se traduit d'une année à l'autre par des variations importantes de la SAU, de la production et du rendement. Ainsi, les grandes variations saisonnières et interannuelles des précipitations, par l'insuffisance et la mauvaise répartition, génèrent des impacts sur la production (Tavakolli et Oweis, 2004); Belagrouz et Chennafi, 2016).

3. Les perspectives d'amélioration de la production

Arrêté des 15 Chaabane 1437 correspondant au 22 mai 2016 portant inscription de variétés de pommes de terre et de céréales dans la liste A du catalogue officiel des espèces et variétés autorisées à la production et à la commercialisation (Annexe 1) (ITGC, 2018), c'est ainsi que la variété BOUTALEB (BT), a été obtenue par la multiplication des deux variétés (Hedba 3 et Ofanto). Donc, BT est une variété locale sélectionnée par la station ITGC de Sétif en 2016, elle se caractérise par un rendement élevé qui peut atteindre 70qha⁻¹ et un PMG élevé avec une bonne qualité semoulière. Elle possède une résistance aux conditions climatiques (au froid, sécheresse en plus une résistance contre les maladies telle que la rouille jaune, la rouille brune et la rouille noir,

piétin échaudage, piétin verse et oïdium (ITGC, 2018).

La variété Oued El Bared (OEB), est une variété locale sélectionnée par la station ITGC de Sétif en 2016, elle se caractérise par un rendement élevé qui peut atteindre 75qha^{-1} et un PMG élevée avec une bonne qualité semoulière. Elle possède une résistance aux conditions climatiques (au froid, sécheresse), aussi une résistance contre les maladies telle que la rouille jaune, la rouille brune et la rouille noir, piétin échaudage, piétin verse et oïdium. Elle est moyennement sensible à la tache auréolée (ITGC, 2018).

La politique agricole actuelle vise le renforcement de la sécurité alimentaire nationale. Il s'agit, en effet, d'accroître la production nationale en produits de large consommation, principalement pour la filière céréalière.

Les cultures fourragères et l'agrosystème

1. Situation de la production en Algérie

L'agriculture Algérienne se caractérise principalement par les activités d'élevage (Ovins, Caprins, Bovin, Avicole) et de céréaliculture (Blé, Orge), mais aussi par l'arboriculture fruitière et les cultures maraichères. En Algérie, les cultures fourragères occupent une place marginale au niveau des productions végétales. Outre la faible superficie réservée à ces cultures, la diversité des espèces est très limitée et les cultures de la vesce-avoine, de l'orge et du Triticale, destinées à la production du foin, constituent les principales cultures (Abdelguerfi et *al.*, 2008). Pour cela, et vu l'importance écologique et agro économique, nous sommes intéressés à étudier et tester le comportement et la productivité des graminées et légumineuses en association dans le but de choisir la meilleure association qui donne un bon rendement. Le nombre de ressources fourragères est encore limité. Le mode traditionnel d'élevage des équidés implique l'exploitation de parcours naturels et de prairies de qualité médiocre (Hamrit, 2000).

En général, les fourrages sont considérés comme le maillon le plus important pour tous. Le manque de production animale est un facteur limitant le développement de la filière.

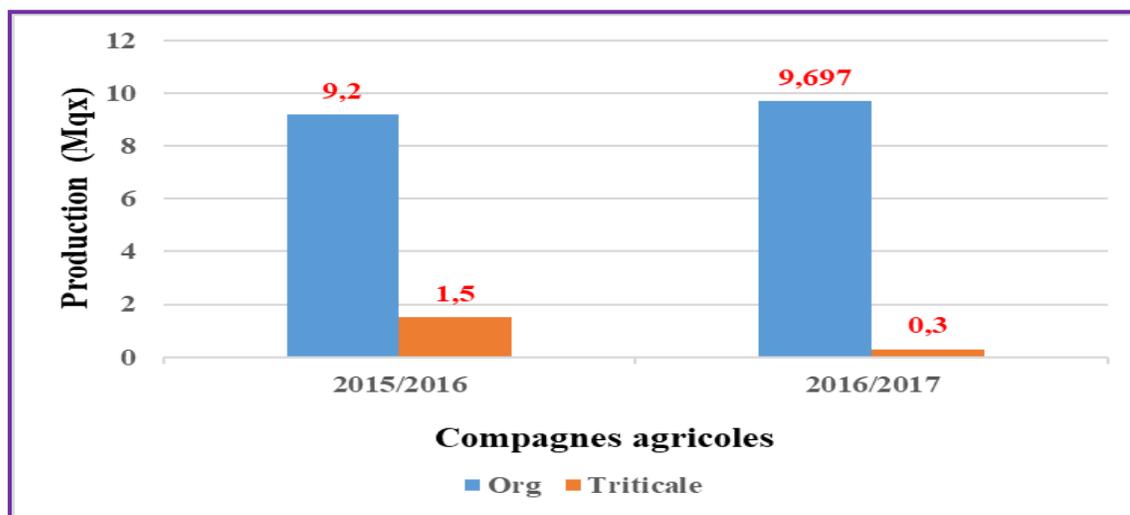


Figure 2. Évolution de la production des cultures fourragères en Algérie (2015 -2017). (STATISTA, 2022).

La production des cultures fourragères en Algérie entre 2015/2016 et 2016/2017, pour l'Orge et le Triticale, durant les deux campagnes agricoles, la production de l'Orge était meilleure, estimée à neuf millions de quintaux, tandis que la production du Triticale n'a pas dépassé les deux millions de quintaux en 2015/2016, et elle a reculé de 1,2 millions de quintaux (Figure 2). D'où une amélioration immédiate est utile. Le principe consiste à créer un plan visant à maximiser les potentiels existants par l'amélioration de la technique de l'itinéraire et l'augmentation des rendements des cultures existantes, l'extension des superficies des cultures fourragères, l'introduction de nouvelles cultures, et l'amélioration des pâturages.

D'ailleurs, le mélange graminée-légumineuse peut être bénéfique, car elle devrait permettre un fourrage abondant et riche en protéines, aboutissant à un fourrage équilibré (Bentamallah, 1984). La possibilité d'obtenir un fourrage équilibré est déterminée par la compatibilité des espèces, leur pourcentage dans l'association et, surtout, leur stade de coupe optimal. Dans l'essai, ces paramètres sont extrêmement difficiles à respecter, notamment pour l'association vesce-avoine (Bentamallah, 1984), en raison d'un problème de choix variétal. De plus, il s'avère que la légumineuse, le cas de la vesce, disparaît par suite de l'agressivité de l'avoine (Ouknider et Jacquard, 1987).

2. Exigences agropédoclimatiques de cultures fourragères céréalières et de légumineuses

2.1. La culture de l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

L'orge (*Hordeum vulgare*) une très ancienne céréale, annuelle rustique qui se reconnaît à ses épis à longues barbes et ses tiges qui feront de la paille. Elle se cultive depuis l'Antiquité pour l'alimentation humaine, un peu partout dans le monde puisqu'elle est peu exigeante sur les conditions climatiques. L'épi à longues barbes constitue l'inflorescence, il mesure 20 cm avec des épillets organisés par trois des deux côtés d'un axe aplati. Les grains ou caryopses atteignent à peine 1 cm de long, avec une forme ellipsoïde aux extrémités en pointe. Ils sont recouverts d'un tégument jaune (Arvalis, 2022). L'orge peut se présenter en grains "mondés" (complets, c'est-à-dire dépouillés des glumelles, mais gardant le son) ou "perlés" (polis et raffinés). Ce dernier est le plus consommé, alors que l'orge mondé est bien plus intéressant puisqu'il a conservé plus de nutriments. Sur plan nutritionnel, l'orge renferme des polysaccharides, des protéines, des lipides et des vitamines B et E. Elle contient les acides aminés essentiels, des oligo-éléments intéressants (sélénium, phosphore, fer, zinc, cuivre, magnésium), mais également du gluten (Arvalis, 2022).

L'orge une plante herbacée saisonnière à tige dressée qui peut atteindre 1,2m de hauteur. Les feuilles sont longues, étroites et rugueuses à nervation parallèle. Les épis se développent aux extrémités des tiges, ils portent des graines bien rangées et de couleur jaunâtre. (Beaubien., 2020).
Systématique de l'orge est la suivante:

Nom scientifique : *Hordeum vulgare*

Famille : Poacées

Nom commun : Orge

Nom local : الشعير

2.2. La culture du Triticale (*Triticosecale*)

Le Triticale est une espèce des céréales issue du croisement entre les blés (tendre et dur) et le seigle. Cette culture est fortement présente en Bretagne, Pays de la Loire, Sud-Ouest et Massif central (Masson, 2014).

Le Triticale affiche un rendement paille nettement supérieur à celui du blé, s'adapte bien aux sols difficiles, résiste bien au froid et se comporte très bien en deuxième paille. C'est une culture rustique appréciée des éleveurs à la recherche de plus d'autonomie alimentaire. La forte sensibilité du Triticale à la germination sur pied constitue toutefois un frein à sa commercialisation (Masson, 2014).

Systématique du Triticale est la suivante :

Nom scientifique : *Triticosecale*

Famille : Poacées

Nom commun : Triticale

Nom local : الخرطال

2.3. La culture de la vesce (*Vicia sativa* L.)

La vesce commune est une plante herbacée annuelle qui pousse très couramment dans les prés, en lisière de bois et dans les haies de toute l'Europe dont elle est originaire. Ses tiges velues rampent sur le sol ou grimpent à l'assaut des plantes voisines sur lesquelles elles s'accrochent grâce à des vrilles situées à l'extrémité des feuilles. Elle offre, d'avril à juillet, une masse de fleurs roses et pourpres, typiques de la famille des Fabacées. La floraison laisse ensuite place à la fructification : de longues et fines gousses contenant chacune de 4 à 12 petites graines rondes. Les semences de certaines variétés de vesces étaient autrefois consommées, réduites en farine puis façonnées en galettes (Arvalis, 2022). Comme toutes les autres plantes de cette famille botanique, la vesce a la capacité, grâce à des bactéries qu'elle héberge dans ses racines les nodosités, de capter l'azote atmosphérique de l'air et de le restituer au sol. On estime ainsi que certaines variétés de vesces communes enrichissent le sol dans lequel elles poussent de 120 kg d'azote par ha et par an. C'est ce qui confirme son utilisation comme engrais vert. Et ce d'autant que la croissance très rapide de la vesce (que certains qualifient même « d'agressive », tant elle prédomine sur les végétaux voisins) permet de limiter très efficacement la présence des mauvaises herbes. Par ailleurs, son système racinaire s'étend à 20 cm de profondeur et structure donc très bien le sol (Arvalis, 2022).

La vesce est très mellifère et attire de nombreuses abeilles. Mais ce n'est pas le nectar des fleurs que ces dernières viennent rechercher. Hors floraison, les pollinisateurs butinent le liquide sucré qui suinte à la base des folioles de la vesce. Riche en acide folique, ce sirop attire également les fourmis qui viennent patrouiller sur les vesces et dévorer les larves qui menacent la plante. Aussi, la vesce est l'hôte de diverses chenilles de papillons et autres nombreux auxiliaires, coccinelles et punaises (Arvalis, 2022).

Systématique de la vesce est la suivante :

Nom scientifique: *vicia sativa*

Famille: Fabacées

Nom commun: Vesce

Nom local: البازلاء الحقلية

3. La productivité de l'agrosystème par l'association (Graminées x Légumineuses)

La pratique des associations de céréales et de légumineuses à récolter en graines ou en vert est courante en agriculture biologique. On a pris l'habitude de désigner ces associations ou bien mélanges céréaliers, terme impropre puisqu'il désigne au sens strict le mélange de plusieurs céréales uniquement, alors qu'ici on mélange des céréales et d'autres cultures qui ne sont pas des céréales (Bernardes et *al.*, 2015). Les auteurs ajoutent, les associations de légumineuses et de graminées offrent des rendements en fourrage plus stables que les graminées ou les légumineuses cultivées en monocultures.

Les avantages agronomiques des associations se traduisent par une préservation de l'environnement. Principalement, la réduction de la fertilisation azotée pour les associations, ayant pour triple impact une moindre consommation en énergie fossile nécessaire à la synthèse des engrais azotés chimiques, une réduction des émissions de protoxyde d'azote générées par l'épandage des engrais azotés et une moindre lixiviation des nitrates réduit l'impact des cultures fourragères sur l'environnement. De plus, une association stocke des reliquats azotés qui seront disponibles pour la culture suivante, comme le fait une monoculture de légumineuse (Justes et

al., 2010). Certains auteurs mentionnent que la réduction de l'utilisation d'herbicides pour lutter contre les adventices est aussi un atout environnemental des associations.

3.1. Différents types d'associations

Selon le mode de mise en place des cultures associées, figurent types d'associations.

- **Culture associée en rang** : cultiver deux ou plusieurs cultures simultanément dans des rangs réguliers. Ceci dit, il se peut qu'une ou plusieurs cultures puissent être semées simultanément et en alternance ou puissent être disposées au hasard dans les rangs,
- **Culture associée mixte**: cultiver deux ou plusieurs cultures simultanément sans suivre un arrangement régulier des rangs. Ce type d'association est souhaitable pour les associations légumineuses-cultures fourragères dans les systèmes à vocation pastorale,
- **Culture associée en bande**: Cultiver deux ou plusieurs cultures dans des bandes distinctes et assez larges afin de permettre une mise en culture indépendante, mais assez étroite afin de favoriser les interactions agronomiques des cultures,
- **Culture associée en relais**: Cultiver deux ou plusieurs cultures durant une partie du cycle de vie de chacune d'entre elles. Cependant, la deuxième culture est plantée après que la première ait atteint le stade de reproduction, mais avant qu'elle ne soit prête à récolter (Kaci, 2018).

Les Effets d'Avènement du Risque de Changement Climatique et l'Agriculture

1. Effets sur l'agrosystème en environnement semi-aride

Au cours, des 25 dernières années, l'Algérie a connu une sécheresse intense et persistante caractérisée par un déficit pluviométrique important qui est dû au changement climatique, ce dernier est selon le dictionnaire environnement, est défini comme étant l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné, au cours du temps : réchauffement ou refroidissement. En effet, L'Algérie appartient au contexte naturel du bassin méditerranéen qui a été identifié par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) comme l'un des 25 points chauds au monde face aux changements climatiques. La hausse des températures ainsi que les dérèglements associés en termes de précipitations, de cycles hydrologiques, d'intensité et fréquence des événements climatiques extrêmes affecteront en

particulier les zones littorales ainsi que les bassins hydrologiques, qui accueillent respectivement 33% et 50% de la population totale de la zone.

Les impacts sur les sociétés méditerranéennes et leur environnement naturel s'annoncent potentiellement désastreux, parfois irréversibles (IM, 2018). Ces impacts sont liés au changement climatique génèrent des pressions sur la ressource en sol, en eau et sur la végétation. En effet, la croissance démographique accélère la dégradation. De cette situation apparaissent les conflits avec des conséquences de vulnérabilité agroenvironnementales et socioéconomiques. Kogan (2018) mentionnent les dommages importants tels que les menaces sur les ressources d'eau douce, difficultés agricoles, désertification, réduction de la biodiversité.

D'ailleurs, il est utile de rappeler que le Groupe des Experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) tel qu'il est défini par l'OMM (2013) est l'organe international chargé d'analyser scientifiquement les changements climatiques. Il a été établi en 1988 par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, 1988) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) dont le but est de fournir aux responsables politiques des évaluations scientifiques périodiques relatives au changement climatique, les incidences et les risques futurs et de leur présenter des *stratégies d'adaptation et d'atténuation*. Les évaluations du GIEC fournissent aux gouvernements, à tous les niveaux, des éléments scientifiques sur lesquels ils peuvent s'appuyer pour élaborer des politiques dans le domaine du climat, et elles servent de base aux négociations de la Conférence des Parties à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Elles permettent aux décideurs de définir les orientations relatives aux projections climatiques liées à divers scénarios et les risques liés aux changements climatiques (OMM, 2013).

2. Adaptation de l'agriculture algérienne au changement climatique

L'Algérie avec une superficie de 2 381741 km² ne possède que 8,1 millions d'ha de superficie agricole utile. Aux conditions naturelles considérées défavorables, par la sécheresse, s'ajoute les structures agraires évaluées trop morcelées, aussi une faible mobilisation des ressources en eau ces éléments ne répondent pas aux exigences d'amélioration de la production agricole pour assurer les besoins d'une population en pleine croissance (IPCC, 2020).

La sécheresse est un phénomène naturel dont l'origine est l'insuffisance des précipitations, avec des conséquences des réductions, 1) ruissellement des cours d'eau, 2) l'humidité des sols et 3) insuffisance de renouvellement des aquifères. L'amplification est accélérée par l'action néfaste de l'homme sur l'environnement, avec des impacts sur l'alimentation des hommes et des cheptels et la production agricole (Rosenzweig, et *al.*, 2020). La sécheresse n'est donc pas seulement météorologique, mais aussi hydrologique en termes de remplissage des barrages et de renouvellement des nappes, agricole en termes de production agricole et animale, environnementale en termes de destruction des équilibres naturels ou encore socio-économiques (Kogan, 2018; Li et *al* 2021).

L'adaptation de l'agriculture algérienne aux nouveaux aléas liés au changement climatique est nécessaire. Donc, il est utile d'introduire de nouvelles variétés de cultures, de nouveaux systèmes de production assurant la protection des sols pour préserver de l'eau. Ainsi, il est indispensable de s'orienter sur la préservation du sol, de la ressource en eau et de la végétation, d'une part. D'autre part, la proposition de systèmes d'adaptation par des pratiques culturelles intégrant la matière végétale doivent être insérer dans le cadre du développement dit durable.

3. Prédiction des conséquences des effets du changement climatique sur l'agriculture

Les événements extrêmes tels que l'occurrence des sécheresses combinées aux changements de températures et d'averses de précipitations extrêmes provoquant des inondations, des excès d'eau au niveau du sol sont néfastes. En effet, le changement climatique s'observe à travers l'augmentation de la température, estimée à 2°C ou plus, les impacts sont la diminution de la production agricole, menaçant ainsi la sécurité alimentaire, une perte de terres agricoles dans les régions côtières suite à l'élévation du niveau des mers et à la salinisation des sols (Ray et *al.*, 2019; Zhao et *al* 2021).

Chapitre II. Matériels et Méthodes

1. Caractérisation des sites expérimentaux

Les expérimentations ont été réalisées dans deux environnements des Hauts Plateaux, à étage bioclimatique semi-aride.

1.1. L'environnement E1

L'environnement E1, est une ferme pilote située dans la commune d'El Hammadia, Wilaya de Bordj Bou Arreridj. Les coordonnées géographiques du lieu d'expérimentation se caractérisent par [altitude= 867 m, latitude= 35°58'22,14"N, longitude= 4°46'56,55"E] (Figure 1). La région se distingue par un climat méditerranéen, semi-aride.



Figure 1. Image satellitaire de la zone d'étude (Google Earth, 2022)

1.2. L'environnement E2

L'Environnement E2 c'est le terrain de l'exploitation agricole de l'Université de Sétif (El bez 1), dont les coordonnées géographiques sont [altitude= 1180m, latitude= 36°12'3,68" N et longitude= 5°21'55,96" E] (Figure 2), climat méditerranéen semi-aride. La température moyenne annuelle est de 13.3 °C et une moyenne des précipitations annuelles de 469 mm.



Figure 2. Image satellitaire de la zone d'étude (Google Earth, 2022)

2. Matériel et Méthodes

2.1. Caractérisation du sol et de l'eau d'irrigation

Les analyses des échantillons sols des sites expérimentaux sont réalisées au niveau du laboratoire Fertial d'Annaba (Tableau 1). Le sol de Bordj Bou Arreridj (E1) se distingue par une texture limono-argileuse, le pourcentage de CaCO_3 est de 19,33%, la teneur en matière organière est faible avec 0,67%. Par ailleurs, le sol de la station expérimentale de Sétif (E2) a une texture argileuse, une forte teneur en calcaire de 47%, la matière organique avec 3,04 %) semble assez fort, et des valeurs moyennes de capacités d'échange cationique de 39,3 meq/100g (Tableau 1).

Tableau 1. Analyses des échantillons des sols réalisés au niveau du Laboratoire Agronomique de Ferial (2018/2019)

Paramètres / sols	E1	Interprétations	E2	Interprétations
A% (Argile)	55,0	Limon-argileux	80,0	Argileux
L% (Limon)	33,0		9,7	
S% (Sable)	12,0		10,3	
CaCO ₃ % (Calcaire)	19,33	Normal	47,0	Notable
N% (Azote)	0,05	Très faible	0,41	Faible
MO% (Matière organique)	0,67	Très faible	3,04	moyen
C/N	7,79	Faible	8,24	Faible
P (ppm) (Phosphore)	0,02	Très faible	0,06	Très faible
Ca ⁺⁺ (meq/100g) (Calcium)	38,9	Très élevé	39,3	Très élevé
Mg ⁺⁺ (meq/100g) (Magnesium)	4,4	Élevé	4,8	Notable

Les analyses des eaux d'irrigation sont effectuées au laboratoire de traitement des eaux de l'Université de Bordj Bou Arreridj. L'eau d'irrigation utilisée au niveau de l'E1, est une eau d'un forage qui appartient à la ferme. Les résultats révèlent que l'eau est d'après les analyses, l'eau à un pH= 8,35 (Alcalin), est une conductivité électrique, CE= 0,26µs/cm (Tableau 2). Alors que l'eau d'irrigation de l'environnement E2, c'est l'eau du robinet, caractérisée par un pH= 7.35, une CE= 0,33µs/cm.

2.2. Matériel Végétal

Le matériel végétal est constitué par des géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) [Waha, Bousselem, Boutaleb et Oued El Bared]. Ils ont été fournis par l'institut technique des grandes cultures (ITGC, Sétif). Les deux nouveaux géotypes Oued El bared (OEB), et Boutaleb (BT) sont des variétés autorisées à la production et à la commercialisation par le journal officiel de la République algérienne N°59, du 9 octobre 2016 (Article 2, Annexe 1). Le géotype OEB est évalué adaptée à la zone des Hauts Plateaux, Plaines Intérieures de l'Est algérien, elle est tolérante aux froid et précoce. Cependant, Boutaleb (BT) est une variété intermédiaire, tolérante au froid. Waha (W) à paille et durée du cycle plus court, considérée ancienne. Le quatrième géotype Bousselem (BS) est précoce et à taille moyenne (Tableau 2).

Tableau 2. Origines des quatre génotypes et cultures fouragers, Taux de germination et poids de mille graines (ITGC, 2018)

Génotypes	Origine	PMG (g)	Taux de germination (%)
Cultures céréalières			
Waha (W)	Origine : Syrie Obtenteur: Icarda Demandeur: ITGC	40	95
Boussellem (BS)	Origine: Syrie Obtenteur: SemilasFito. Sa. Demandeur: ITGC Année d'inscription 2007	30	95
Boutaleb (BT)	Zone de culture: Hauts plateaux, plaines intérieures Année d'inscription: 2016	30	98
Oued el bared (OEB)	Zone d'adaptation Hauts Pateaux, plaines intérieures est Année d'inscription : 2016	30	96
Cultures fourragères (Graminées et légumineuse)			
Orge (<i>Hordium vulgare</i> L.)	Moyen-Orient	20	99
Triticale (<i>Triticosecale</i>)	Europe	40	97
Vesce (<i>Vicia sativa</i> L.)	Europe	40	99

L'association des cultures fourragères est structurée sous deux associations à base de deux graminées [Orge (*Hordium vulgare* L.), variété Fouara et le Triticale (*Triticosecale*), variété Juanillo], pour la légumineuse, le choix a été fixé sur la Vesce (*Vicia sativa* L.). Le choix de c'est espèces est fondé sur le que le fait que les associations (Graminées x légumineuses) sont rares en Algérie malgré leur importance.

Le teste sur le pouvoir de germination est réalisé pour déterminer le taux de germination. Deux semaines avant le semis, cent graines ont été mises sur des couches de papier absorbant, recouvertes aussi de deux couches. Elles ont été humidifiées suffisamment, placées au frais et maintenues humides. Au bout de huit jours, les graines germent (Tableau 2).

2.3. Dispositifs expérimentaux

Au cours des deux campagnes agricoles (2018/2019 et 2019/2020), nous avons adoptés deux dispositifs expérimentaux, un pour les céréales et l'autre pour les associations, réalisés pour les deux environnements (E1, E2). La parcelle élémentaire est d'une superficie de 1mètre carré (m^2) avec 6 lignes, l'espace interligne est de 15 cm (Figure 3).

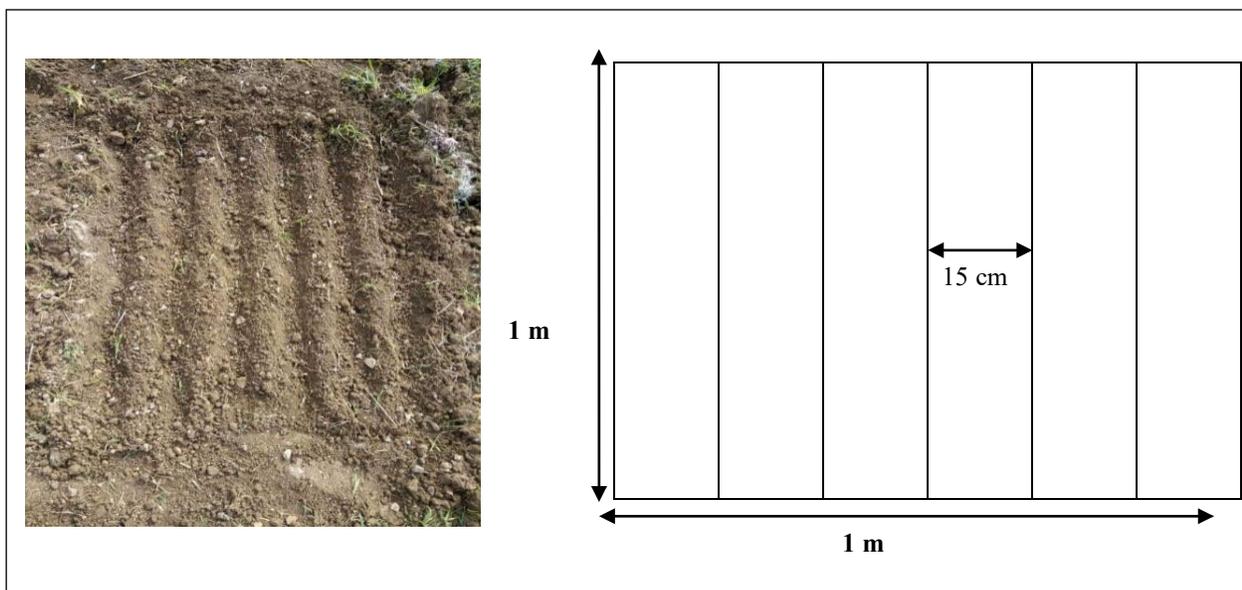


Figure 3. Parcelle élémentaire

Le dispositif expérimental est de type split plot, disposés en blocs aléatoires complètement randomisés avec trois répétitions, où s'est réparti un des facteurs principaux [1) (*Génotypes*), 2) (*Associations*)]. Chacune des parcelles est divisée pour insérer le second facteur traitement irrigué. Le dispositif expérimental est structuré par 24 parcelles élémentaires pour quatre génotypes de blé dur et 12 pour les associations. L'association est réalisée avec un mélange [(2/3 de graminée) + (1/3 de légumineuse)]. Alors que, les traitements d'apport d'eau ont fait l'objet d'utilisation du logiciel climwat for cropwat. La densité de semis est de 300 grains au m^2 .

2.4. Principe de l'utilisation du logiciel Climwat for Cropwat

Climwat est une base de données climatique utilisée en combinaison avec le programme informatique Cropwat et permet le calcul des besoins en eau des cultures, l'approvisionnement en

irrigation et la planification de l'irrigation pour diverses cultures pour une gamme de stations climatologiques dans le monde entier. Le Cropwat est un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation, il a été mis au point par la FAO en 1992, basé sur la formule de Penman - Monteith modifié. Il permet le calcul des besoins en eau des cultures et des quantités d'eau d'irrigation ; basés sur les Bulletins d'irrigation et de drainage FAO-24 et 33. Il offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation en fonction de diverses pratiques culturales, et d'évaluer les effets du manque d'eau sur les cultures et l'efficacité de différentes pratiques d'irrigation (FAO, 1992).

3. Les paramètres mesurés

3.1. Les Composantes de Rendement

Toutes les variables relatives aux composantes de rendement ont été déterminées sur la base des mesures faites à l'intérieur des lignes de la parcelle élémentaire, en évitant les bordures. Les valeurs obtenues sont ramenées à une unité de surface en mètre carré ou en hectare.

1. Hauteur des plants

La Hauteur (cm) est mesurée à la récolte. Elle est prise du sol jusqu'à la pointe de l'épi, barbes incluses.

2. Nombre d'épis par mètre carré (NE), et de gousses par tige par plant (NGP)

Le comptage du nombre d'épis par mètre carré (NE) est réalisé au niveau de chaque parcelle élémentaire pour le blé dur et les cultures fourragères. Ainsi, le nombre des grains et des gousses, est obtenu par battage de 10 épis/plants, relevés aléatoirement de chaque parcelle élémentaire.

3. Poids de mille grains

Le poids de mille grains/gousses (PMG, g) est déterminé à partir de la pesée de 1000 grains.

4. Les paramètres physiologiques

4.1. Teneur relative en eau

La teneur relative en eau de la feuille étandard a été déterminée par la méthode décrite par Barrs (1968), calculée par la formule de Clark et Mac-Caig, 1982) (Figure 4).

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{PF}-\text{PS}) / (\text{PT}- \text{PS})] \times 100$$

TRE = Teneur relative en eau foliaire (%)

PF = poids de la matière fraîche foliaire (mg)

PS= Poids de la matière sèche foliaire (mg)

PT = poids de la matière turgide foliaire (mg)



Figure 4. Mesure de la Teneur Relative en Eau (TRE, %)

4.2. Intégrité cellulaire (IC%)

La notion d'intégrité cellulaire (IC, %) est basée sur le degré de sensibilité de la membrane cellulaire au stress. Le test de l'intégrité cellulaire (IC) est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées, prises au hasard par génotype et par traitement (Figure 5). Le pourcentage de cellules endommagées par le stress hydrique est évalué selon la procédure décrite par Bajji et *al.*, (2001).

$$\% \text{ IC} = 100 (\text{EC1}/\text{EC2})$$

IC (%)= Pourcentage des cellules endommagées par le déficit hydrique,

(EC1, EC2)= Conductivités avant et après passage au bain-marie.



Figure 5. Mesure de l'intégrité cellulaire (IC, %)

4.3. Teneur en chlorophylle

Le dosage des pigments chlorophylliens a été réalisé selon la méthode de Rao et le Blanc (1965) (Figure 6). Le calcul de la qualité de la chlorophylle est obtenu par les formules suivant :

- $\text{Chl a} = 12,07 (\text{DO } 663\text{n}) - 2,69 (\text{DO } 645\text{n})$
- $\text{Chb} = 22,09 (\text{DO } 645\text{n}) - 4,86 (\text{DO } 663\text{n})$
- $\text{Ch (a+b)} = 8,02 (\text{DO } 645\text{n}) + 20,20 (\text{DO } 663\text{n})$

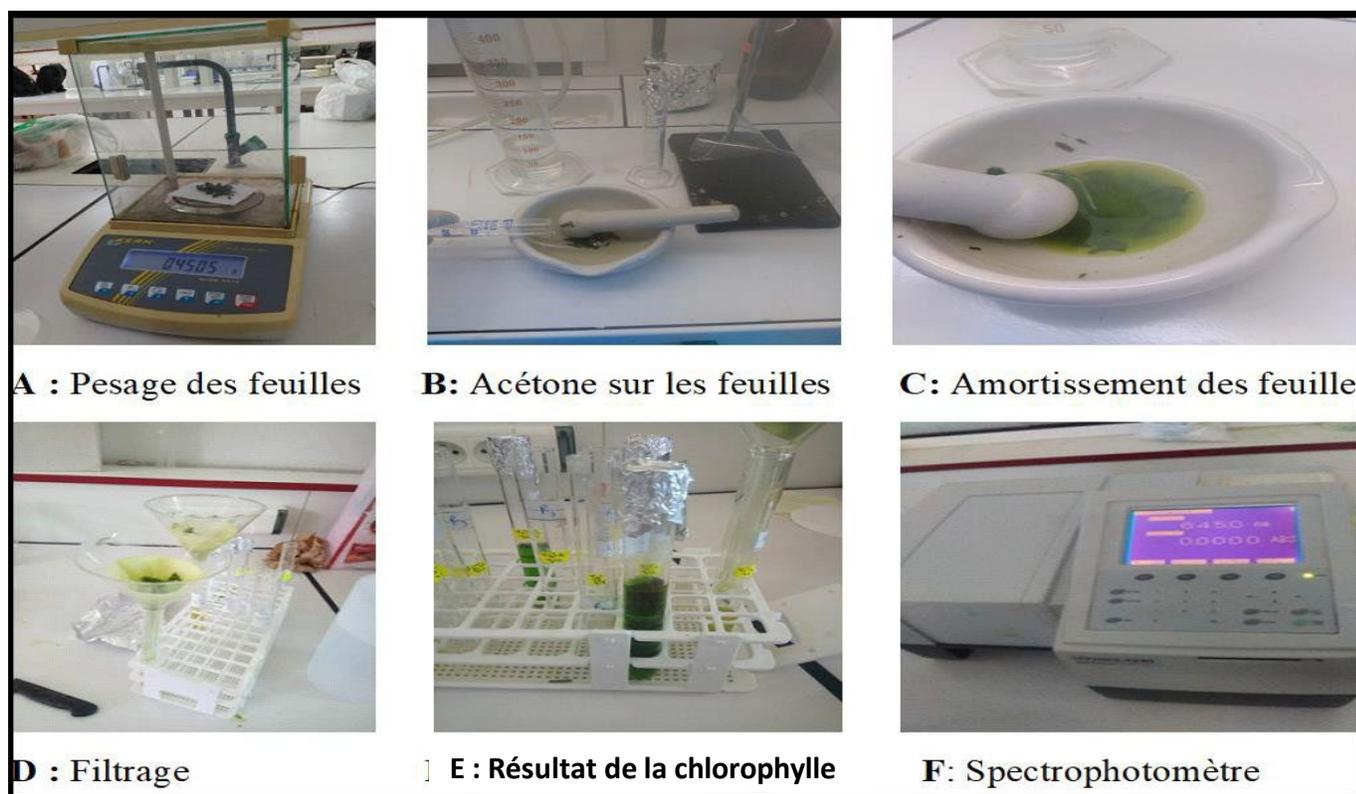


Figure 6. Etapes de Dosage des pigments chlorophylliens

5. La productivité des cultures

5.1. Biomasse aérienne

La biomasse aérienne (BIO, qha⁻¹) est quantifiée à la récolte de l'échantillon, par pesée de la masse aérienne des plantes. La balance électrique utilisée est de marque KERN 572, de portée (Max) de 420g, charge (Min) de 2×10^{-2} g, précision 0,001G.

5.2. Rendement en grains

Le rendement grain (RDT, qha⁻¹) est évalué à la récolte.

5.3. Rendement en paille

Le rendement en paille (PLL, qha⁻¹) est estimé à la récolte.

5.4. Indice de récolte

L'indice de récolte (IR, %) détermine la part du rendement dans la biomasse totale, par l'expression $IR = [RDT/BIO]$

5.5. Réponse des cultures à l'Efficiace de l'Eau sous les Effets des facteurs Etudiés

La valorisation de l'eau par le génotype pour produire de la biomasse aérienne, le rendement, de la paille est traduite par l'efficiace d'utilisation de l'eau. Considérée composante de rendement, elle est définie par le rapport entre le rendement réalisé [RDT, BIO, PLL] et la quantité d'eau consommée par la culture pour aboutir à cette production (Blum et *al.*, 2005).

- $EUERDT = \frac{RDT}{EUC} \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$
- $EUEBIO = \frac{BIO}{EUC} \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$
- $EUEPLL = \frac{PLL}{EUC} \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$

6. Analyse des données

Pour la gestion des apports d'eau, CLIMWAT 2.0 (FAO, 2006) pour CROPWAT version 8.0 (FAO, 2009) ont été utilisés. L'approche du changement climatique a été visualisée par les régimes thermiques et pluviométrique à partir d'une série de données de 119 années d'observations, fournis par *Climatic Research Unit gridded Time Series (CRU TS, 2022)*. Les valeurs récoltées des expérimentations ont été traitées par CropStat 7.2.3. (2009), et JMP Pro 13.

Volet 1. Agro climat et Changement Climatique

1. Le changement climatique

Le changement climatique est l'un des plus grands défis auxquels notre planète est confrontée aujourd'hui. Les impacts du changement climatique, tels que les températures extrêmes, les sécheresses et les inondations, ont des répercussions significatives sur le contexte agroenvironnemental. L'agriculture, qui est un secteur vital pour la sécurité alimentaire et la subsistance de millions de personnes dans le monde, est le premier secteur qui est susceptible d'être affecté par le changement climatique. Les changements de température et les événements climatiques extrêmes ont des impacts sur les rendements des cultures, les ressources en eau et la qualité des sols, mettant en péril la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance des agriculteurs (IPCC, 2018; FAO, 2020). Face à ces défis, l'agro climatologie, qui vise à comprendre les interactions entre le climat et les systèmes agricoles, est devenue un domaine de recherche et d'action clé pour soutenir une agriculture durable et résiliente face au changement climatique. Les solutions agroclimatiques, telles que la mise en œuvre de pratiques agricoles durables, la gestion des ressources naturelles et l'adaptation aux changements climatiques, atténuent les effets des risques climatiques sur l'agriculture et renforcent la résilience des agriculteurs face aux événements extrêmes (Lipper, et *al.*, 2014; Vermeulen, et *al.*, 2012).

2. Impacts du changement climatique sur l'agriculture

Le changement climatique a des impacts directs sur la production agricole, la qualité des récoltes et la santé des plantes et des animaux (Rosenzweig et *al.*, 2014). Ainsi, les variations des régimes de précipitations affectent les sources d'eau pour l'irrigation et la production hydroélectrique, tandis que les événements climatiques extrêmes tels que les inondations, les tempêtes et les sécheresses génèrent des déluges et des effets dévastateurs sur les infrastructures et les moyens de subsistance locaux (IPCC, 2014).

3. Les solutions pour une agriculture résiliente face au changement climatique

Les pratiques agricoles durables par la gestion de l'eau, la conservation des sols, la diversification des cultures et l'utilisation de semences résistantes aux changements climatiques sont considérées déterminantes pour une agriculture résiliente face au changement climatique

(Lal, 2015). Il est utile de mentionner que la mise en place de systèmes alimentaires durables et équitables, qui intègrent les considérations environnementales, économiques et sociales tout au long de la chaîne alimentaire est une solution en agriculture durable pour réduire les effets du changement climatique (IPES-Food, 2016)

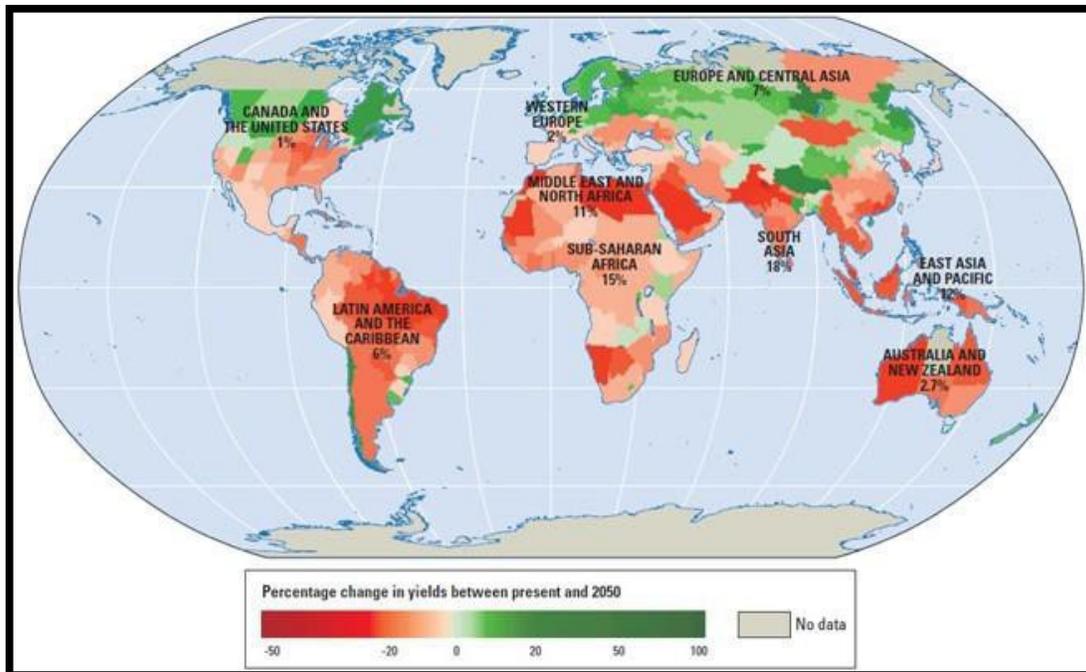
4. L'agriculture résiliente face au changement climatique

Une des principaux défis pour la mise en place de solutions pour une agriculture résiliente face au changement climatique est le manque d'investissements dans la recherche et le développement de technologies agricoles adaptées aux changements climatiques (Rosenzweig et *al.*, 2014). La nécessité de changer les pratiques et les comportements des agriculteurs, ainsi que des consommateurs, pour adopter des approches durables et résilientes est fondamentale pour faire face au changement climatique (FAO, 2016).

5. Politiques et programmes d'action pour l'agro climat

Un cadre politique international pour l'agro climat est nécessaire pour coordonner les actions à l'échelle mondiale et encourager la coopération internationale en matière d'adaptation et d'atténuation dans le secteur agricole (FAO, 2017). Les programmes nationaux d'adaptation et d'atténuation pour l'agriculture sont essentiels pour traduire les politiques internationales en action concrète au niveau national, en prenant en compte les besoins et les priorités spécifiques de chaque pays (Tengberg, et *al.*, 2016). Le rôle des acteurs locaux dans l'agro climat est crucial pour assurer la réussite des politiques et programmes d'action (Olsson, et *al.*, 2015).

Le changement climatique a des impacts négatifs sur l'agriculture et l'agroalimentaire, et engendrent des conséquences importantes pour la sécurité alimentaire, les moyens de subsistance des populations rurales, la biodiversité, la qualité de l'eau et la santé humaine. Toutefois, les résolutions pour réduire sont la mise en place de programmes d'adaptation et d'atténuation pour l'agriculture, en impliquant les acteurs locaux dans l'agro climat, et en favorisant une agriculture durable résiliente (Lal, 2015). Les événements extrêmes tels que les canicules, et les sécheresses combinées aux changements des températures et de régimes de précipitations exercent une influence énorme sur l'agriculture, les prévisions des rendements agricoles, montre clairement que, plus une région est verte, plus le rendement agricole prévu en 2050 est élevé, plus elle est rouge plus le rendement est faible, avec l'observation de la grande différence entre les hémisphères nord et sud (Volet 1 Figure 1).



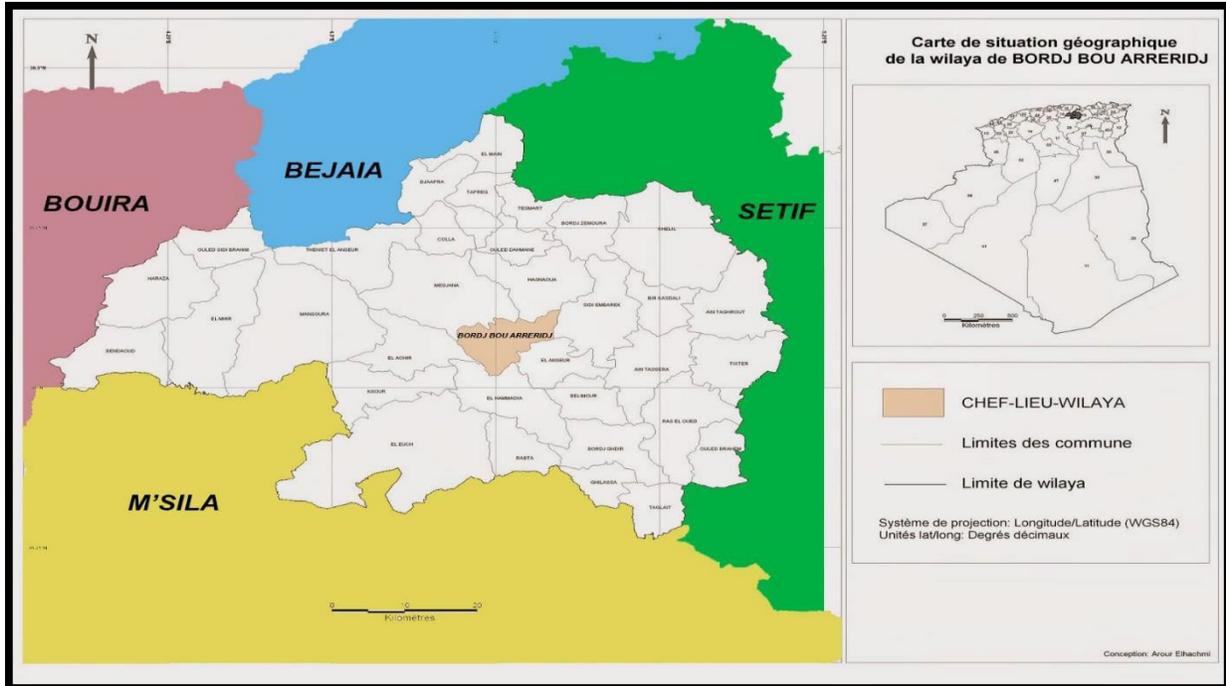
Volet 1 Figure 1. Carte de prévision des rendements agricoles en 2050 (Banque mondiale, 2008).

Les scénarios élaborés par les chercheurs prédisent une hausse de la température de 2°C ou plus, et qui aura pour conséquence une diminution de la production agricole, donc avec des répercussions sur la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale et régionale, une perte de terres agricoles dans les régions côtières suite à l'élévation du niveau des mers et à la salinisation des sols (Vermeulen, et *al.*, 2012).

6. Changement climatique dans les hauts plateaux Sétifiens

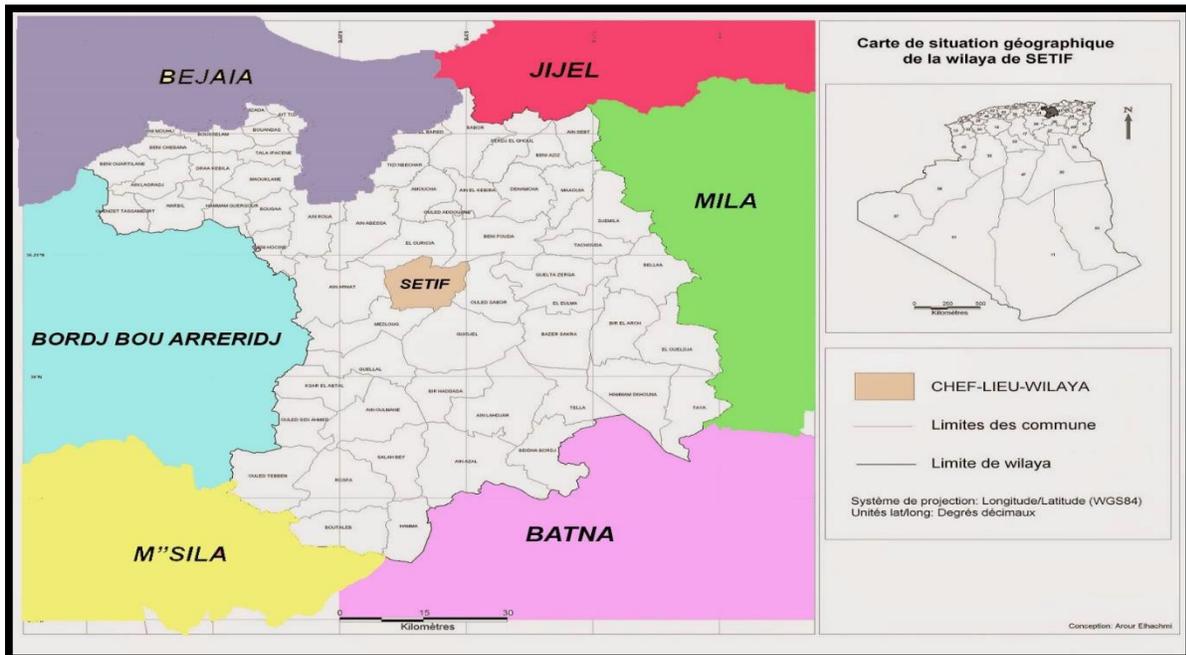
6.1. Situation géographique des zones d'études

Bordj Bou Arreridj occupe une place stratégique dans l'Est algérien, en effet, elle se trouve à mi-parcours entre Alger, la capitale et Constantine. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Bejaia et Sétif, à l'Est par Sétif, à l'Ouest par Bouira et au Sud par la wilaya de M'sila. Elle est composée par trois zones géographiques, 1) une zone montagneuse au Nord avec la chaîne des Bibans, 2) une zone de hautes plaines qui occupe la majeure partie de la région, et une zone steppique au Sud-Ouest à vocation agropastorale (Volet 1 Figure 2).



Volet 1 Figure 2. Carte de Situation géographique de la Wilaya de Bordj Bou Arreridj

La capitale des Hauts Plateaux, Sétif, est située sur les hautes terres de l'EST du pays. Elle est délimitée au Nord par la wilaya de Bejaia et Jijel, à l'Est par la wilaya de Mila, Batna et M'Sila au Sud et à l'Ouest de la wilaya de Bordj Bou Arreridj, décomposé de 3 grandes zones, 1) Une zone montagneuse, 2) les Hautes Plaines, et 3) la frange semi-aride (Volet 1 Figure 3).



Volet 1 Figure 3. Carte de Situation géographique de la Wilaya de Sétif

6.2. Climatologie des zones d'études

CRU TS (Climatic Research Unit gridded Time Series) est un ensemble de données climatiques largement utilisées sur une grille de 0,5° de latitude par 0,5° de longitude sur tous les domaines terrestres du monde, elle est dérivée par interpolation d'anomalies climatiques mensuelles à partir de réseaux étendus d'observations de stations météorologiques (Harris, et *al.*, 2014).

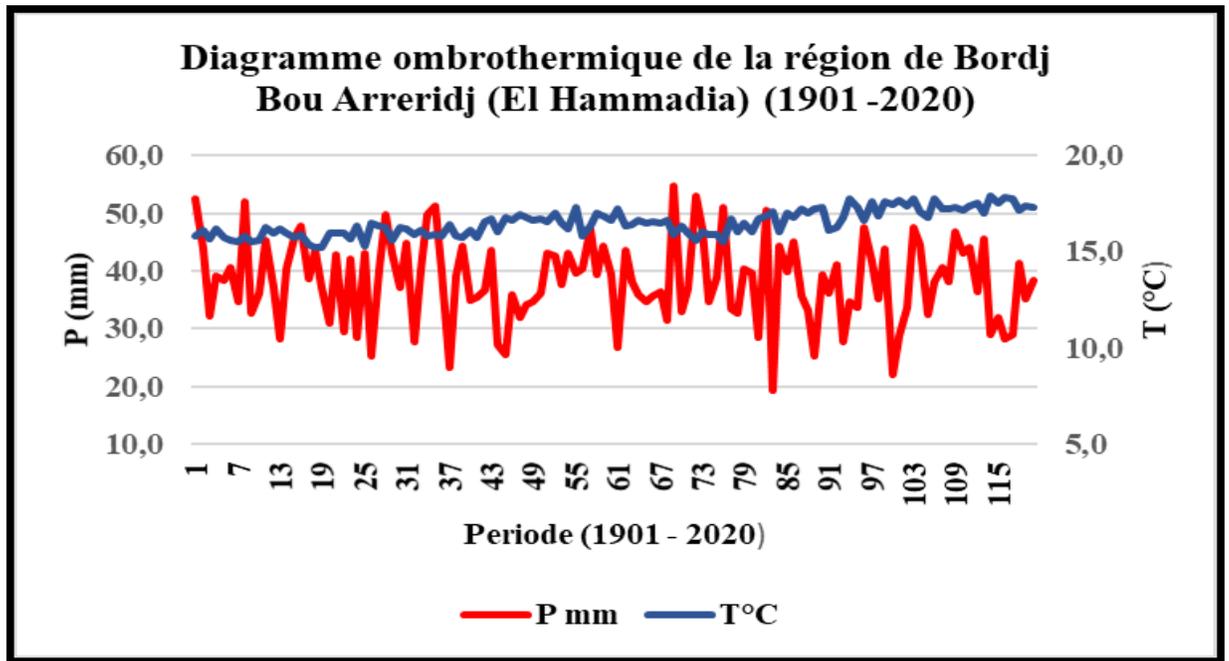
6.2.1. Environnement de Bordj Bou Arreridj

La région de Bordj Bou Arreridj a un climat méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers frais et humides. Les températures maximales moyennes en été (juin à août) sont d'environ 30 °C, mais peuvent parfois atteindre 40°C. Les températures minimales moyennes en hiver (décembre à février) sont d'environ 6°C, mais peuvent parfois descendre en dessous de 0°C (Baldy, 1992). Ainsi, les précipitations sont concentrées principalement en automne et en hiver, avec une moyenne annuelle d'environ 400 millimètres. Les mois les plus pluvieux sont novembre et décembre, tandis que les mois les plus secs sont juillet et août. En raison de sa position géographique, la région de Bordj Bou Arreridj est sujette à des vents forts, en particulier pendant les mois d'hiver. Les vents soufflent généralement du nord-ouest, mais peuvent également venir du sud-est en été (<http://www.meteo.dz/climatologie/bordj-bou-arreridj>).

Le diagramme ombrothermique de Bordj Bou Arreridj pour la période 1901-2020 montre une variation significative des précipitations tout au long de l'année (Figure 4). Les mois d'hiver de décembre à février ont tendance à être les plus humides, avec des précipitations moyennes mensuelles variant de 60 à 70 mm par mois. Les mois d'été de juin à août, en revanche, sont beaucoup plus secs, avec des précipitations moyennes inférieures à 10 mm par mois. Cependant, en examinant les tendances à long terme, le diagramme ombrothermique (Figure 4), suggère que les précipitations annuelles à Bordj Bou Arreridj ont diminué au fil du temps. Au cours des dernières décennies, la quantité de précipitations pendant les mois d'hiver a également diminué, bien que la variabilité interannuelle reste élevée (Chourghal et *al.*, 2018).

Il est important de noter que ces tendances ne sont pas uniques à Bordj Bou Arreridj, mais font partie de tendances plus larges dans la région et dans le monde entier. Les changements climatiques ont des implications importantes pour les ressources en eau, l'agriculture et

l'environnement dans la région de Bordj Bou Arreridj, et il est important de prendre en compte ces tendances pour planifier et gérer de manière durable les ressources dans la région (Meddahi et Zerga, 2015).



Volet 1 Figure 4. Diagramme ombrothermique de Bordj Bou Arreridj (Commune d'El Hammadia) période de (1901 – 2020)

Température

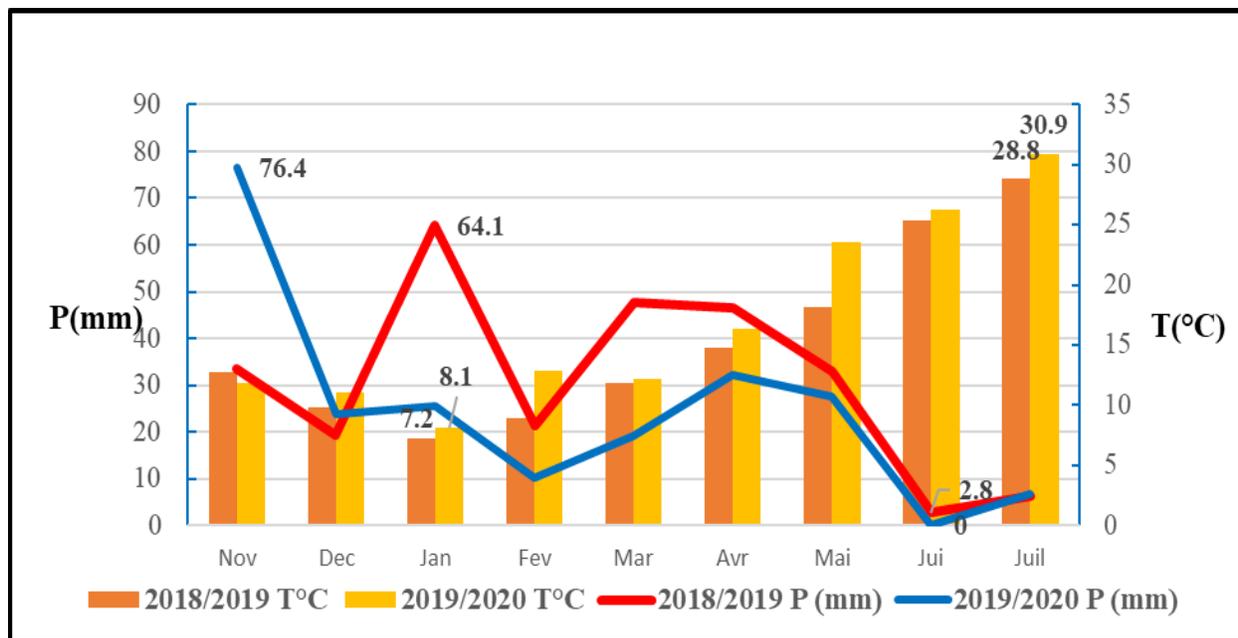
En 2018- 2019, la température moyenne annuelle à l'environnement E1 était d'environ 19,2°C, avec des variations saisonnières. En été, les températures ont atteint 28,8°C relevé au mois de juillet, tandis qu'en hiver, janvier, elle est de 7,2°C (Volet 1 Figure 5).

En 2019- 2020, la température moyenne annuelle était un peu plus élevée, atteignant 19,5°C. Les températures maximales estivales ont également atteint des valeurs supérieures à 30°C, tandis que les températures hivernales sont restées dans la même fourchette que la saison précédente (Volet 1 Figure 5).

Précipitations

En 2018- 2019, Bordj Bou Arreridj a reçu environ 275 mm de précipitations comme cumul annuel. Le mois de janvier était le plus pluvieux avec 64,1 mm, tandis que le mois le plus sec est juillet avec 2,8 mm (Volet 1 Figure 5).

En 2019- 2020, la région a reçu un peu moins de précipitations que l'année précédente avec environ 221,64 mm au total. Le mois de novembre a enregistré 76,4 mm, tandis que les mois d'été très secs, avec des précipitations inférieures à celles de la saison précédentes (Volet 1 Figure 5).



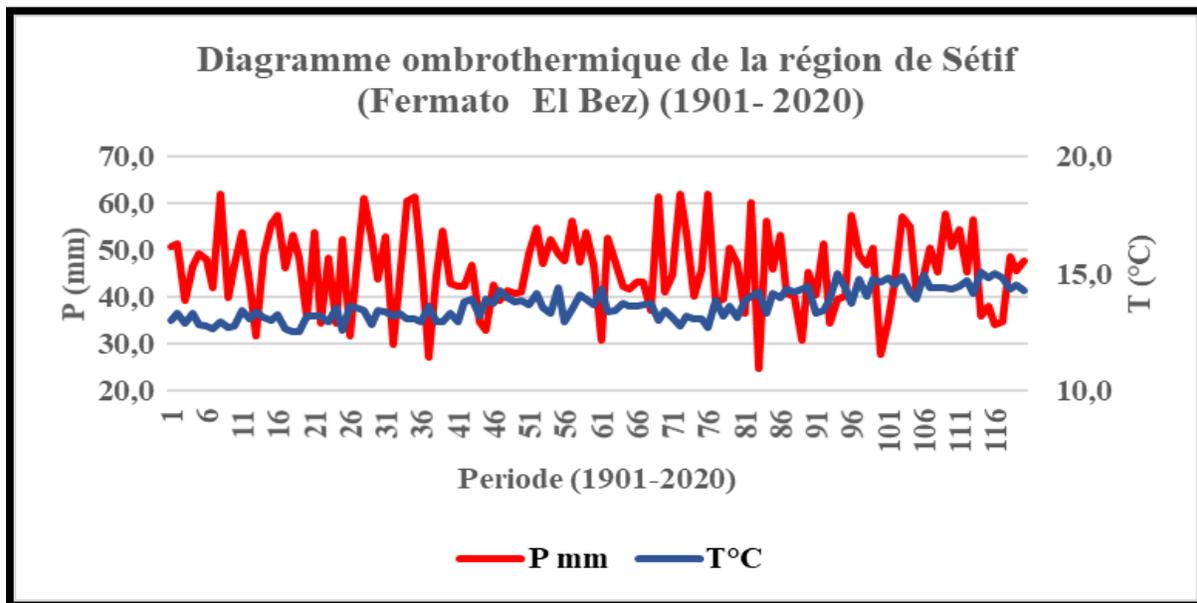
Volet 1 Figure 5. Courbes Températures et Précipitations de Bordj Bou Arreridj (Commune d'El Hammadia) période d'essai (2018 – 2020)

6.2.2. Environnement de Sétif

Sétif est une ville située dans le nord-est de l'Algérie, dans la région des Hauts Plateaux. Elle se trouve à une altitude d'environ 1 100 mètres au-dessus du niveau de la mer, ce qui lui confère un climat semi-aride à continental avec des hivers froids et des étés chauds. La température moyenne annuelle à Sétif est d'environ 14°C. Les mois les plus chauds sont juillet et août, avec des températures moyennes de 26°C à 28°C, tandis que les mois les plus froids sont décembre et janvier, avec des températures moyennes de 5°C à 6°C. Tandis que, les précipitations annuelles moyennes à Sétif sont d'environ 400 mm, avec les mois les plus pluvieux étant mars et avril. La neige tombe occasionnellement pendant les mois d'hiver, en particulier en janvier et février (<http://www.meteo.dz/climatologie/synthese-climatologique/>)

Pour la période 1901-2020, le diagramme ombrothermique de l'environnement E2 montre une variation saisonnière des précipitations et des températures moyennes mensuelles (Boukhris et al., 2019).

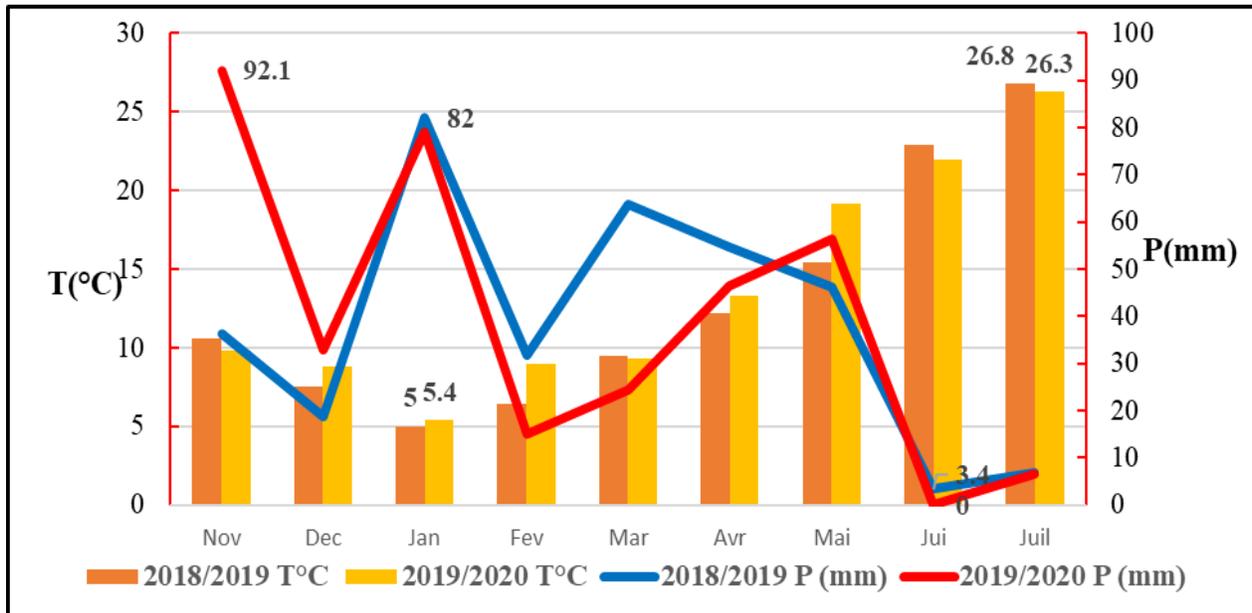
La courbe bleue représentant les températures moyennes annuelles montre que les années les plus chaudes sont les années qui viennent après les années 80 (Volet 1 Figure 6). Tandis que, la courbe rouge indique que le cumul des précipitations annuelles, [dont le niveau traduit une valeur mensuelle de précipitation relatif à un mois] accuse une irrégularité des précipitations, donc des moyennes mensuelles au cours des années, parfois supérieure à 60 mm pendant plusieurs années, avec un pic de précipitation en 1906 (Figure 6). Les années considérées les plus seches sont par exemple 1936; 1981; et 2006 avec très peu de précipitations inférieure a 30mm (Figure 6).



Volet 1 Figure 6. Diagramme ombrothermique de Sétif (Fermato ElBez) période de (1901 – 2020)

En examinant les données de température et de précipitations pour Sétif pour la période de 2018 à 2020, nous pouvons constater quelques tendances intéressantes. Selon les données de la station météorologique de Sétif de Météo Algérie, la température moyenne annuelle pour la période de 2018 à 2019 est estimée à 14,6°C, avec des températures maximales moyennes de 26,8°C au mois de juillet et des températures minimales moyennes relevées au mois de janvier de (5°C) (Volet 1 Figure 7). Le cumul moyen annuel de 2018/2019 est de 367,5 mm, avec une forte variation entre les mois; les mois pluvieux sont janvier (82 mm), mars (63,7 mm), et avril (54,7 mm). Les mois les plus secs sont de cumul < 2 mm (Volet 1 Figure 7).

En 2019-2020, la température moyenne annuelle maximale était de 26,3°C (juillet), et minimale de zéro °C. Les précipitations 92,1mm relevées en novembre, et moins de 4mm pour juin (Volet 1 Figure 7).



Volet 1 Figure 7. Courbes Températures et Précipitations de Sétif (Fermato El Bez) période d'essai (2018 – 2020)

En comparant les données du diagramme ombrothermique pour la période 1901-2020 avec les données climatiques pour la période 2018-2020, nous pouvons constater des similitudes dans les tendances générales de températures et de précipitations. Cependant des différences apparaissent pour les précipitations annuelles moyennes pour les années 2018 -2020, avec une année plus sèche 2020 et une année humide 2019 que la moyenne annuelle de la période 1901-2020.

7. Les apports d'eau sur les cultures mises en expérimentation

La détermination des besoins en eau des cultures céréalières et celle de la légumineuse durant les deux campagnes agricoles [(C1, 2018/2019) et (C2, 2019/2020)] et sous l'effet des conditions de l'environnement [(E1, Bordj Bou Arreridj) et (E2, Sétif)] est réalisée en utilisant le logiciel [CLIMWAT 2,0 FOR CROPWAT].

7.1. Infrastructures des données d'entrée et de sortie du logiciel Cropwat

CropWat est un logiciel développé par la FAO pour évaluer les besoins en eau des cultures et planifier l'irrigation en fonction des ressources en eau disponibles. Le logiciel utilise des données d'entrée pour calculer les besoins en eau des cultures, ainsi que des données de sortie pour fournir des informations sur la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation.

7.1.1. Les données d'entrée pour CopWat

▪ *Données climatiques*

Les paramètres insérés pour évaluer les besoins en eau des cultures sont 1) La température, 2) l'humidité relative de l'air, 3) la vitesse du vent et 4) les précipitations.

▪ *Données sur les cultures*

Il s'agit de données, 1) type de culture, 2) la surface cultivée, 3) la date de semis et 4) la date de récolte. Ces données sont utilisées pour estimer les besoins en eau des cultures.

▪ *Données sur les sols*

1) Le type de sol, 2) la profondeur du sol et 3) la capacité de rétention d'eau du sol. Ces données sont utilisées pour estimer la quantité d'eau disponible pour les cultures.

7.1.2. Les données de sortie pour Cropwat

Les données de sortie regroupent des informations.

- *Besoins en eau des cultures* : Ces données indiquent la quantité d'eau nécessaire pour répondre aux besoins des cultures en fonction des données d'entrée fournies.
- *Planification de l'irrigation* : CropWat fournit des informations sur la planification de l'irrigation, notamment la quantité d'eau à apporter à chaque stade de croissance de la culture.
- *Résumé de la consommation d'eau* : Les données de sortie de CropWat sont un résumé de la consommation d'eau pour chaque culture, ainsi que des graphiques pour visualiser les données de manière plus efficace.

7.2. Consommations en eau des cultures testées

Les modèles de simulation qui illustrent les effets de l'eau sur le rendement des cultures sont considérés comme des outils utiles pour améliorer la gestion de l'eau et optimiser l'efficacité de son utilisation.

Pour notre expérimentation, le modèle agronomique *CLIMWAT 2,0 FOR CROPWAT*, nous a fourni les besoins en eau d'irrigation (BEI) (Tableaux 1 et 2). Les besoins en eau des génotypes de blé dur sont estimés à 380,2 mm pour la C1, un peu moins (-31,3 mm) par rapport à C2 dans l'environnement E1. Ils sont supérieurs à 400 mm pour l'E2 durant la C1. Cependant, les besoins sont réduits au cours de la seconde saison agricole seulement 214,8 mm, cela est dû à la réserve d'eau de pluie de la première saison agricole (Volet 1 Tableau 1).

Volet 1 Tableau 1. Consommations en eau des génotypes de blé dur sous l'effet des environnements E1 et E2 durant les campagnes agricoles (2018/2019 et 2019/2020)

Environnements	Campagnes agricoles	Traitements	Phases de développement				Cumul (mm)
			Initial	Croissance	Mi-saison	Arrière-saisons	
E1(BBA)	(C1) 18/19	Pluvial (T1)	17,27	150,14	95,25	21,34	284
		Irrigué (T2)	3,7	97,5	138,1	140,9	380,2
E2 (Sétif)		Pluvial (T1)	18,28	258,79	67,31	40,9	385,28
		Irrigué (T2)	0	95,9	156,5	157,9	410,4
E1(BBA)	(C2) 19/20	Pluvial (T1)	70,12	36,08	13,2	0	119,4
		Irrigué (T2)	2,2	142,2	82,8	121,7	348,9
E2 (Sétif)		Pluvial (T1)	40,64	37,84	17,26	0	95,74
		Irrigué (T2)	0,9	37,1	71,3	105,5	214,8

Durant la première campagne agricole dite pluvieuse par le fait d'avoir un cumul pluviométrique de 284 mm par rapport à C2 (119,4 mm) pour l'environnement E1, et une hausse de 101,28 mm pour E2. Malgré ça, les deux associations cultivées [AS1: (Fouara x *Vicia sativa*) et AS2: (Juanillo x *Vicia sativa*)] sous l'effet de l'E1 ont consommé moins d'eau (AS1 : 362,6 mm, et AS2 : 368,9 mm), par rapport à E2 (AS1: 395,08 mm, et AS2 : 403,28mm) (Volet 1 Tableau 2). Tandis que, la deuxième campagne est caractérisée par une faible précipitation pour les deux environnements (E1 : 119,4 mm, et E2 : 95,74 mm). Les besoins en eau sont réduits pour AS1 et AS2 sous l'effet des deux environnements. Le mélange (*Triticale x Vesce*) (AS2) consomme plus d'eau en (*AS2T2E2C1*) 403,28 mm durant tout le cycle (Volet 1 Tableau 2).

Volet 1 Tableau 2. Consommations en eau des associations des cultures fourragères sous l'effet des environnements E1 et E2 durant les campagnes agricoles (C1 et C2)

Campagnes agricoles	Environnements	Associations	Traitements	Phases de développement				Cumul (mm)
				Initial	Croissance	Mi-saison	Arrière-saisons	
C1	E1	AS1	Pluvial (T1)	17,27	150,14	95,25	21,34	284
			Irrigué (T2)	17,27	157,94	138,05	44,84	362,6
		AS2	Irrigué (T2)	17,27	163,4	141,75	46,74	368,9
	E2	AS1	Pluvial (T1)	18 ,28	258,79	67,31	40,9	385,28
			Irrigué (T2)	18 ,28	258,79	70,81	47,2	395,08
		AS2	Irrigué (T2)	18 ,28	258,79	70,91	55,3	403,28
C2	E1	AS1	Pluvial (T1)	70,12	36,08	13,2	0	119,4
			Irrigué (T2)	71,52	36,08	13,2	21,9	142,7
		AS2	Irrigué (T2)	71,52	36,08	13,2	30,1	150,9
	E2	AS1	Pluvial (T1)	40,64	37,84	17,26	0	95,74
			Irrigué (T2)	40,64	37,84	17,26	3,1	98,84
		AS2	Irrigué (T2)	40,64	37,84	18,86	11,4	108,74

La phase initiale de croissance des céréales et légumineuses est caractérisée par une consommation d'eau relativement faible par rapport aux stades de croissance ultérieurs. Cela est dû au fait que les cultures ont des systèmes racinaires peu développés à ce stade, ce qui limite leur capacité à absorber de grandes quantités d'eau (Kumar, et *al.*, 2021). Cependant, il est important de fournir une quantité suffisante d'eau pour favoriser leur croissance et leur développement. Une irrigation insuffisante peut retarder la germination et la croissance des plantes, tandis qu'une irrigation excessive peut provoquer une saturation du sol et nuire à la croissance des racines (Subramanian, et *al.*, 2021). Les recommandations en matière d'irrigation peuvent varier en fonction de facteurs tels que le type de sol, le climat et le type de culture. (Niazi, et *al.*, 2021; Gupta, et *al.*, 2021).

La phase de croissance végétative, où les plantes développent des feuilles et des tiges, cette phase est critique pour la croissance des cultures car elle détermine la taille de la plante et le nombre d'épis ou de gousses. Au cours de cette phase, les cultures ont besoin d'une quantité suffisante d'eau pour soutenir leur croissance.

Cependant, mais une irrigation excessive peut entraîner des problèmes tels que le lessivage des nutriments du sol et le développement de maladies fongiques (Zhang, et *al.*, 2019). La floraison où les plantes produisent des fleurs se transforment ensuite en grains ou en gousses. Cette étape est particulièrement sensible au stress hydrique car une insuffisance d'eau peut entraîner une diminution du nombre de fleurs et une baisse du rendement final. L'irrigation pendant cette période doit être effectuée avec prudence pour éviter une irrigation excessive, qui peut entraîner une accumulation de l'eau dans le sol et une diminution de la qualité des grains (Zhang, et *al.*, 2019). A la maturation, les grains ou les gousses atteignent leur taille et leur poids finaux. Au cours de cette phase, les cultures ont besoin d'une quantité d'eau limitée pour éviter le pourrissement des grains. La récolte doit être effectuée lorsque les grains ont atteint leur teneur en humidité optimale, ce qui permet une meilleure qualité et une meilleure conservation à long terme (Chen, et *al.*, 2020). Donc, la consommation en eau des céréales et des légumineuses varie selon les différentes phases de croissance. Pendant la phase initiale, les céréales consomment relativement moins d'eau par rapport aux phases de croissance ultérieures. Les légumineuses quant à elles ont des besoins en eau plus élevés pendant la phase initiale de croissance, en raison de leur développement racinaire plus important. Donc, la gestion de l'eau est un enjeu crucial pour la production de céréales et de légumineuses, en particulier dans un contexte de changement climatique et de pressions sur les ressources en eau. Des pratiques agricoles durables et efficaces en matière de gestion de l'eau sont nécessaires pour garantir la sécurité alimentaire et la durabilité des systèmes de production agricole.

Les Composantes de Rendement des Génotypes

1. Hauteur des plants

L'analyse de la variance révèle un effet significatif du génotype (G) et de l'apport d'eau (T). Aussi, la hauteur (H, cm) est significativement affectée sous l'influence des interactions [(GxE, GxC, TxE, et TxC); (GxTx C, GxEx C et TxEx C)] (Volet 2 Tableau 1). Par contre l'effet qui apparait non significatif sur H est celui de l'environnement (E) et de la campagne agricole(C). De même, H est non affectée sous les interactions [(GxT, Rx C);(GxTx R) et (GxTxRx C)] (Volet 2 Tableau 1). Ces indications traduisent que sous l'effet significatif, la valeur du chaume de la plante varie de manière appréciable, elle ne l'est pas lorsque l'effet d'un facteur est non significatif.

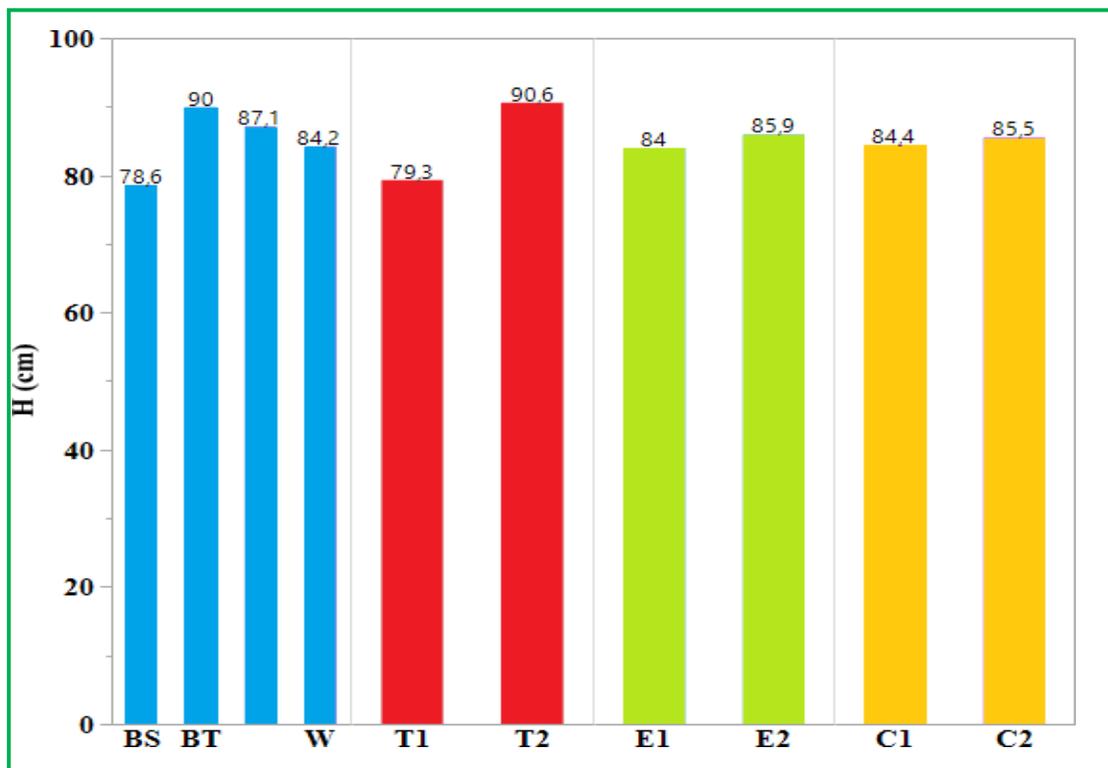
Volet 2 Tableau 1. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des composantes de rendement des quatre génotypes (G) de blé dur testés sous l'effet d'apport d'eau (T), de l'environnement (E), au cours de deux campagnes successives (C) (2018/2019, 2019/2020)

Source	ddl	H	NE	NGE	PMG
Génotype (G)	3	1690,8***	2854,8 ^{ns}	676,8***	366,6**
Traitement (T)	1	3075,8***	372,0 ^{ns}	1113,8***	602,5***
Environnement (E)	1	89,7 ^{ns}	8569,2**	356,5***	0,9 ^{ns}
Campagne (C)	1	25,2 ^{ns}	147972,5***	13608,8***	42256,2***
G x T	3	93,4 ^{ns}	349,2 ^{ns}	260,6**	170,9 ^{ns}
G x E	3	605,2**	2519,5 ^{ns}	274,2**	273,0**
G x C	3	1316,6***	2922,9 ^{ns}	239,6**	210,6*
T x E	1	294,0**	23,0 ^{ns}	14,2 ^{ns}	49,1 ^{ns}
T x C	1	2116,8***	2175,5*	213,0**	263,0**
E x C	1	118,3 ^{ns}	25058,3***	41,3 ^{ns}	14,8 ^{ns}
G x T x E	3	90,5 ^{ns}	1991,1 ^{ns}	55,6 ^{ns}	112,2 ^{ns}
G x T x C	3	335,0**	1777,9 ^{ns}	327,6**	181,0*
G x E x C	3	758,9***	2465,6 ^{ns}	421,6***	311,2**
T x E x C	1	211,8**	157,5 ^{ns}	23,0 ^{ns}	11,8 ^{ns}
G x T x E x C	3	118,4 ^{ns}	1315,0 ^{ns}	68,1 ^{ns}	124,1 ^{ns}
Résidu	64	1923,0	34356,7	1014,67	1398,49
Total corrigé	95	12864,0	234881,0	18709,9	46346,9

H=hauteur des plants (cm), NE= nombre d'épis/m², NGE= nombre de grains par épi, PMG= poids de 1000 grains (g)
^{ns}, * et *** : effets non significatif, et significatif à 5% et 1%, respectivement

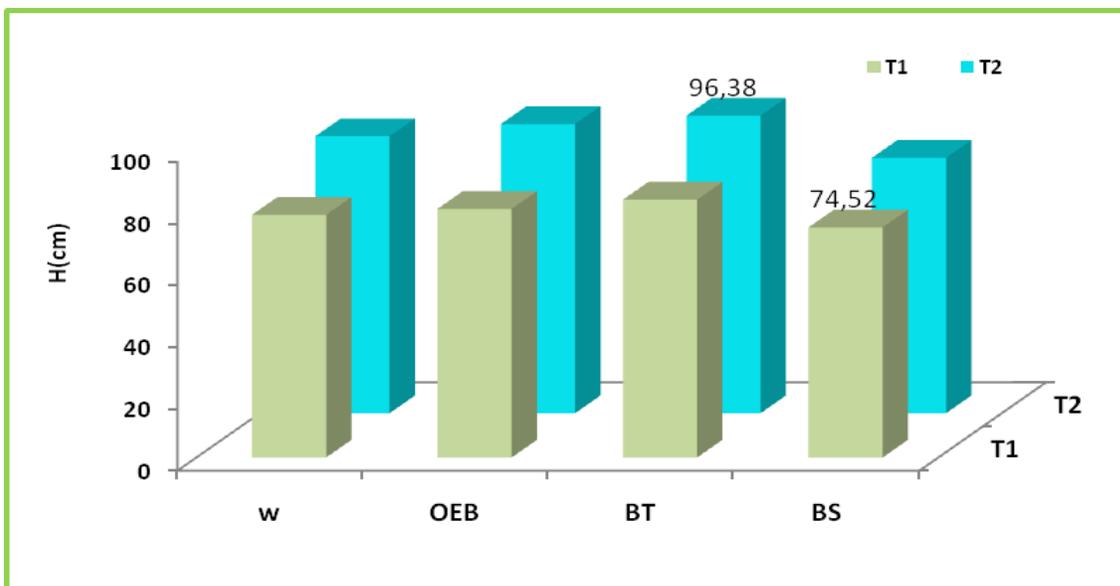
Ainsi, la valeur moyenne de la hauteur du chaume des nouveaux génotypes désignés par Boutaleb (BT) et Oued El Bared (OEB), est dans l'ordre 90 cm et 87,1 cm. Cependant, Bousselem et waha pris comme génotypes témoins, se caractérisent par un chaume plus court, réduit de 12,9 % (Bousselem) et 7,71 % (Waha) relativement à Boutaleb (Volet 2 Figures1 et 2).

Sous apport d'eau, les génotypes se révèlent plus hauts. En effet, sous traitement irrigué (T2), la hauteur moyenne des plantes des génotypes testés est de 90,61 cm. Par contre sous condition pluviale (T1), l'écart relatif à H est de 12.5%.



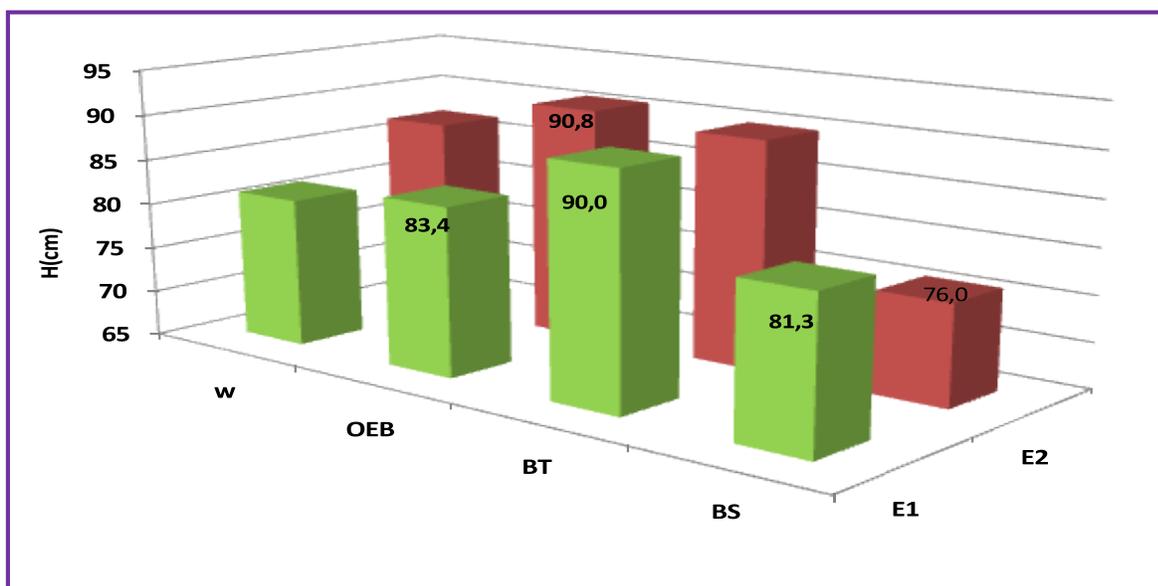
Volet 2 Figure 1. Effet G (Ppds5%= 3.16), traitements irrigués (Ppds5%=2.24, E(Ppds5%=2.24), et C(Ppds5%=2.24)) sur H

Les résultats de l'effet moyen $G \times T$ non significatif sur les deux campagnes et les deux environnements, révèlent toutefois que la plante chez le génotype Boulaleb est plus haute. Ainsi, Boutaleb se montre haut de chaume en conditions pluviale et irriguée, avec respectivement 83.52 et 96.38 cm. Alors, le niveau de la hauteur du chaume sous $G \times T$ est décrit par $[H(T1, T2), BT > OEB > W] > BS$ (Volet 2 Figure2). Cependant, il apparaît qu'en conditions pluviale et irriguée, la divergence relative à la réponse des génotypes en hauteur du chaume est évaluée par $[OEB (13,14cm) > BT (12,86 cm) > BS (8.18cm)]$. L'ordre trahit la valorisation de l'eau pour la hauteur du chaume chez le génotype.



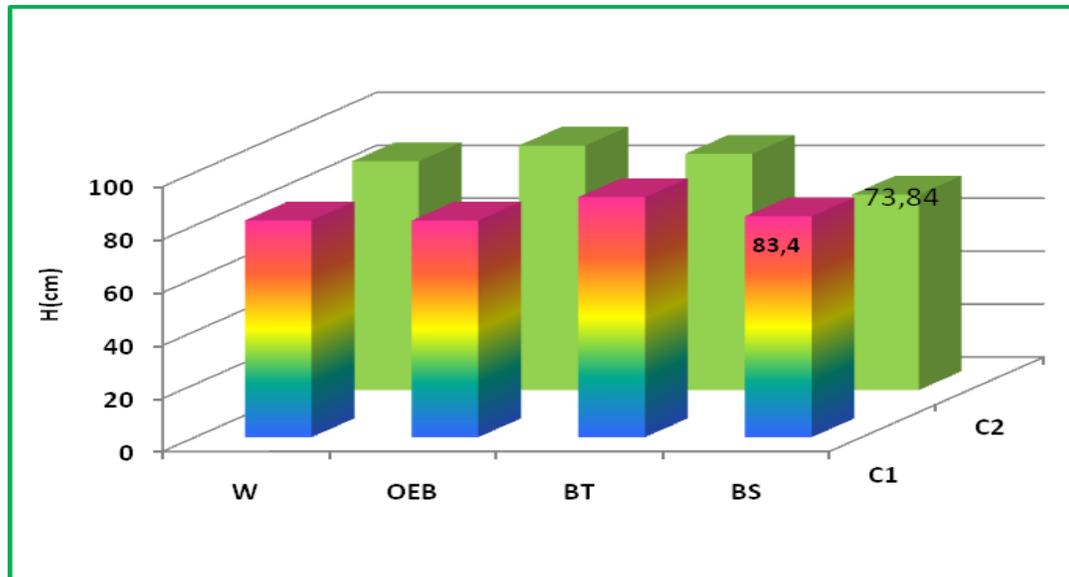
Volet 2 Figure 2. Valeurs de H(cm) sous l'effet de l'interaction GxT (Ppds5%= 4.47)

L'effet significatif de l'interaction *génotype X Environnement* (GxE) sur H(cm) détermine que le chaume se révèle plus haut sous l'environnement (E2) avec 90.8cm et pour le génotype Oued El Bared. Cependant, sous les conditions de l'environnement E1, c'est Boutaleb qui semble se distinguer par un chaume plus haut, avec 90.0cm (Volet 2 Figure3). Toutefois, les résultats révèlent que waha et Oued El Bared prennent des valeurs supérieures en hauteur de la plante sous environnement E2, relativement à Bousselem qui s'est démarqué par un chaume plus court cultiver sous E2. Par contre, sous les deux environnements Boutaleb se distingue par une stabilité en hauteur du chaume (Volet 2 Figure 3).



Volet 2 Figure 3. Hauteur du chaume (cm) sous l'effet significatif de l'interaction (GXE)

De même, testés à la réponse interannuelle pour la hauteur du chaume, les géotypes s'affichent des valeurs de chaumes significativement différentes. Ainsi, la réponse en hauteur de la plante des géotypes en fonction des campagnes agricoles apparaît similaire pour waha et Oued El Bared. Néanmoins, OEB prend un écart entre les deux saisons agricoles, avec un chaume plus haut de 10.5cm lors de la seconde campagne. Par contre, Bousselem régresse de hauteur au cours de cette campagne. A cet égard, Boutalem se pointe par une certaine stabilité (Volet 2 Figure 4).



Volet 2 Figure 4. Hauteur du chaume (cm) sous l'effet significatif de l'interaction ($G \times C$)

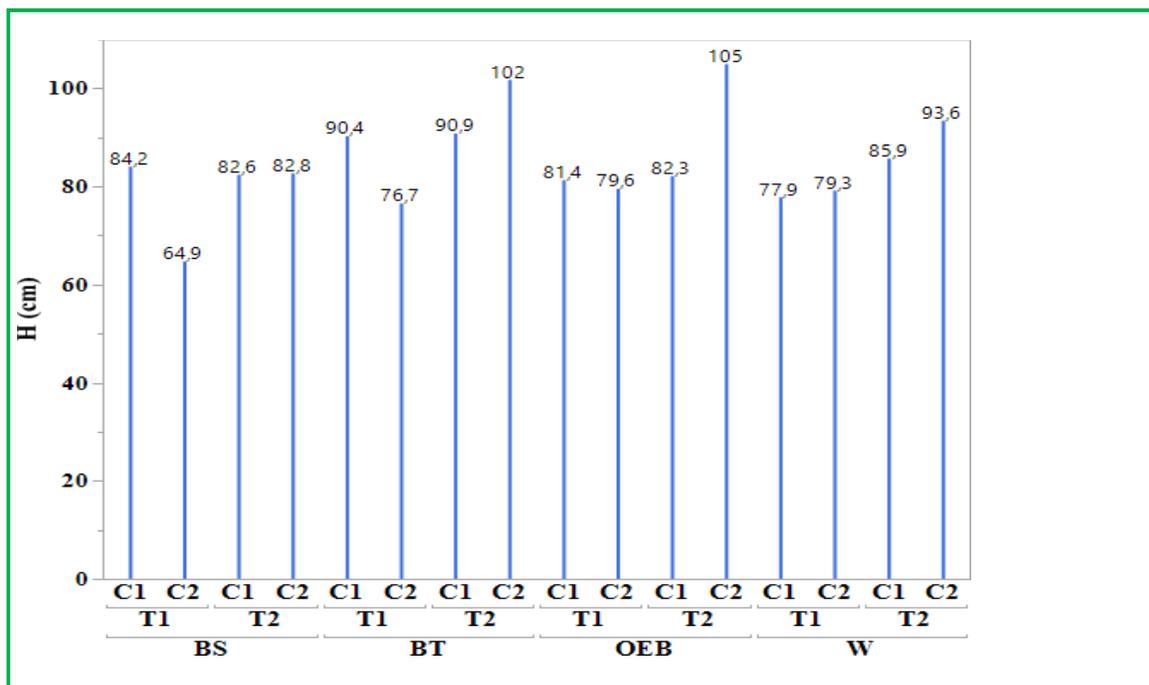
Significativement affectée sous l'effet *traitement irrigué x environnement*, la hauteur du chaume suit un gradient décroissant de TxE , avec $[T2E1 > T2E2 > T1E2 > T1E1]$ (Volet 2 Tableau 2).

Par ailleurs, l'effet significatif de l'interaction TxC indique la supériorité de la hauteur du chaume des géotypes lors de la seconde campagne de 2019/2020 en condition irriguée (Volet 2 Tableau2).

Volet 2 Tableau 2. Hauteur du chaume des géotypes sous l'effet significatif des interactions (TxE , TxC)

Traitements Irrigués	Environnements	H (cm)	Campagnes Agricoles	H(cm)
T1	E1(BBA)	76.60	C1	83.5
T1	E2(Sétif)	82.01	C2	75.11
T2	E1(BBA)	91.4	C1	85.11
T2	E2(Sétif)	89.83	C2	95.41

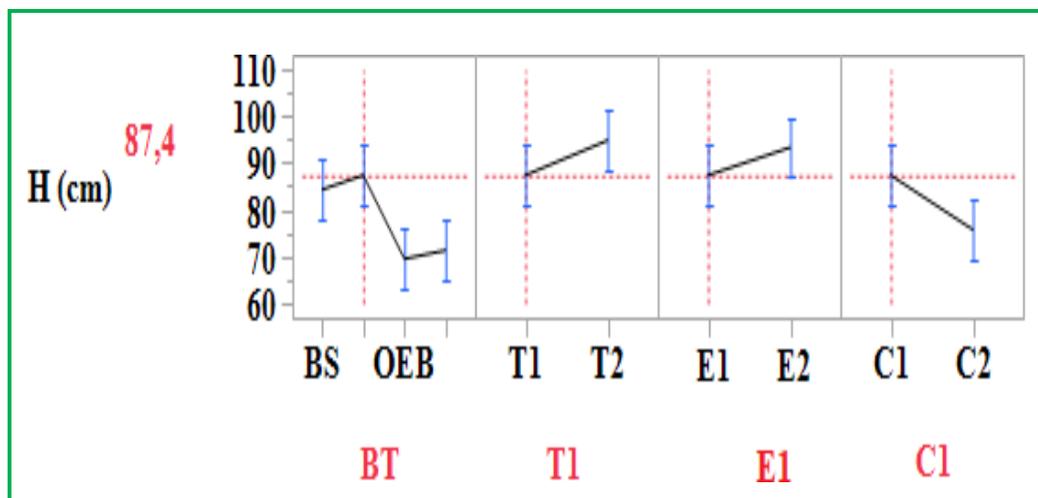
Sous l'effet interactif de $GxTxC$, la hauteur de la plante varie significativement, traduisant l'écart différentiel de H chez les génotypes testés en fonction de l'apport d'eau au cours des campagnes agricoles. En effet, Boutaleb et Oued El Bared se manifestent comme génotypes à chaume haut. Ce caractère mesuré s'améliore sous apport d'eau, d'où ces génotypes tendent vers la performance en milieu favorable (Volet 2 Figure 5).



Volet 2 Figure 5. Variation de la hauteur du chaume sous l'effet $GxTxC$

En outre, tenant compte des quatre facteurs et leurs interférences, par l'effet de l'interaction ($GxTxExC$) sur la hauteur du chaume, les résultats indiquent que le génotype Oued El Bared valorise l'apport d'eau au cours de la seconde campagne. En effet l'écart en unité de hauteur est de 26.0cm, comparativement à la première campagne. Dès lors, il peut être dénommé génotype à chaume haut. D'ailleurs, cette caractéristique s'affiche sur les deux environnements (Volet 2 Tableau 3).

Toutefois, en condition pluviale sous l'effet $GxTxExC$, relativement aux autres génotypes et au cours de la première campagne, Boutaleb accuse un chaume plus haut sous les deux environnements [(E1, 87,4cm); (E2, 933cm)] (Volet 2 Tableau 3, Volet 2 Figure 6). Cependant, au cours de la seconde campagne, le chaume se réduit, l'écart entre les campagnes varie de 11.6 cm à 15.8cm respectivement pour E1 et E2 (Volet 2 Figure 6).



Volet 2 Figure 6. Hauteur du chaume (H, cm) profilée, sous l'effet $BT \times T1 \times E1 \times C1$

Volet 2 Tableau 3. Réponse des G pour H conduits sous T1 et T sous l'effet ExC

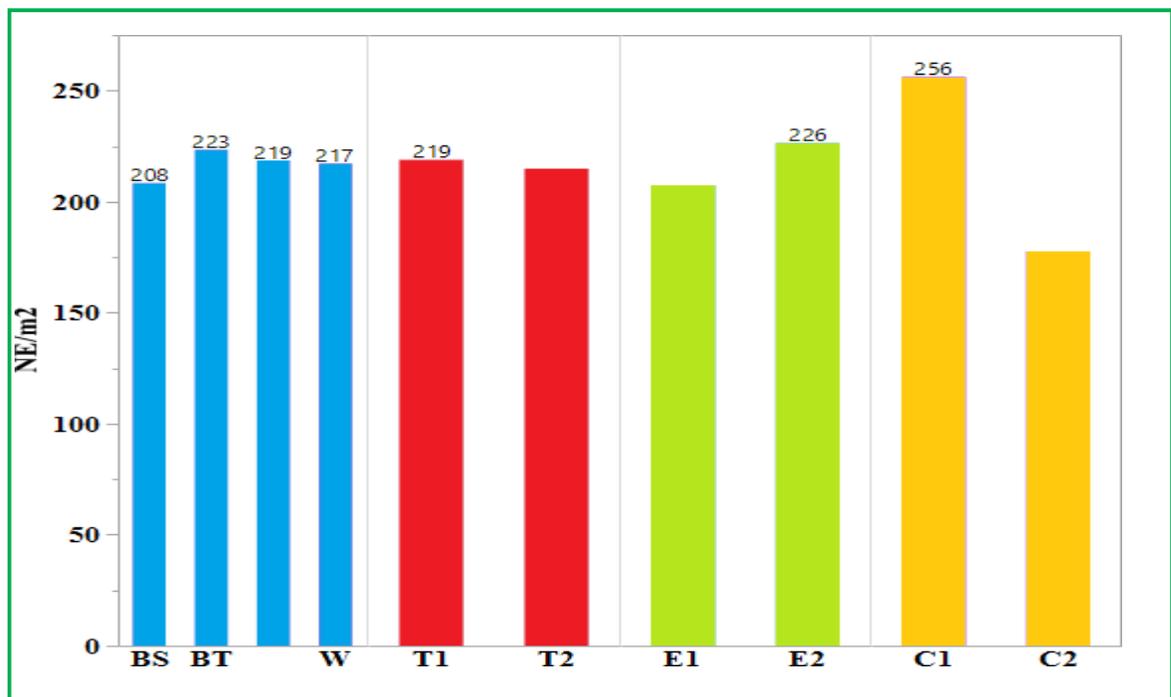
Génotyps	E	C	HT1	HT2
W	E1	C1	71,4	78,9
W	E1	C2	79,9	95,1
W	E2	C1	84,5	92,8
W	E2	C2	78,9	92
OEB	E1	C1	69,5	79,4
OEB	E1	C2	79,6	105,1
OEB	E2	C1	93,3	85,2
OEB	E2	C2	79,7	105,1
BT	E1	C1	87,4	94,9
BT	E1	C2	75,8	105,9
BT	E2	C1	93,3	94,9
BT	E2	C2	77,5	101,9
BS	E1	C1	84,4	87
BS	E1	C2	64,7	101,8
BS	E2	C1	84	93,1
BS	E2	C2	65	82,9

2. Nombres d'Epis et de Grains par Epi

L'analyse de variance indique que la composante nombre d'épis au mètre carré (NE) est significativement affectée sous l'effet environnement (E), et campagne agricole (C). Aussi les interactions $[T \times C]$, $[E \times C]$ le sont (Volet 2 Tableau 1). Cependant, elle ne l'apparaît pas sous l'action des autres effets. Toutefois, le nombre de grain par épi (NGE) est significativement variable en fonction du génotype (G), de l'apport d'eau (T); de l'environnement et des interactions $[(G \times T, G \times E, G \times C, T \times C)]$ et $(G \times T \times C, G \times E \times C)$, les autres interactions ne le sont pas (Volet 2 Tableau 1).

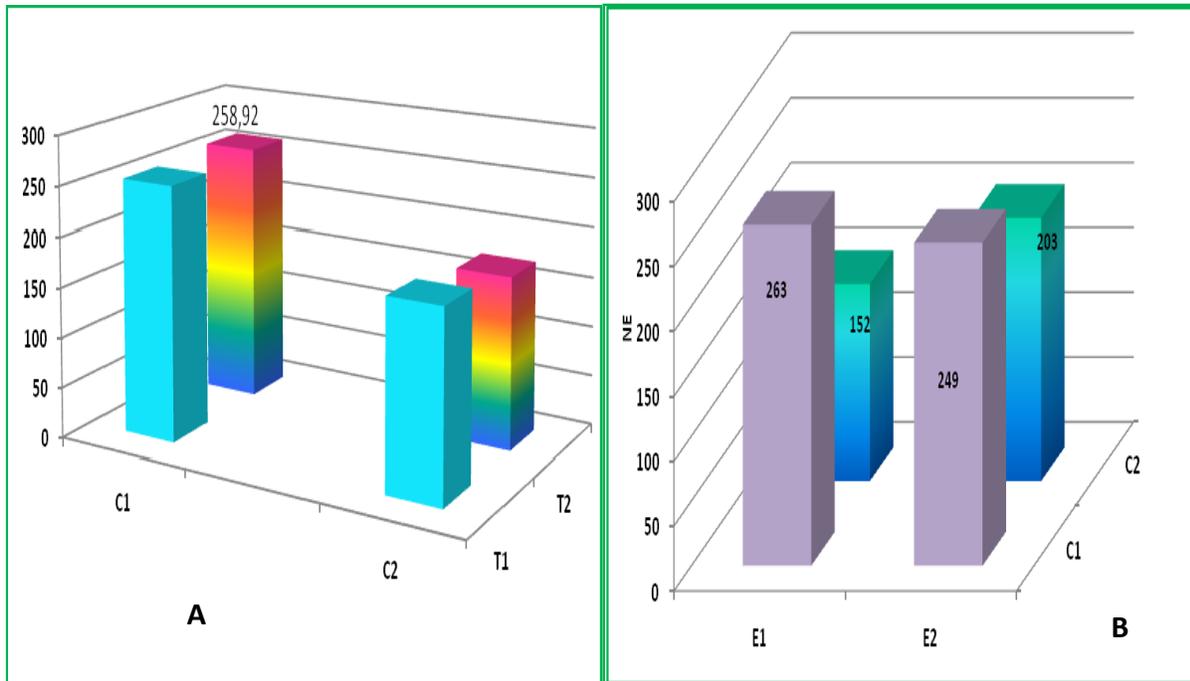
Ainsi, les résultats révèlent que les génotypes ne semblent pas se diverger pour la composante du NE. Toutefois, la différence entre la valeur maximale et minimale est supérieure à la $P_{pds5\%}$. D'ailleurs, Boutaleb produit plus de peuplement épis avec 223.4 (Volet 2 Figure 7). Aussi, ils ne le sont pas sous apport d'eau (Volet 2 Figure 7).

Par contre, l'effet environnemental affecte le NE produit par les génotypes, affichant ainsi une variation significative. En revanche, cultivé sur E2, le NE prend la valeur de 226.31, et se réduit à 207.42 sur E1. En fonction de la campagne agricole, il s'amoindrit de 30.7% au cours de la seconde campagne 2019/2020, pour 256.13 épis au m^2 réalisé au cours de la campagne de 2018/2019 (Volet 2 Figure7).



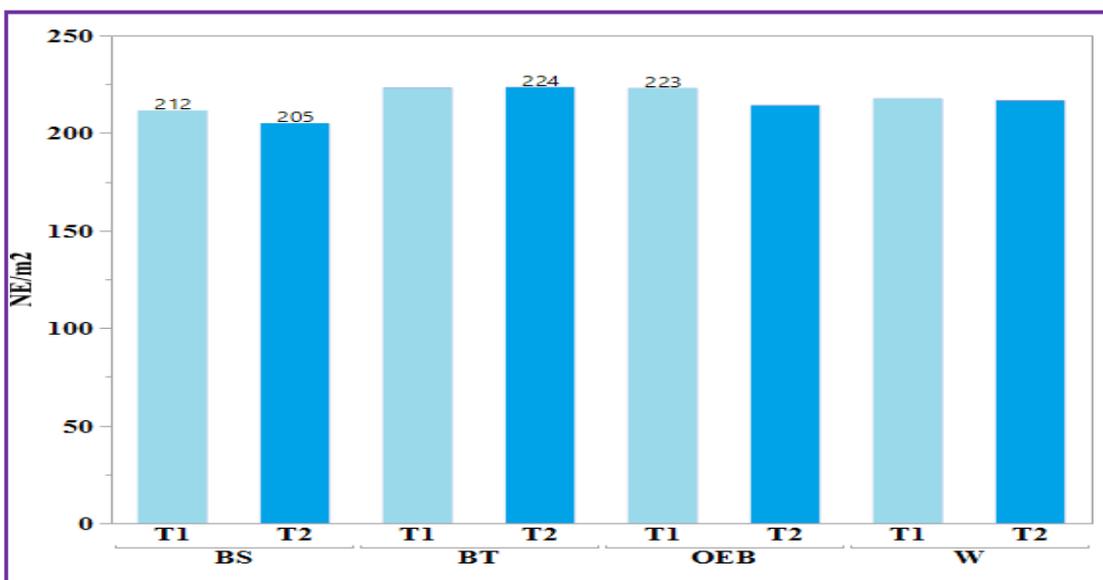
Volet 2 Figure 7. Effet génotype ($P_{pds5\%}=13.4$), apport d'eau ($P_{pds5\%}=9.5$), environnement et campagne agricole sur le NE

L'interaction ($T \times C$) traduit une variation significative de l'apport d'eau en fonction de la campagne agricole. L'effet décroissant de $T \times C$ sur NE suit le gradient $[(T2 \times C1) > (T1 \times C1) > (T1 \times C2) > (T2 \times C2)]$, indiquant que la valorisation de l'apport d'eau par les génotypes pour produire plus d'épis s'est manifestée au cours de la première campagne (Volet 2 Figure8A). D'ailleurs, cette réponse effective des génotypes, se démarque en condition pluviale et en apport d'eau à l'égard de la productivité de l'eau au cours de la même campagne 2018/2019. D'autre part, l'effet significatif de l'interaction $E \times C$, montre une sublimité du nombre d'épis produits par les génotypes au cours de la première campagne agricole 2018/2019 et sur les deux environnements (Volet 2 Figure8B).



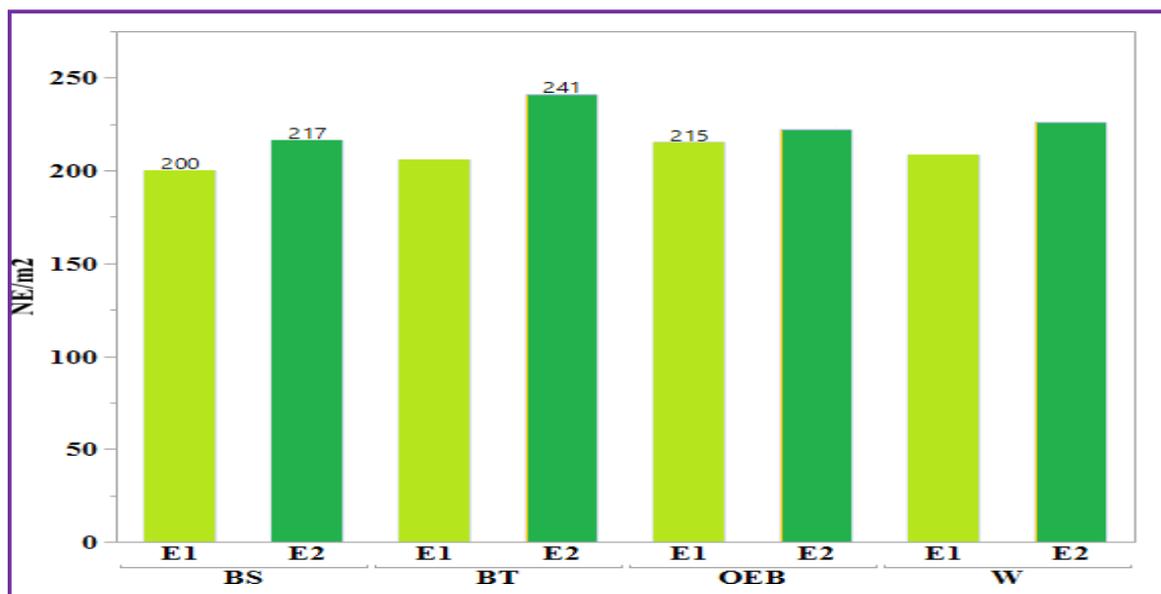
Volet 2 Figure 8. NE produits par les génotypes sous l'effet des interactions $TxC(A)$ et $CxE(B)$

Toutefois le NE réalisé par les génotypes sous les interactions [(GxT) , (GxE) , (GxC) et (TxE)] semble similaire (Volet 2 Figures 9, 10). En effet, sous l'effet interactif (GxT) , le peuplement épis s'affiche similaire chez les génotypes sous traitement d'apport d'eau (Volet 2 Figure 9). Cependant, Boutaleb se pointe comme valorisant l'eau avec 224 épis au m^2 , comparativement au nouveau génotype Oued El Bared qui se démarque avec un NE de 223, valorisant ainsi les conditions pluviales (Volet 2 Figure 9).



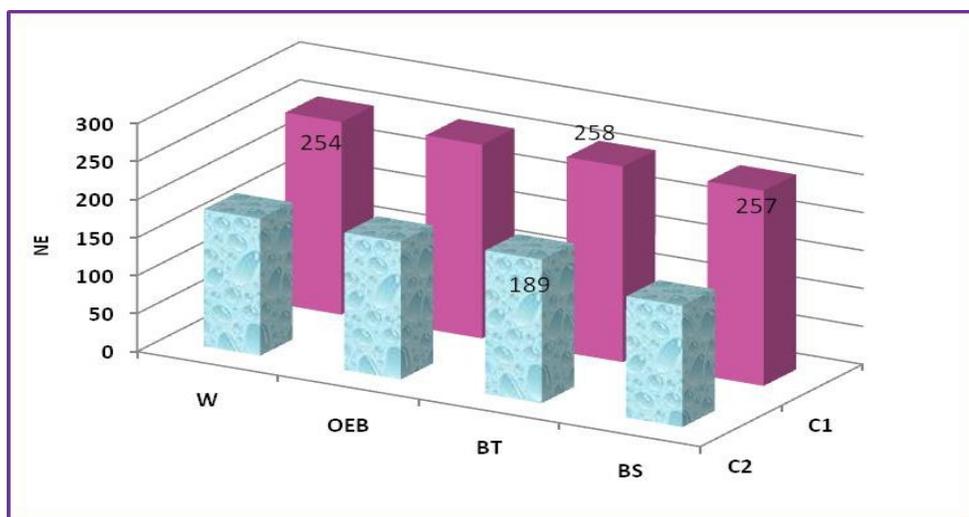
Volet 2 Figure 9. NE produit par les génotypes sous l'effet interactif (GxT) ($Ppds5\%=18.9$)

Le NE d'épis produit ne varie pas de manière appréciable en fonction des environnements sous lesquels sont cultivés les génotypes. Toutefois l'écart entre deux niveaux de NE semble significatif (Volet 2 Figure10). D'ailleurs, cultivé sous E2, le génotype Boutaleb s'est distingué par 241 épis, alors que Bousselem considéré ancien s'affiche sous les conditions de l'environnement (E1) par un NE plus bas avec 200 épi (Volet 2 Figure 10).



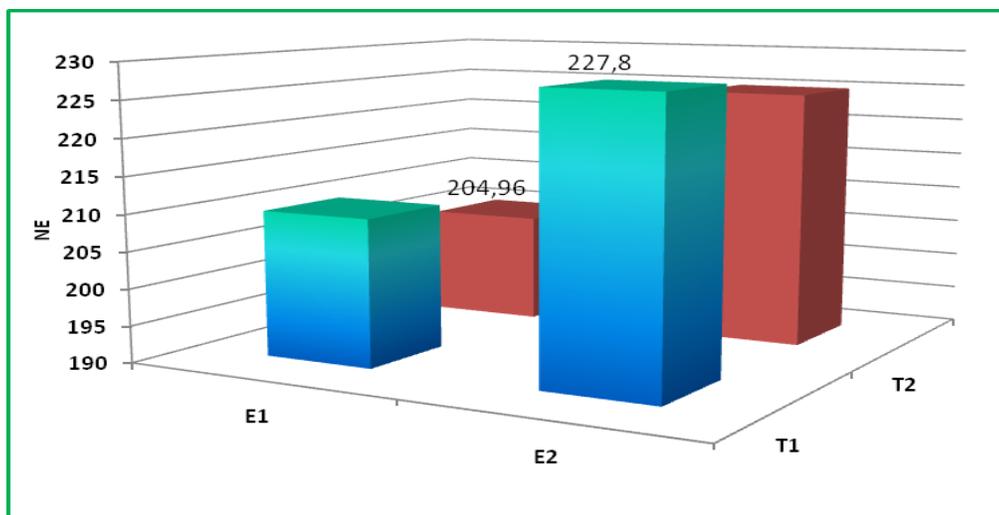
Volet 2 Figure 10. NE produit sous l'action interactive $G \times E$ ($P_{pds5\%}=18.9$)

Sous interaction non significative de l'effet campagne, le peuplement épis produit par Boutaleb est de 258. A la seconde campagne 2019//2020, Bousselem réalise le moins d'épis, avec une réduction de 38% (Volet 2 Figure 11).



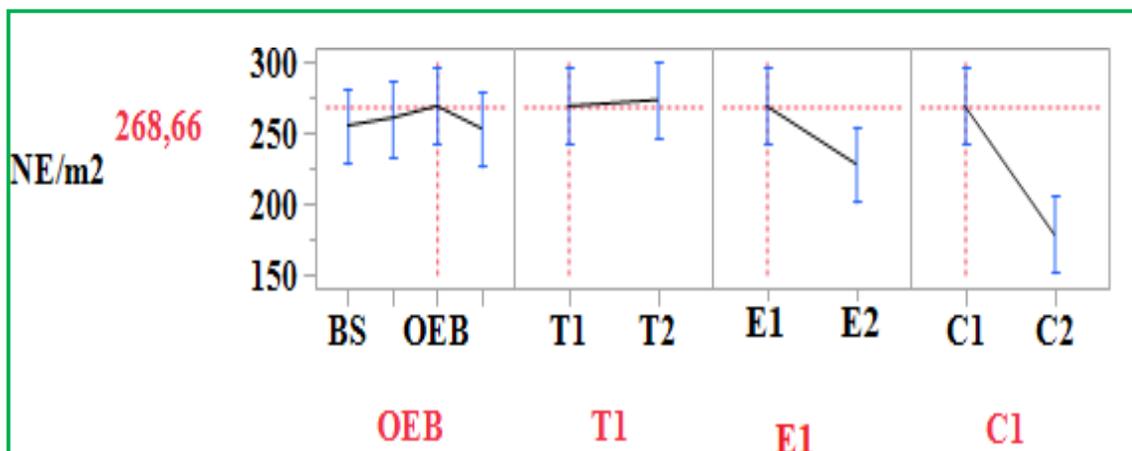
Volet 2 Figure 11. NE produit l'action interactive $G \times C$ ($P_{pds5\%}=18.9$)

L'effet TxE se manifeste sur NE par $[NE (T1xE2) > (T2xE2) > (T1xE1) > (T2xE1)]$ (Volet 2 Figure 12). Donc, l'apport d'eau est mieux valorisé sous les caractéristiques environnementales



Volet 2 Figure 12. NE produit l'action interactive TxE ($P_{pds5\%}=18.9$)

L'interaction non significative ($GxTxExC$) sur la composante NE témoigne que la valeur 138.6 est réalisée par le génotype Bousselem sous $T1xE1xC2$. Par contre OEB s'introduit avec 273 sous condition irriguée en environnement E1 et au cours de la première campagne, déterminant un écart relatif de 49.23% à l'égard de Bousselem (Volet 2 Tableau 4). Sous l'effet de l'interaction ($GxTxExC$), le peuplement épis le plus élevé a été réalisé par le génotype OEB, avec $[(OEB \times T1 \times E1 \times C1 = 268.66); (OEB \times T1 \times E1 \times C1 = 273,0)]$ (Volet 2 Figure 13, Volet 2 Tableau 4). D'autre part, la valeur la plus faible s'évalue sous $[(OEB \times T2 \times E1 \times C2 = 141), (BS \times T1 \times E1 \times C2) = 138.6]$. Ainsi, le génotype Oued El Bared apparaît performant pour produire des peuplements épis.



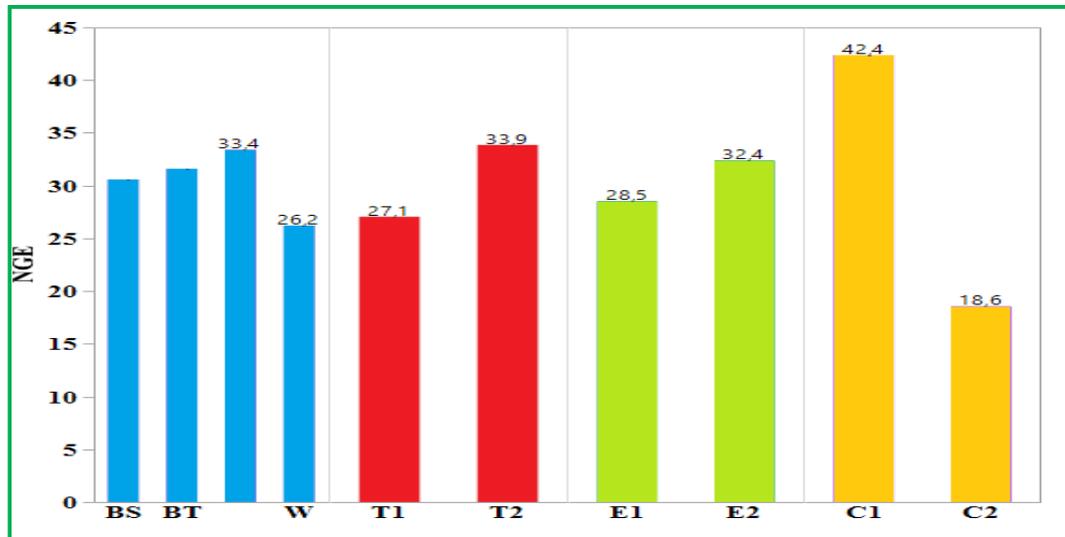
Volet 2 Figure 13. NE profilé, produit par OEB conduit en pluvial, sous E1 au cours de C1

Volet 2 Tableau 4. NE produit par G conduits en pluvial et sous apport d'eau, sous *ExC*

Géotypes	NET1	NET2
BS,E1,C1	255,0	264,0
BS,E1,C2	138,6	142,6
BS,E2,C1	258,3	250,3
BS,E2,C2	194,0	163,3
BT,E1,C1	260,3	267,0
BT,E1,C2	149,6	146,3
BT,E2,C1	253,3	250,3
BT,E2,C2	229,3	230,6
OEB,E1,C1	268,6	273,0
OEB,E1,C2	178,3	141,0
OEB,E2,C1	228,0	254,0
OEB,E2,C2	217,0	188,6
W,E1,C1	253,0	261,6
W,E1,C2	175,3	144,0
W,E2,C1	250,0	251,0
W,E2,C2	192,3	210,0

La variable NGE significativement influencée par le géotype, l'apport d'eau), de l'environnement et de la campagne agricole, et sous les interactions [(*GxT*), (*GxE*), (*GxC*), (*TxC*), (*GxTxC*) et (*GxExC*)]. Cependant, le NGE ne varie pas significativement sous [(*TxE*), (*ExC*), (*GxTxE*), (*TxExC*) et (*GxTxExC*) (Volet 2 Tableau 1).

Ainsi, le géotype Oued El Bared avec 33,4 NGE s'examine à épi fertile, relativement à waha qui accuse 26.2 (Volet 2 Figure14). Sous apport d'eau (T2), le NGE moyen produit par le géotype est de 33.9, d'où l'écart est de 6.8 par rapport à (T1). Aussi, les résultats affichent NGE valorisé sous l'environnement E2. Toutefois, la variation interannuelle se dessine le facteur le plus discriminant, où la première campagne figure plus favorable (Volet 2 Figure 14).

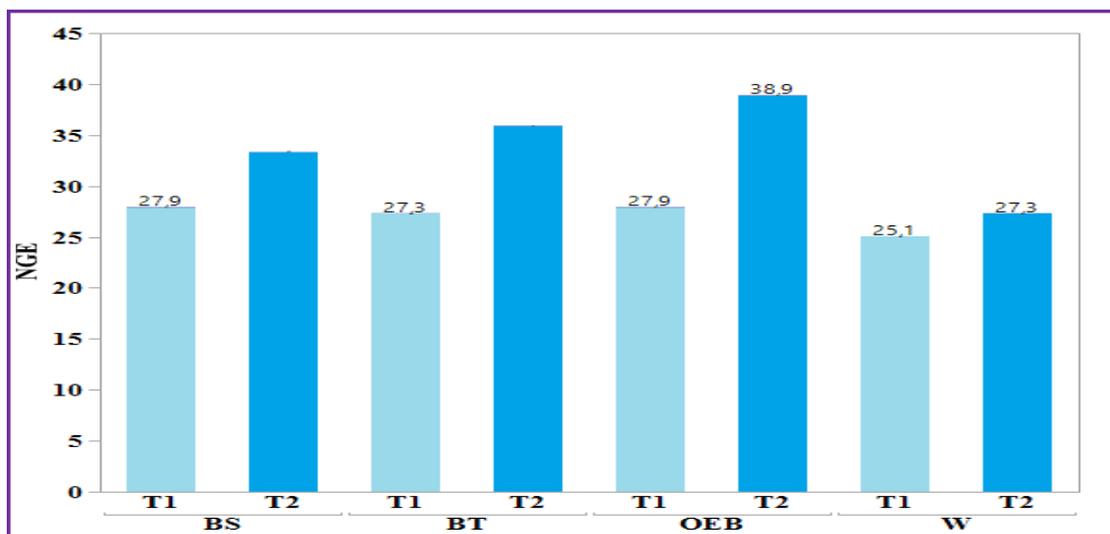


Volet 2 Figure 14. Effet génotype, traitement, environnement et compagne agricole s

L'effet significatif $G \times T$ se confirme par un écart relatif de 30% (11.6 NGE) entre Oued El Bared et Waha (Volet 2 Figure 15). Les résultats révèlent que l'écart du NGE produit par le même génotype sous l'effet de l'écart entre T2 et T1 suit le gradient [$W < BS < BT < OEB$], représentant un écart relatif de 79.73% (Volet 2 Tableau5, Volet 2 Figure 15).

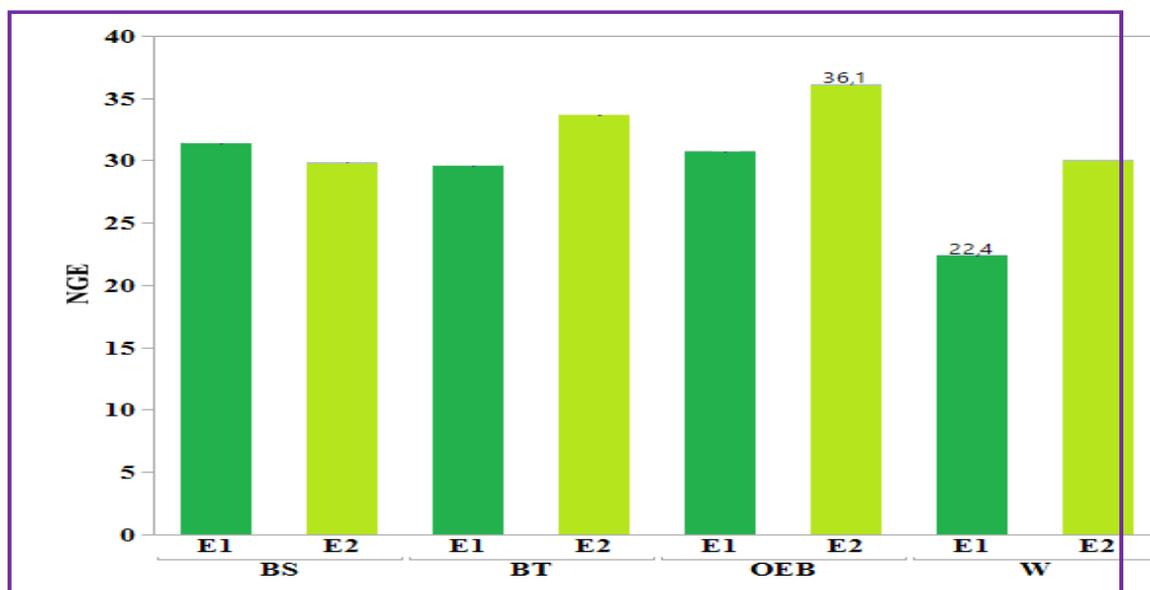
Volet 2 Tableau5. NGE produit sous l'effet [$(G \times T)$, $(G \times E)$, $(G \times C)$, et $T \times C$

Génotypes	$G \times T$		$G \times E$		$G \times C$		$T \times C$	
	T1	T2	E1	E2	C1	C2	T1xC1	T1xC2
W	25,1	27,33	22.42	30.0	38.0	14.42	T1xC1	40.46
OEB	27,92	38,92	30.75	36.1	47.92	18.92	T2xC1	44.3
BT	27,33	35,92	29.6	33.7	42.0	59.38	T2xC2	23.46
BS	27,92	33,33	31.42	29.83	21.25	41.58	2.29	



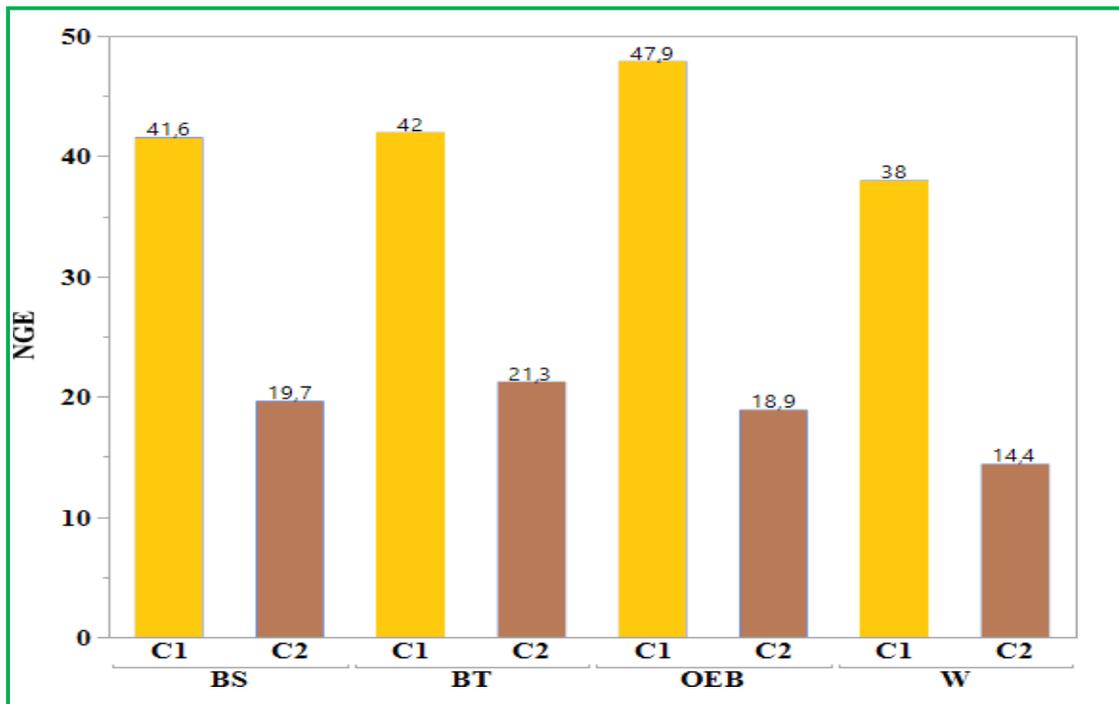
Volet 2 Figure 15. Valeurs moyenne du NGE sous l'effet significatif de l'interaction ($G \times T$)

Les résultats de l'effet significatif $G \times E$ pour NGE spécifient que sous (E2), le génotype OEB se positionne fertile avec un NGE de 36,1 (Volet 2 Tableau 5, Volet 2 Figure 16). Cependant, sous (E1), le génotype Bousselem se découvre aussi avec un NGE de 31,4 (Tableau 5, Figure 16). Par contre, les résultats décalent le génotype Waha moins producteur sous (E1), l'écart est de 9 grains comparativement à Bousselem. Néanmoins, cultivé sous E2, BS valorise moins la fertilité de l'épi, avec une réduction de 6,30% relativement à E1 (Volet 2 Tableau 5, Volet 2 Figure 16).



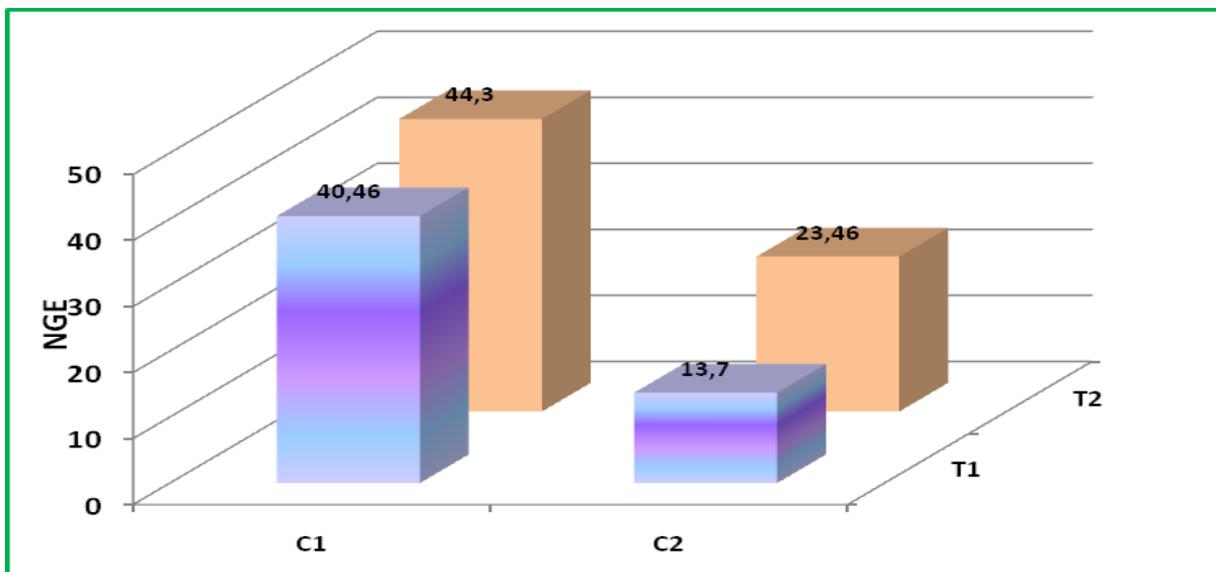
Volet 2 Figure 16. NGE moyen sous l'effet significatif de l'interaction ($G \times E$)

Le NGE des quatre génotypes testés est influencé par la campagne agricole, la première campagne (C1, 2018/2019) apparaît plus avantageuse à l'égard de la seconde (C2, 2019/2020). De l'ordre de la réponse des génotypes en fonction de l'écart entre les deux campagnes agricoles, se détermine la relation $[OEB (29,1) > W (23,6) > BS (21,9) > BT (20,7)]$. Toutefois, l'analyse des résultats révèlent que la réponse du génotype Boutaleb diffère, en produisant plus de grains au cours de la seconde campagne (Volet 2 Tableau 5, Volet 2 Figure 17).



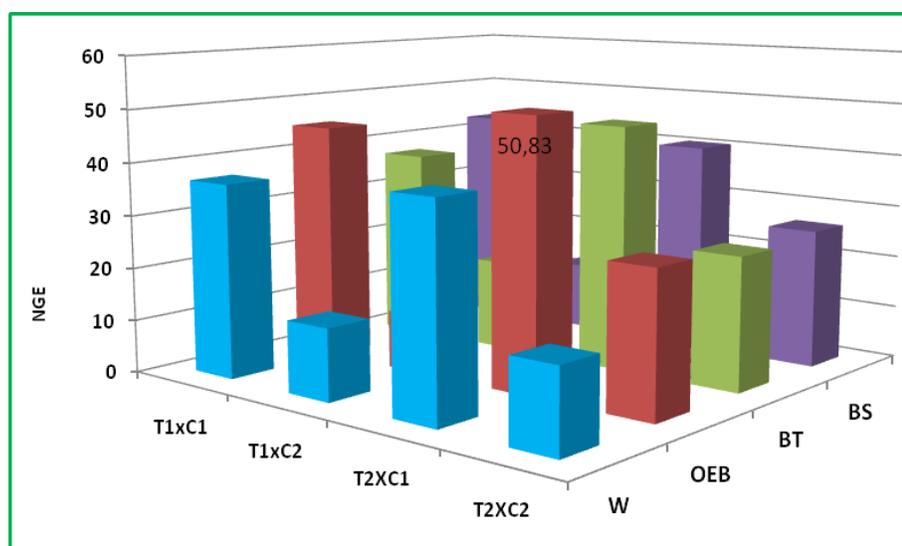
Volet 2 Figure 17. Valeurs moyenne du NGE sous l'effet significatif de l'interaction (GxC)

L'interaction TxC indique que l'écart relatif moyen de NGE produit en pluvial entre les deux campagnes est estimé à 66.14% et en condition d'apport d'eau 47.04%. Par contre, l'écart entre le pluvial (T1) et en condition d'apport d'eau (T2) pour la même campagne est de 8.67% et 41.6% respectivement pour C1 et C2 (Volet 2 Tableau 5, Volet 2 Figure 18).

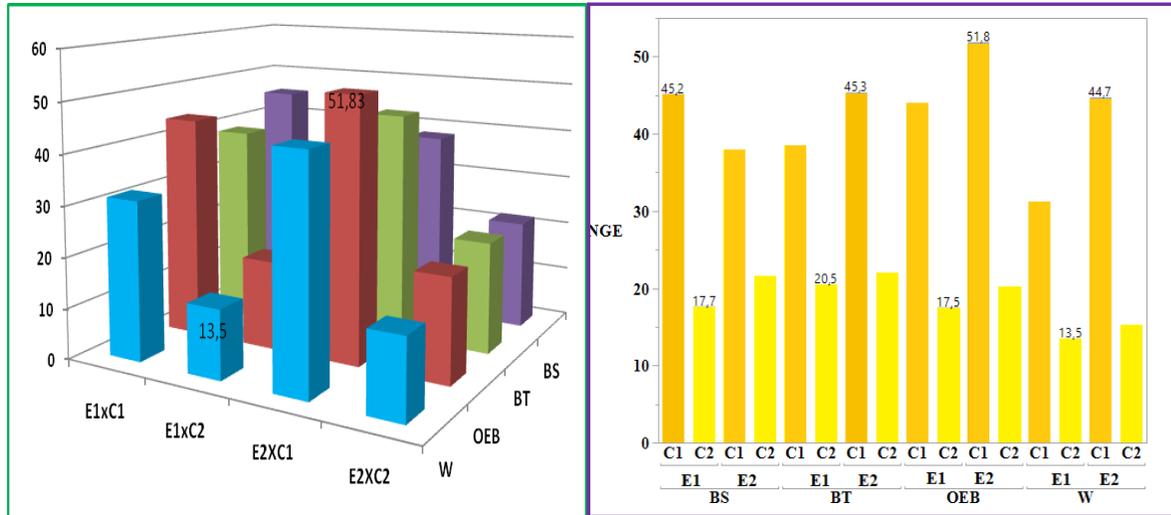


Volet 2 Figure 18. NGE moyen produit sous l'effet combiné de TxC

L'effet significatif des interactions ($G \times T \times C$) et ($G \times E \times C$) trahit une variabilité de la valeur du NGE en fonction du 1) génotype, l'apport d'eau tenant compte de la campagne agricole, et 2) génotype, l'environnement et la campagne agricole (Volet 2 Tableau 5, Volet 2 Figures 19, 20). D'ailleurs, le niveau de fertilité de l'épi sous $G \times E \times C$ suit le gradient de conséquences des effets des facteurs générés par l'environnement combinés à la campagne agricole, sous la forme [OEB, (51,8 $E2 \times C1$); (17,5 $E1 \times C2$)] > [BT, (45,3 $E2 \times C1$); (20,5 $E1 \times C2$)] > [BS, (45,2 $E1 \times C1$), (17,7 $E1 \times C2$)] > [W, (44,7 $E2 \times C1$), (13,5 $E1 \times C2$)] (Volet 2 Tableau 5, Volet 2 Figure 20).



Volet 2 Figure 19. NGE sous l'effet significatif de l'interaction $G \times T \times C$

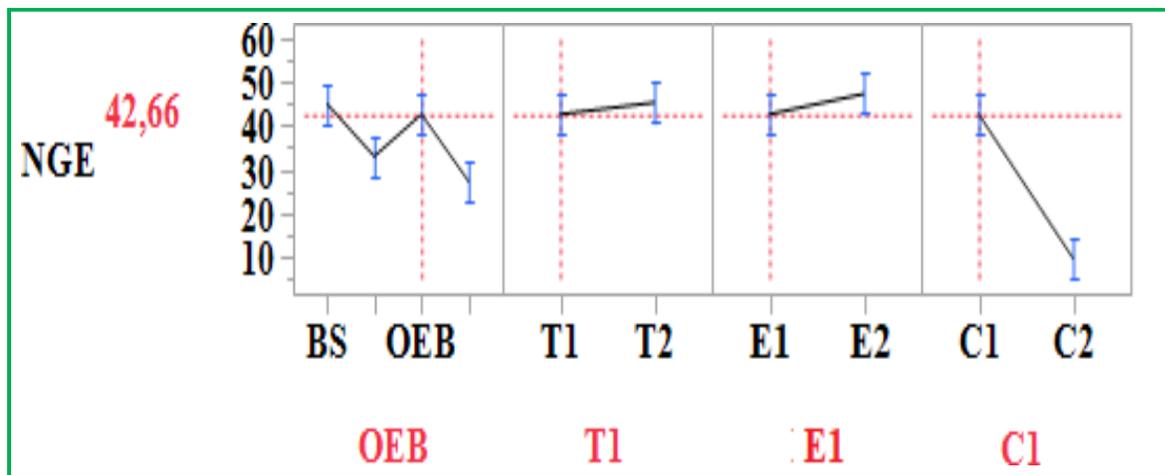


Volet 2 Figure 20. NGE sous l'effet significatif de l'interaction $G \times ExC$

La fertilité de l'épi sous ($G \times T \times ExC$) décrit OEB avec [(NGE, $OEB \times T1 \times E2 \times C1 = 47$), (NGE, $OEB \times T2 \times E2 \times C1 = 56.3$)]. Sous E1, il se classe à épi fertile avec NGE 42.66, sous $T1 \times E1 \times C1$ (Volet 2 Tableau 6, Volet 2 Figure 21).

Volet 2 Tableau 6. NGE des génotypes conduits en pluvial et en apport d'eau, sous ExC

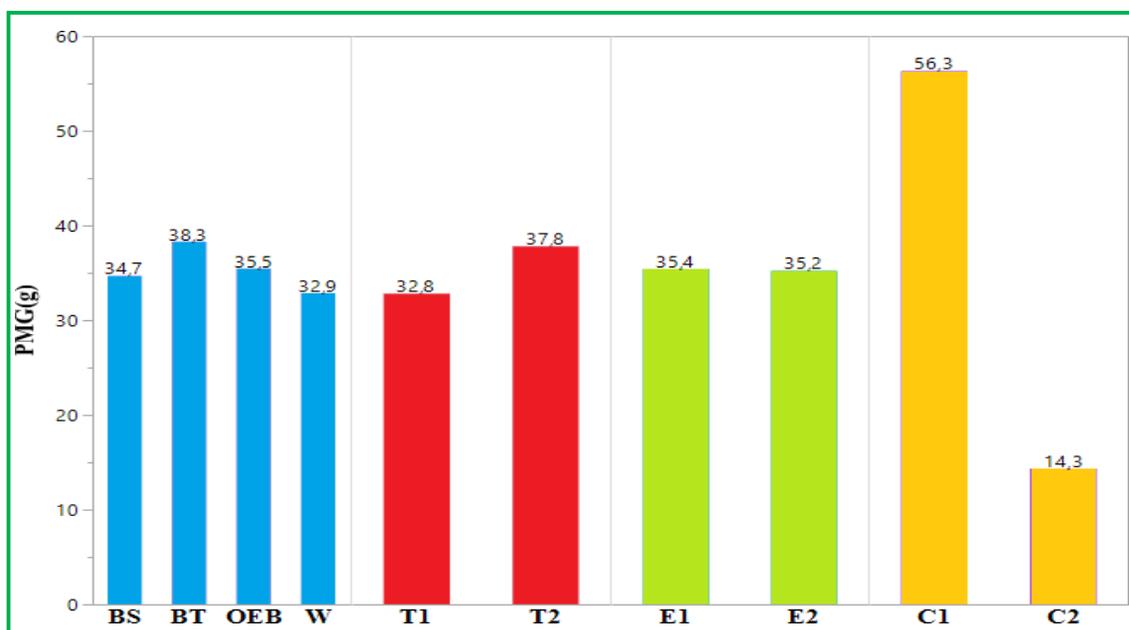
Génotypes	NGE1	NGE2	Génotypes	NGE1	NGE2
BS,E1,C1	45,0	45,3	OEB,E1,C1	42,6	45,3
BS,E1,C2	10,6	24,6	OEB,E1,C2	9,6	25,3
BS,E2,C1	40,6	35,3	OEB,E2,C1	47,3	56,3
BS,E2,C2	15,3	28,0	OEB,E2,C2	12,0	28,6
BT,E1,C1	33,0	44,3	W,E1,C1	27,3	35,3
BT,E1,C2	16,3	24,6	W,E1,C2	13,3	13,6
BT,E2,C1	41,6	49,0	W,E2,C1	46,0	43,3
BT,E2,C2	18,3	25,6	W,E2,C2	13,6	17,0



Volet 2 Figure 21. NGE profilé, produit sous $OEB \times T1 \times E1 \times C1$

3. Poids de mille grains

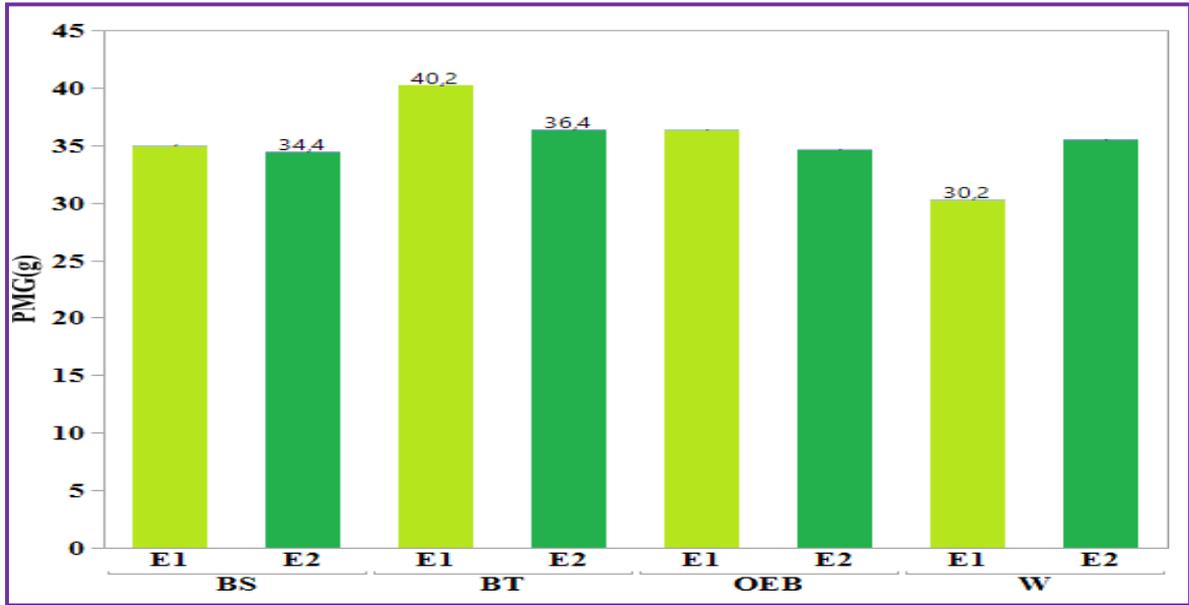
L'analyse de la variance du poids de mille grains (PMG, g) révèle un effet significatif du génotype (*G*), traitement (*T*), et de la campagne agricole (*C*). Le facteur environnement (*E*) n'apparaît pas significatif d'effet sur la variable PMG (Volet 2 Tableau 1). L'effet combiné de $[(GxE), (GxC), (TxC), (GxTxC), \text{ et } (GxExC)]$ affecte significativement le PMG. Par contre les interactions $[(GxT), (TxE), (ExC), (GxTxE), (TxExC) \text{ et } (GxTxExC)]$ ne le sont pas (Volet 2 Tableau1). En fonction de l'effet génotype, le niveau du PMG sui l'ordre $[(BT, 38.3g) > (OEB, 35.5) > (BS, 34.7) > (W, 32.9g)]$ (Volet 2 Figure 22). Sous apport d'eau, les génotypes pèsent plus sous traitement conduit en irrigué (T2), avec 37,8g, avec un écart de 5g par rapport au traitement pluviale (T1). Aussi la campagne agricole révèle des différences significatives. Cependant l'environnement ne semble pas affecter significativement cette variable (Volet 2 Figure 22).



Volet 2 Figure 22. Effet G, T, E (Ppds 5%= 1.9), et campagne agricole sur le PMG

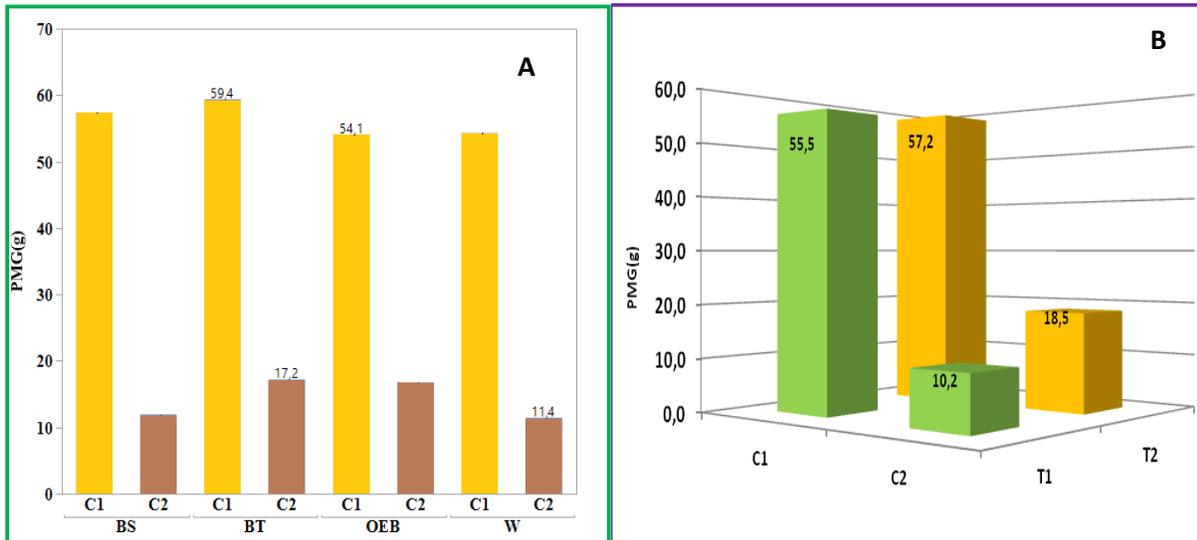
Le PMG est significativement affecté sous $[(GxE), (GxC), (TxC), (GxTxC), \text{ et } (GxExC)]$. Mais les interactions $[(GxT), (TxE), (ExC), (GxTxE), (TxExC) \text{ et } (GxTxExC)]$ ne le sont pas.

Sous l'effet *GxE* le génotype BT se pointe avec 40.2g lorsqu'il est conduit sous E1, sa réponse en position est similaire sur E2 avec un PMG de 36.4g (Volet 2 Figure 23). Cependant, la variété waha prend la faible valeur sur E1, avec un PMG de 30.2g (Volet 2 Figure23).



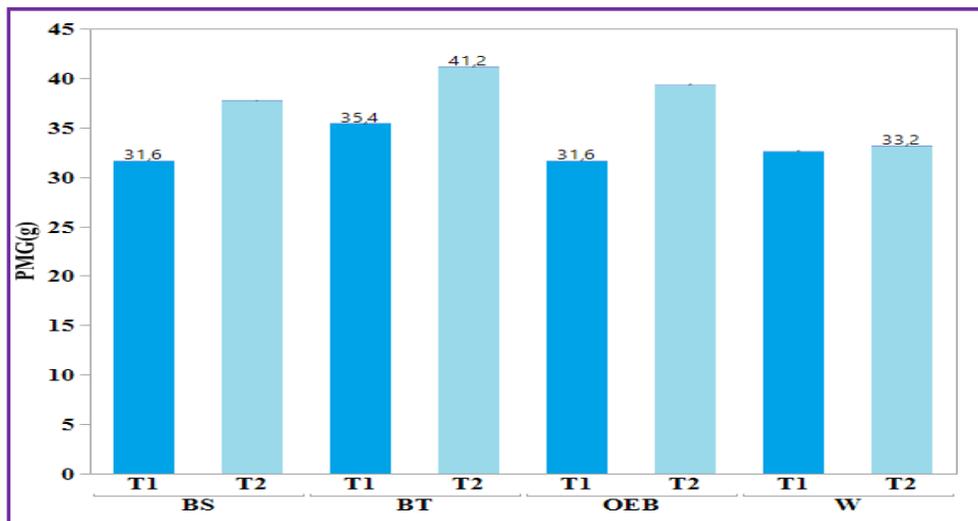
Volet 2 Figure 23. PMG (g) sous l'effet significatif de l'interaction GxE

L'interaction $G \times C$ génère chez les génotypes une réponse de [PMG BT (59.4g, C1) > OEB (C1, 54.1g)]. L'écart entre les deux campagnes pour BT est de 42.2g. Ce résultat est valable pour les autres génotypes, où la seconde campagne a enregistré de faibles valeurs de PMG et waha s'est caractérisée par 11.4g lors de cette campagne (Volet 2 Figure 24A). L'effet campagne est déterminant pour les composantes de rendement, ($OEB \times C1$, 54.1), mais waha s'est distinguée par 11,4 g lors de la seconde campagne indiquée par le génotype Waha (Volet 2 Figure 24). Aussi, la variable PMG sous $T \times C$ accuse un écart différentiel significatif de 45.3g (T1C) et de 38.9 (T2C) (Volet 2 Figure 24B).



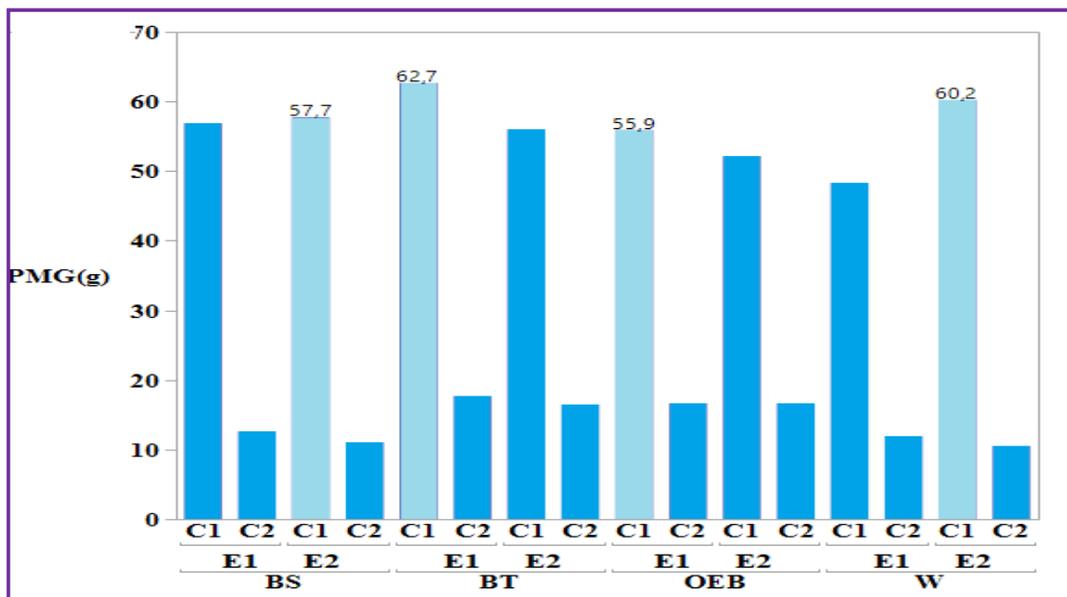
Volet 2 Figure 24. PMG (g) sous l'effet de 1) ($G \times C$) (A), et de 2) $T \times C$ (B)

La variation de PMG des génotypes ne semble pas ne l'est pas significativement en fonction de T. Cependant l'écart entre deux moyennes est significatif (Volet 2 Figure 25).



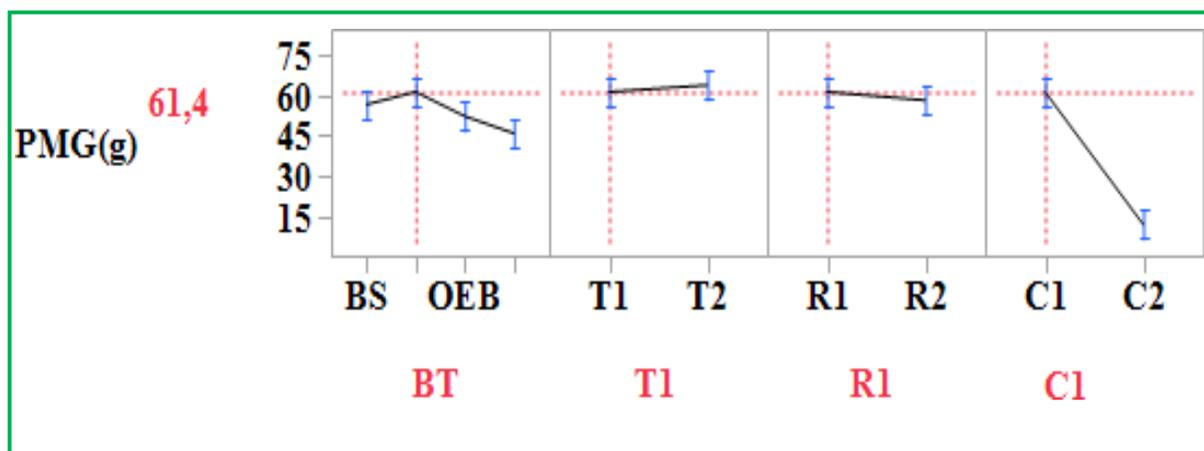
Volet 2 Figure 25. Valeurs du PMG (Ppds(5%)= 3.8g) sous l'effet de $G \times T$

L'analyse de l'effet $G \times E \times C$ indique que sous les deux environnements, la réponse génotypique pour le PMG chez les quatre génotypes est mieux valorisée et au cours de la (C1), avec [(BT, 62,7g), W (60,2g), BS (57,7 g) et (OEB, 55,9 g)] (Volet 2 Figure 26).



Volet 2 Figure 26. PMG sous l'effet de l'interaction ($G \times E \times C$)

D'autre part, sous l'effet combiné des quatre des facteurs, la composante PMG se proclame par Boutaleb avec 63.9g sous apports d'eau, conduit en E1 et au cours de la première campagne, elle l'est aussi en pluvial. La faible valeur est de 9.03g (BS, T1, E1, C2) (Volet 2 Tableau 7, Volet 2 Figure 27).



Volet 2 Figure 27. PMG du génotype BT conduit en pluvial (T1xE1xC1)

Volet 2 Tableau 7. PMG sous l'effet de l'interaction (*GxTxExC*)

<i>GxTxExC</i>	<i>PMG</i>	<i>GxTxExC</i>	<i>PMG</i>
BS,T1,E1,C1	56,7	OEB,T1,E1,C1	52,3
BS,T1,E1,C2	9,03	OEB,T1,E1,C2	10,1
BS,T1,E2,C1	52,1	OEB,T1,E2,C1	53,6
BS,T1,E2,C2	8,6	OEB,T1,E2,C2	10,4
BS,T2,E1,C1	57,5	OEB,T2,E1,C1	59,4
BS,T2,E1,C2	16,4	OEB,T2,E1,C2	23,4
BS,T2,E2,C1	63,3	OEB,T2,E2,C1	51,06
BS,T2,E2,C2	13,6	OEB,T2,E2,C2	23,3
BT,T1,E1,C1	61,4	W,T1,E1,C1	45,9
BT,T1,E1,C2	11,9	W,T1,E1,C2	10,1
BT,T1,E2,C1	58,2	W,T1,E2,C1	63,2
BT,T1,E2,C2	10,1	W,T1,E2,C2	11
BT,T2,E1,C1	63,9	W,T2,E1,C1	50,8
BT,T2,E1,C2	23,6	W,T2,E1,C2	14
BT,T2,E2,C1	53,9	W,T2,E2,C1	57,2
BT,T2,E2,C2	23,1	W,T2,E2,C2	10,6

Les paramètres physiologiques

1. Teneur relative en eau

L'analyse statistique de la variance, indique un effet génotype (G), apport d'eau (T), environnement ((E)) et campagne agricole (C), significatif pour la teneur relative en eau (TRE%), de même pour toutes les interactions des facteurs étudiés (Volet 2 Tableau8).

Volet 2 Tableau8. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres physiologiques mesurées des quatre génotypes (G) de blé dur testés sous l'effet d'apport d'eau (T), de l'environnement (E), au cours de deux campagnes successives (2018/2019, 2019/2020)

Source	ddl	TRE	IC	Chla	Chlb	Chl (a+b)
Génotype (G)	3	134,4**	427,2***	175,3*	1184,8**	1728,2**
Traitement (T)	1	16843,4***	1646,7***	7899,3***	24225,3***	69092,1***
Environnement (E)	1	14765,9***	30345,4***	134,4**	12,2 ^{ns}	404,1 ^{ns}
Compagne (C)	1	20189,8***	6583,5***	6276,6***	11982,5***	47026,2***
GxT	3	273,1***	424,3***	153,9*	333,0 ^{ns}	1033,6 ^{ns}
GxE	3	313,1***	791,6***	23,0 ^{ns}	130,5 ^{ns}	167,6 ^{ns}
GxC	3	1720,2***	494,7***	435,2***	1538,1**	3892,9***
TxE	1	931,2***	0,7 ^{ns}	41,7 ^{ns}	68,9 ^{ns}	299,6 ^{ns}
TxC	1	6844,5***	480,6***	6005,6***	16176,9***	50225,6***
ExC	1	12177,0***	7675,5***	151,6**	14,6 ^{ns}	452,9 ^{ns}
GxTxE	3	604,9***	305,1***	85,3 ^{ns}	407,0 ^{ns}	869,0 ^{ns}
GxTxC	3	536,6***	159,0**	126,3 ^{ns}	236,3 ^{ns}	847,9 ^{ns}
GxExC	3	461,2***	570,9***	14,7 ^{ns}	152,4 ^{ns}	108,8 ^{ns}
TxExC	1	1287,7***	548,1***	27,4 ^{ns}	94,0 ^{ns}	249,6 ^{ns}
GxTxExC	3	117,7*	334,0***	74,3 ^{ns}	445,6 ^{ns}	839,7 ^{ns}
Résidus	64	665,96	576,02	995,391	5067,51	9867,71
Total corrigé	95	77867,2	51364,1	22620,8	62070,4	187106,

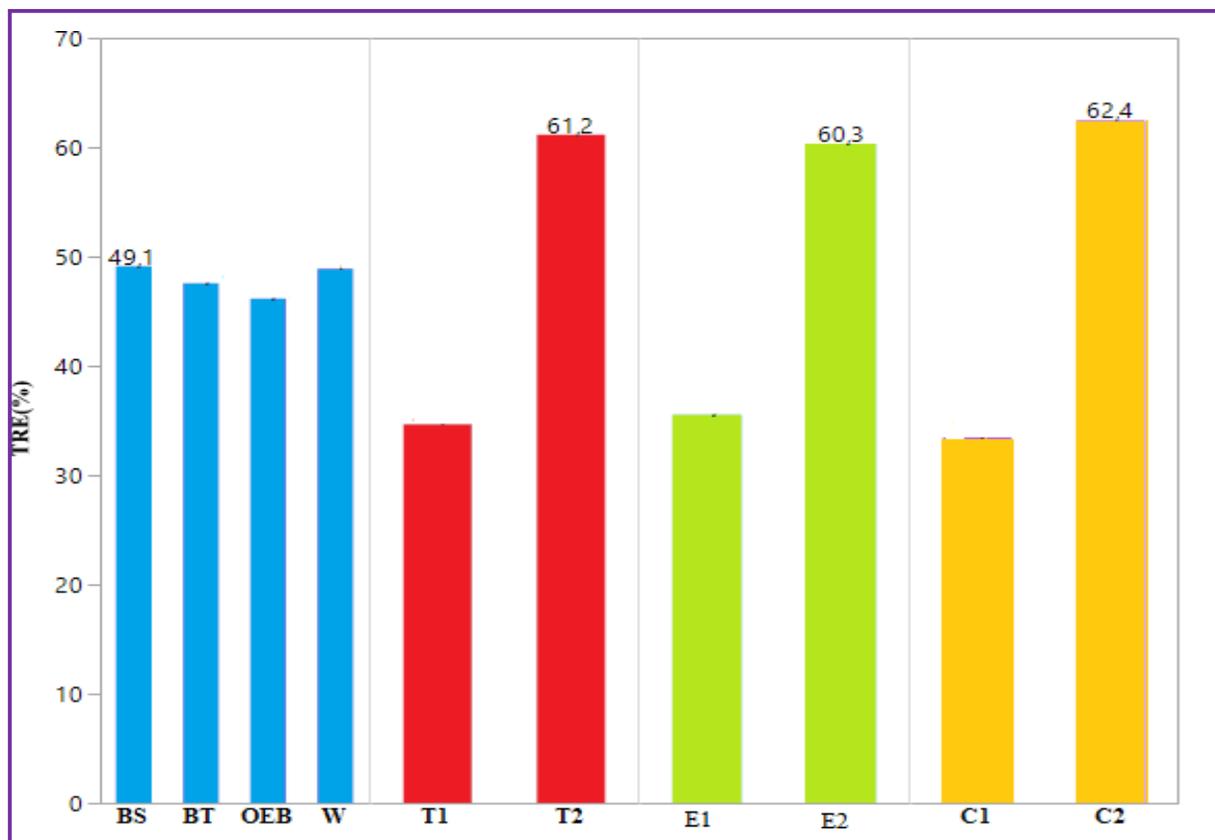
TRE= teneur relative en eau en %, IC= intégrité cellulaire en %, Chl= teneur de la chlorophylle (SPAD)
^{ns}, * et ** : effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

L'analyse statistique de la variance, indique un effet génotype (G), apport d'eau (T) et campagne agricole, significatif pour la teneur relative en eau (TRE%), l'intégrité cellulaire, la chlorophylle a (chla, SPAD) et la chlorophylle b (chlb, SPAD). Cependant l'effet environnement ne l'est pas pour les chlb et Chl (a+b) (Volet 2 Tableau 8).

Par ailleurs, l'effet combiné [(GxT), (GxE), (GxC), (TxE), (TxC) (ExC)], est dans l'ordre de l'interaction, n'affecte pas significativement [(chlb et chl(a+b)], affecte significativement TRE, IC et Chla, affecte tous les paramètres mesurés, influence seulement TRE, tous les

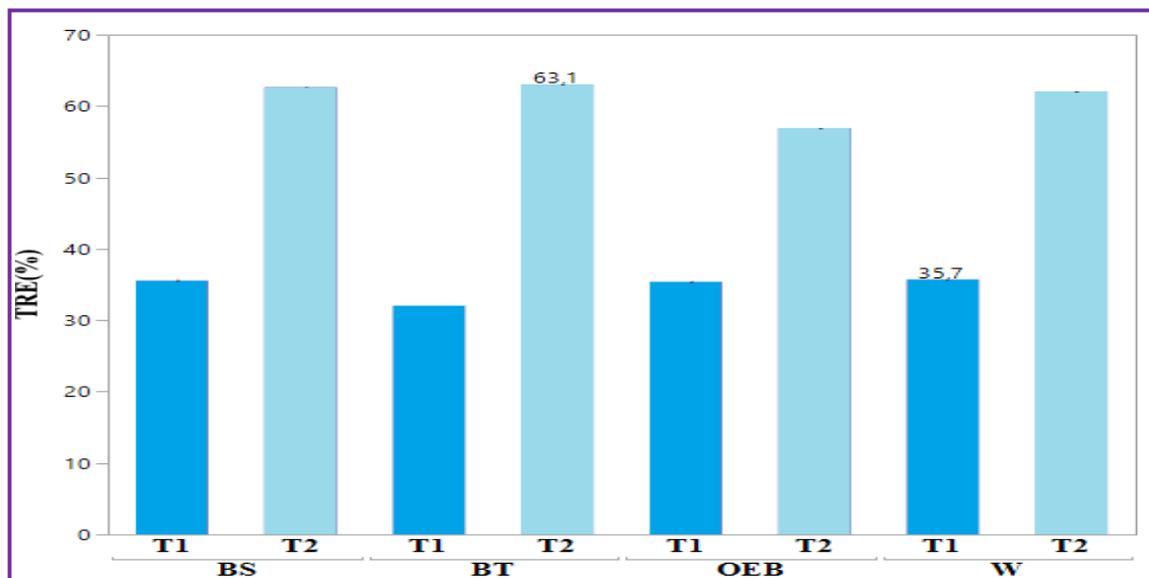
paramètres mesurés sont affectés de manière appréciable, et sous l'interaction *ExC* [*chlb* et *chl* (*a+b*)] ne le sont pas (Tableau 8). Toutefois, il s'avère que successivement, les interactions $[(GxTxE), (GxTxC), (GxExC), (TxExC)]$ et $3)[(GxTxExC)]$ affectent significativement TRE et IC (Volet 2 Tableau 8).

Ainsi, les résultats indiquent que le génotype Bousselem se distingue par un niveau de TRE de 49,1%. Sous l'effet de l'apport d'eau, TRE atteint 61,2%, et sous l'effet de l'environnement E, la meilleure valeur est de 60,3% (Volet 2 Figure 28). Selon les saisons agricoles, celle de 2019/2020 s'est distinguée par la valeur la plus élevée, avec 62,42%, alors que la faible valeur est relevée au cours de la première saison, (33,42%) (Volet 2 Figure 28).



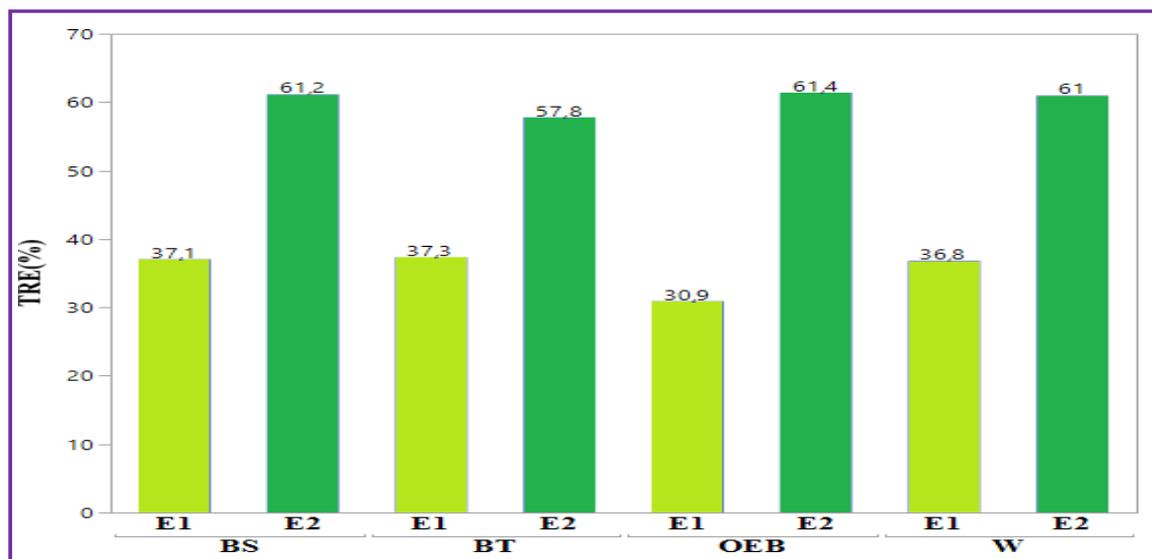
Volet 2 Figure 28. Effet génotype, apport d'eau, environnement et saison agricole sur TRE

L'effet de l'interaction GxT révèle que TRE prend la valeur de 63,1% lorsque le génotype Boutaleb est irrigué, suivi de Waha (62,1%), et OEB (56,9%) (Volet 2 Figure 29). En condition pluviale, la variété waha s'est caractérisée par 35,7%, considéré maximale (Volet 2 Figure 29).



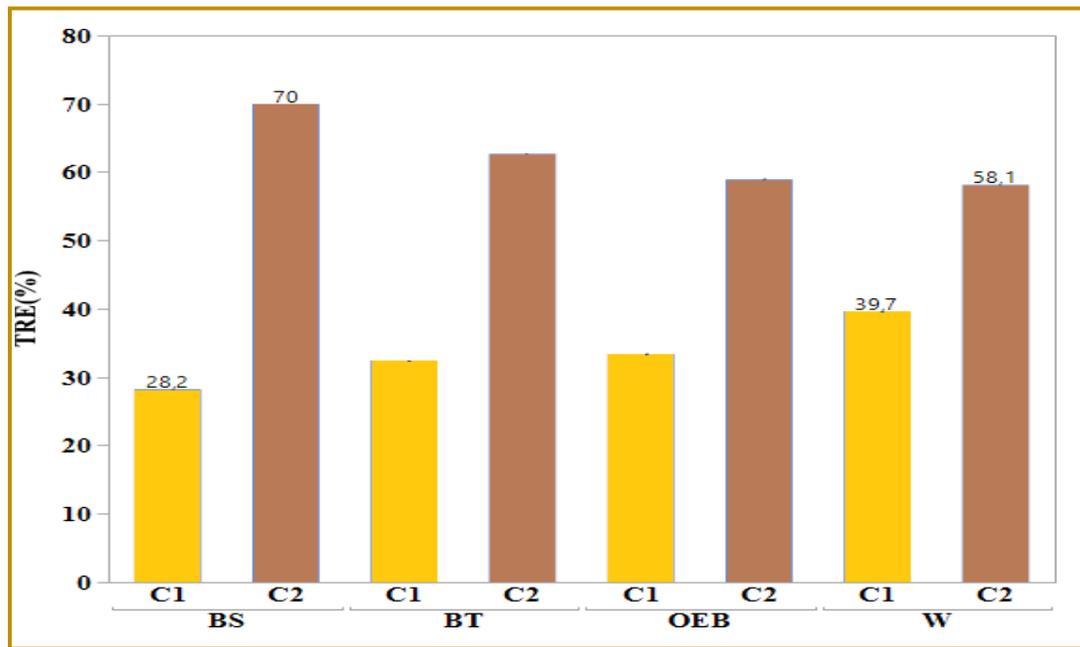
Volet 2 Figure 29. Valeur de la teneur en eau (TRE, %) sous l'effet de l'interaction $G \times T$

L'effet significatif de l'interaction $G \times E$ sur TRE se révèle appréciée sous E2, pour les quatre génotypes testés, avec des teneurs variant de 61% et 57,8% (Volet 2 Figure 30). Cultivé sous l'environnement E1, Oued El Bared se singularise par une TRE de 31,0% (Volet 2 Figure 30).



Volet 2 Figure 30. Valeur de la teneur en eau (%) sous l'effet de l'interaction $G \times E$

Aussi, sous l'effet de l'interaction $G \times C$, TRE diverge significativement en fonction de la conduite des génotypes selon les campagnes agricoles. En effet, les valeurs extrêmes sont celles relevées chez les génotypes témoins Bousselem et Waha conduits au cours de la seconde campagne (C2), dans l'ordre 70% et 58,1% (Volet 2 Figure 30). Lors de la saison 1 (C1), les niveaux sont de 39,7% (Waha) et Bousselem (28,2%) (Volet 2 Figure 31).



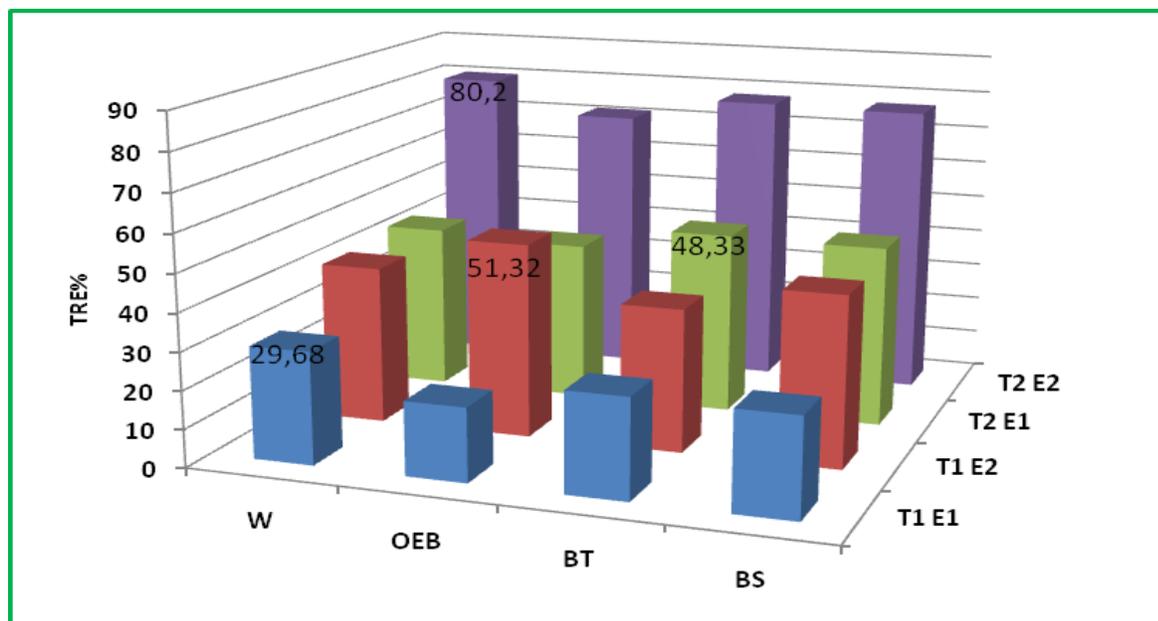
Volet 2 Figure 31. Valeur de la TRE% sous l'effet de l'interaction $G \times C$

Sous l'interaction $T \times E$, la TRE diverge significativement et enchaîne en filature un gradient décroissant, avec $[T2E2 > T2E1 > T1E2 > T1E1]$ (Volet 2 Tableau 9). D'autre part, l'effet significatif de la combinaison $T \times C$, mentionne la domination du taux de la teneur relative en eau des génotypes au cours de la deuxième campagne agricole (C2) sous apport d'eau. La TRE sous $E \times C$ est de 63.6% pour $E2 \times C2$, et pour $E1 \times C1$, elle est de 9.76% (Volet 2 Tableau 9).

Volet 2 Tableau 9. Teneur relative en eau des génotypes sous l'effet significatif ($T \times E$, $T \times C$ et $E \times C$)

T	E	($T \times E$, TRE%)	C	($T \times C$, TRE %)	($E \times C$, TRE%)
T1	E1	25,4	C1	28,6	$E1 \times C1 = 9.76$
T1	E2	44,0	C2	40,7	$E1 \times C2 = 61.29$
T2	E1	45,7	C1	38,2	$E2 \times C1 = 57.09$
T2	E2	76,7	C2	84,1	$E2 \times C2 = 63.57$

La teneur en eau relative sous l'effet $G \times T \times E$ est significativement variable tenant compte du génotype, l'environnement et de l'apport d'eau. Ainsi, TRE suit le niveau décroissant ($T2E2 > T1E2 > T2E1 > T1E1$) (Volet 2 Figure 32).

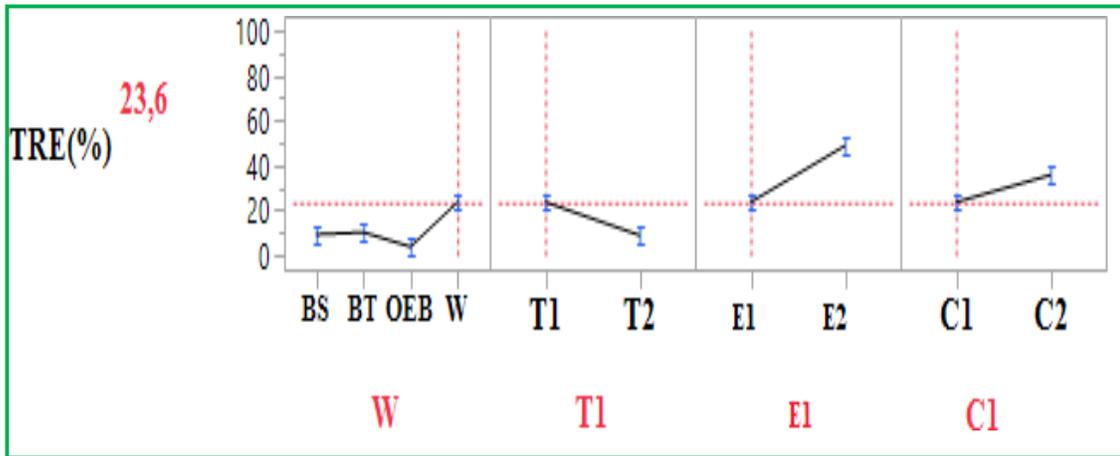


Volet 2 Figure 32. TRE (%) sous l'effet de *GxTxExE*

L'interaction *GxTxExC* concrétise les valeurs de TRE valorisées au cours de la seconde campagne agricole, chez le génotype Bousselem conduit sous apport d'eau (Volet 2 Tableau 10). Par contre conduite en pluvial, waha se pointe avec une TRE de 23.6% sous E1xC1(Volet 2 Figure33).

Volet 2 **Tableau 10.** Teneur relative en eau sous l'effet de l'interaction (*GxTxExC*)

(<i>GxTxExC</i>)	TRE (%)	(<i>GxTxExC</i>)	TRE (%)
BS,T1,E1,C1	9,2	OEB,T1,E1,C1	3,7
BS,T1,E1,C2	42,9	OEB,T1,E1,C2	35,1
BS,T1,E2,C1	41,3	OEB,T1,E2,C1	59,3
BS,T1,E2,C2	48,6	OEB,T1,E2,C2	43,3
BS,T2,E1,C1	5,4	OEB,T2,E1,C1	2,9
BS,T2,E1,C2	90,6	OEB,T2,E1,C2	81,7
BS,T2,E2,C1	56,8	OEB,T2,E2,C1	67,4
BS,T2,E2,C2	97,7	OEB,T2,E2,C2	75,5
BT,T1,E1,C1	10,2	W,T1,E1,C1	23,6
BT,T1,E1,C2	42,4	W,T1,E1,C2	35,7
BT,T1,E2,C1	32,6	W,T1,E2,C1	48,7
BT,T1,E2,C2	42,9	W,T1,E2,C2	34,8
BT,T2,E1,C1	13,8	W,T2,E1,C1	8,9
BT,T2,E1,C2	82,8	W,T2,E1,C2	78,8
BT,T2,E2,C1	73,1	W,T2,E2,C1	77,2
BT,T2,E2,C2	82,4	W,T2,E2,C2	83,1

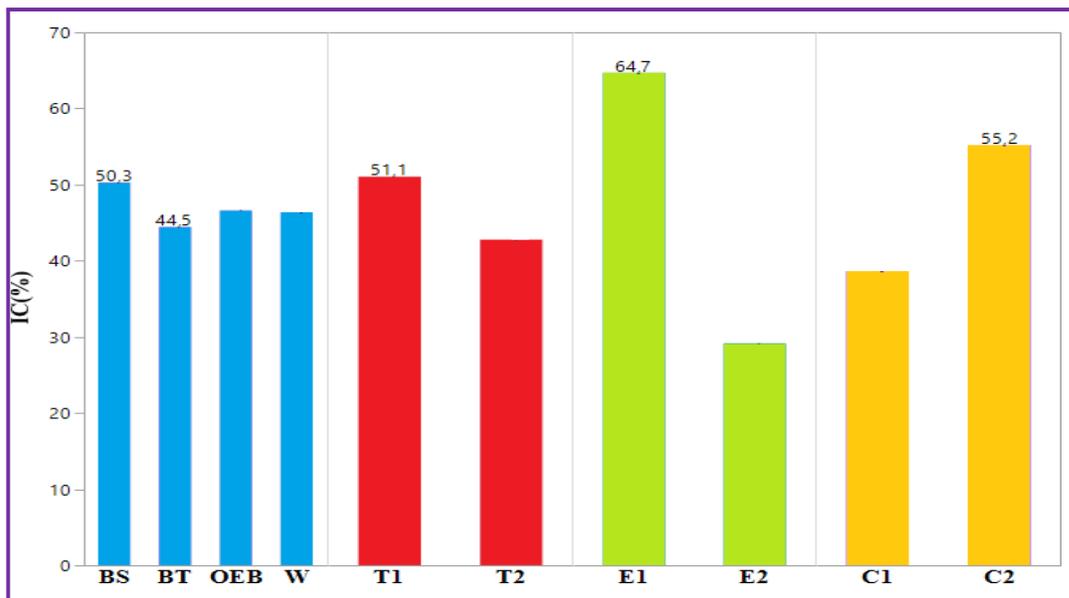


Volet 2 Figure 33 TRE mesurée chez waha conduite en pluvial sous $E1 \times C1$

2. Intégrité cellulaire

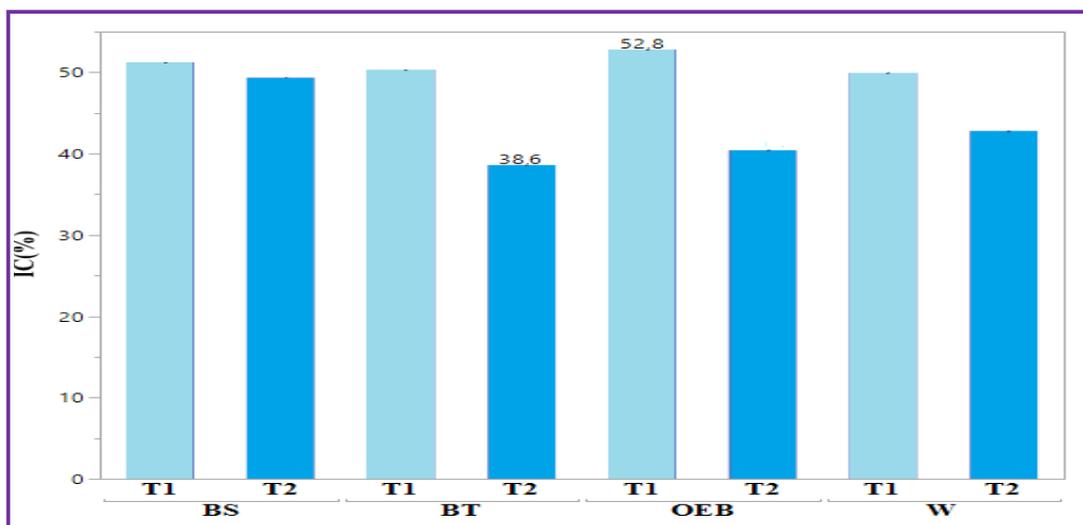
L'intégrité cellulaire (IC, %) définie par le degré de sensibilité de la membrane cellulaire d'une plante stressée, est affectée sous l'effet (G , T , E , et C), et aussi sous l'action des interactions [$(G \times T$, $G \times E$, $G \times C$, $T \times C$ et $E \times C)$]; [$(G \times T \times E$, $G \times T \times C$, $G \times E \times C$, $T \times E \times C)$, et $(G \times T \times E \times C)$], mis à part, $T \times E$ qui n'apparaît pas avoir d'effet significatif sur cette variable (Volet 2 Tableau 9).

Ainsi, en fonction du génotype, les valeurs de l'IC (%) positionnent Bousselem avec $IC = 50.3\%$, par contre Boutaleb s'est caractérisée par 44.5% . Il résulte que lorsque le stress s'installe, et en surtout en condition pluviale, le taux des dommages cellulaire augmente, par le seuil 51.1% ($T1$) (Volet 2 Figure 34). L'IC diverge d'un environnement à un autre, sur $E1$ ($64.7\% > IC(E2)$). Chaque campagne se dévoile par un niveau d'IC (Volet 2 Figure, 34).



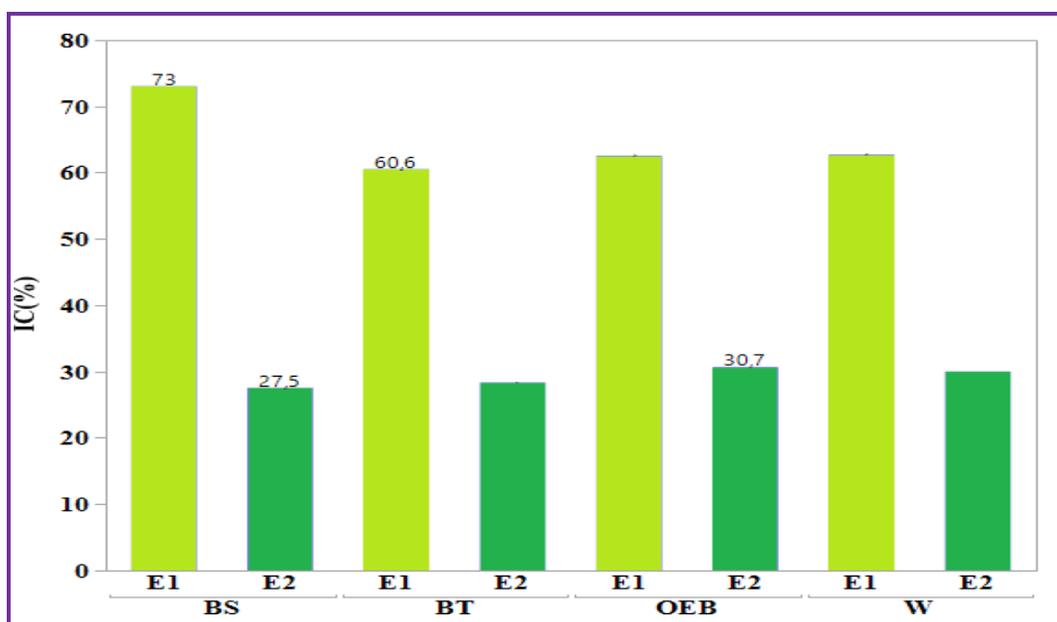
Volet 2 Figure 34. Effet G , T , E et C sur l'intégrité cellulaire

Sous GxT, les génotypes testés s'affichent par un indice d'intégrité cellulaire moyen de 46,93%, en pluvial OEB s'observe par 51.2%), waha s'est distinguée par la faible valeur, avec 49,9 %. Sous apport d'eau, l'évaluation suit le gradient ($BS > W > OEB > BT$), l'ordre décrit les dommages cellulaires (Volet 2 Figure 35).



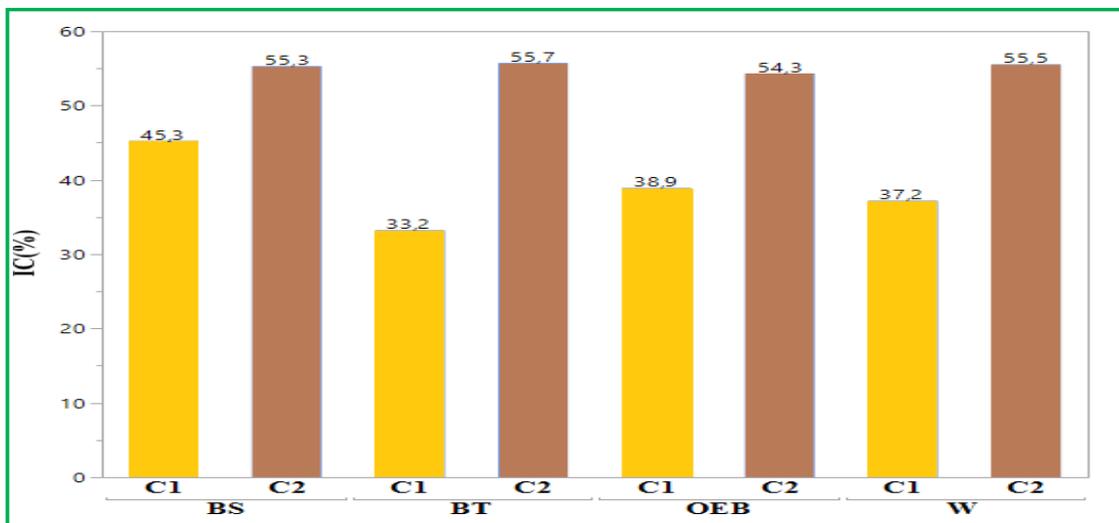
Volet 2 Figure 35. Pourcentage moyen de l'intégrité cellulaire sous l'effet GxT

Sous GxE l'IC varie notablement, où le niveau de IC se trouve marqué sous l'environnement E1, où Bousselem et Boutaleb ont été caractérisées par 73% et 60.6%, respectivement (Volet 2 Figure 32). Relativement à E1, les résultats révèlent que sous E2, les dommages cellulaires sont réduits (Volet 2 Figure 36).



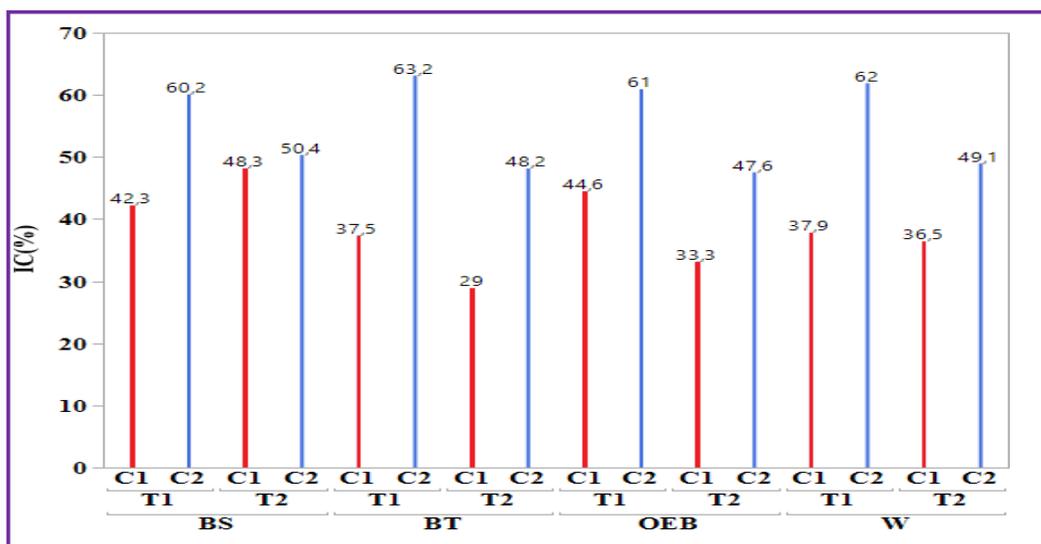
Volet 2 Figure 36. Pourcentage de l'intégrité cellulaire sous GxE

Sous $G \times C$, l'intégrité cellulaire est significativement variable. En effet, au cours la première campagne (2018/2019), IC= 45.3% (génotype BS) à 33.2% (BT). A la seconde campagne (2019/2020), IC prend les valeurs 55,7% (BT) et 54,3(OEB) (Volet 2 Figure 37).



Volet 2 Figure 37. Indice de l'intégrité cellulaire sous l'effet $G \times C$

Toutefois, il s'avère que sous les interactions $[(G \times T \times E), (G \times T \times C), (G \times E \times C), (T \times E \times C)]$ et $[(G \times T \times E \times C)]$ la variable mesure IC diverge significativement et d'une combinaison à une autre (Volet 2 Tableau 8). La variable IC diffère significativement sous l'interférence de $G \times T \times C$. Ainsi, les génotypes testés, conduits en pluvial (T1) lors de la seconde campagne (C2), se déterminent par des pourcentages de dommage cellulaire évalués à plus de 60% (Volet 2 Figure 38). Cependant, lors de la campagne(C1), les valeurs se réduisent (Volet 2 Figure 38).

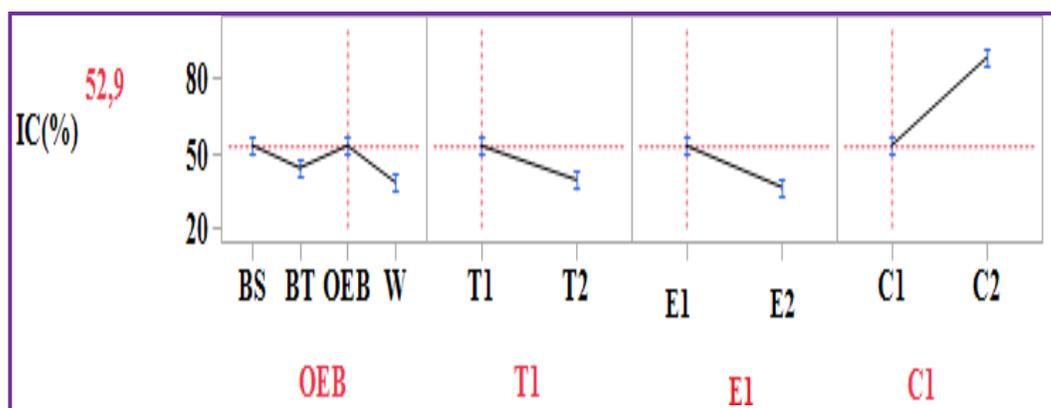


Volet 2 Figure 38. Valeurs de l'IC% sous l'effet de l'interaction $(G \times T \times C)$

L'effet de l'interaction des facteurs (*Génotypes (G) x Traitement (T) x Environnement (E) x Compagne agricole (C)*) sur l'intégrité cellulaire (IC), les résultats obtenus dévoilent que Waha conduite en pluvial et sur E1, subit des dommages cellulaires les plus élevés, lors de la seconde compagne (C2) (Volet 2 Tableau 11). Cependant, Boutaleb semble mieux résistant sous l'effet (*T2xE2xC2*) (Volet 2 Tableau 11). Les résultats révèlent que le génotype OEB répond par une IC de 52.9 sous *OEBxT1xE1xC1* (Volet 2 Tableau 11, Volet 2 Figure 39).

Volet 2 Tableau 11. Teneur relative en eau sous l'effet de l'interaction (*GxTxExC*)

<i>GxTxExC</i>	IC (%)	<i>GxTxExC</i>	IC (%)
BS,T1,E1,C1	53,1	OEB,T1,E1,C1	52,9
BS,T1,E1,C2	90,2	OEB,T1,E1,C2	88,6
BS,T1,E2,C1	31,4	OEB,T1,E2,C1	36,2
BS,T1,E2,C2	30,1	OEB,T1,E2,C2	33,4
BS,T2,E1,C1	72,8	OEB,T2,E1,C1	39,1
BS,T2,E1,C2	75,9	OEB,T2,E1,C2	69,4
BS,T2,E2,C1	23,7	OEB,T2,E2,C1	27,3
BS,T2,E2,C2	24,9	OEB,T2,E2,C2	25,8
BT,T1,E1,C1	44	W,T1,E1,C1	38,2
BT,T1,E1,C2	91,8	W,T1,E1,C2	92,4
BT,T1,E2,C1	30,8	W,T1,E2,C1	37,5
BT,T1,E2,C2	34,5	W,T1,E2,C2	31,4
BT,T2,E1,C1	33	W,T2,E1,C1	46,5
BT,T2,E1,C2	73	W,T2,E1,C2	73,6
BT,T2,E2,C1	24,9	W,T2,E2,C1	26,4
BT,T2,E2,C2	23,1	W,T2,E2,C2	24,5



Volet 2 Figure 39. IC% sous *OEBxT1xE1xC1*

3. Teneur en chlorophylle

- La chlorophylle a (*chl a*, SPAD)

L'analyse de la variance de la *chl a* en fonction des facteurs à laquelle elle est soumis, trahissent une variation démarquée significative du *Génotype*, *Traitement*, *Environnement*, et *Compagne agricole*; aussi, les interactions [(*GxT*), (*GxC*), (*TxC*), et (*ExC*)]. Par contre l'effet qui apparait non significatif est celui de [(*GxE*), (*TxE*), (*GxTxE*), (*GxTxC*), (*GxExC*), (*TxExC*), et (*GxTxExC*)] (Volet 2 Tableau 8).

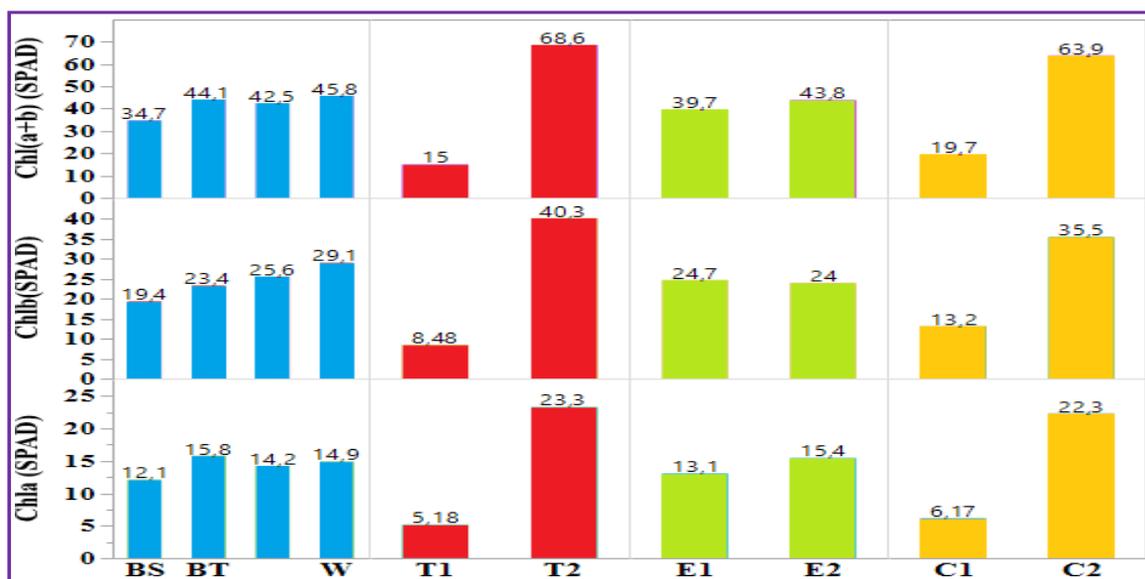
- **La chlorophylle b (chlb)**

Les facteurs *G*, *T*, *C*, et les interactions [(*GxC*), (*TxC*)] génèrent un effet significatif. Par ailleurs, l'environnement (*E*), et [(*GxT*), (*GxE*), (*TxE*), (*ExC*), (*GxTxE*), (*GxTxC*), (*GxExC*), (*TxExC*), et (*GxTxExC*)] ne reflètent pas d'écart significatif pour cette variable (Volet 2 Tableau 8).

- **La chlorophylle (a+b) [Chl (a+b)]**

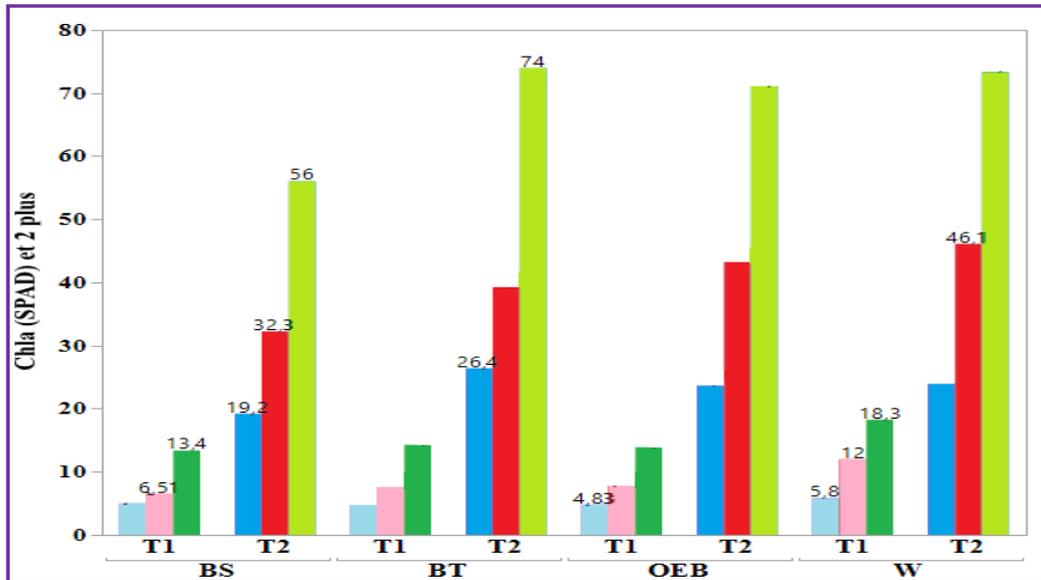
Les tests statistiques traduisent un effet significatif pour les facteurs *G*, *T*, et *C*, et les interactions [(*GxC*), (*TxC*)]. Le facteur *Environnement* n'influe pas de manière appréciable la chlorophylle (a+b), de même les interactions [(*GxT*), (*GxE*), (*TxE*), (*ExC*), (*GxTxE*), (*GxTxC*), (*GxExC*), (*TxExC*) et (*GxTxExC*)] (Volet 2 Tableau 8).

L'analyse des résultats décrivent que *le génotype*, *le régime hydrique* et *la compagne agricole* manifestent une variabilité de teneur en chlorophylle [Chla, chlb, et chl(a+b)]. Les niveaux varient en fonction du génotype [(*Chla*, *SPAD*), (12.1BS, 15,8 BT)] et [(*Chlb*, *SPAD*), (19,4BS, 29,1 W)] et [(chl(a+b) (34.7BS, 45.8W)] (Volet 2 Figure 40). Dans les conditions pluviales, la réponse des génotypes se manifestent par une diminution (Volet 2 Figure 40).



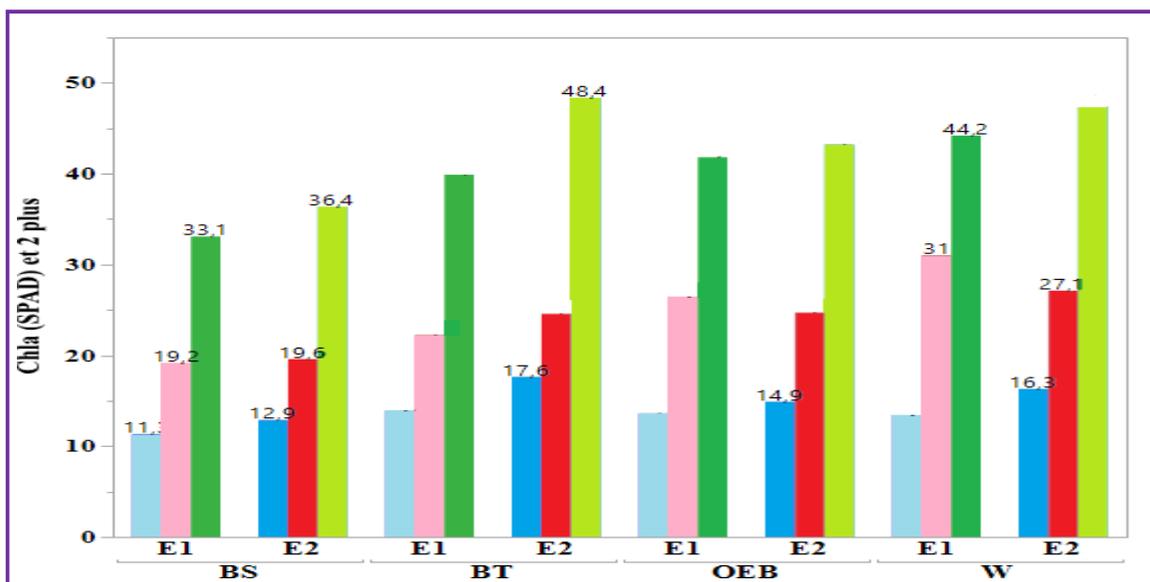
Volet 2 Figure 40. Effet du génotype, apport d'eau, environnement, et saison agricole sur la chlorophylle

La teneur en chlorophylle augmente sous apport d'eau. Boutaleb se montre meilleur en teneur de chlorophylle [(chl_a= 26 ,4 SPAD) et chl(a+b)= 74 SPAD)]. En condition pluviale, Waha s'avère performant pour [chl_a (5.8), chl_b (12.0) et chl(a+b)= 18.3SPAD] (Volet 2 Figure 41).



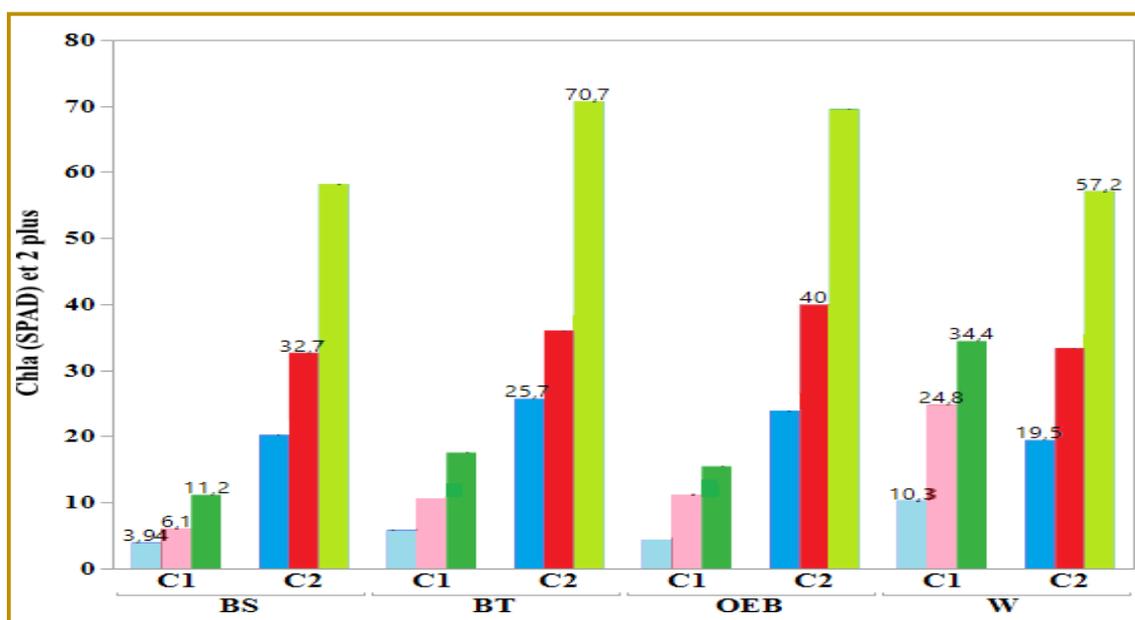
Volet 2 Figure 41. Valeurs des teneurs en chlorophylle sous l'effet de l'interaction $G \times T$

L'effet non significatif de l'interaction *génotype x environnement (GxE)* sur la teneur en chlorophylle indique la divergence des totaux sur les quatre génotypes (Volet 2 Figure 42). Boutaleb apparait valorisant la teneur en chlorophylle, avec 48,4 SPAD de chl(a+b) sous E2. Cependant, sous E1, Waha s'est distinguée par une teneur de 44,2 SPAD (Volet 2 Figure 42).



Volet 2 Figure 42. Teneurs en chlorophylle [$Ppds(chl_a, 3.2; chl_b, 7.2 \text{ et } chl(a+b), 10.1)$] sous $G \times E$

L'effet combiné $G \times C$ affecte le niveau de la chlorophylle. En effet, Boutaleb au cours de la seconde campagne enregistre une valeur supérieure à 70 SPAD. Par contre, Bousselem et Waha se sont affirmés par des valeurs relativement inférieures au cours de C2 (Volet 2 Figure 43).



Volet 2 Figure 43. Valeurs des teneurs en chlorophylle sous l'effet de l'interaction $G \times C$

En outre, l'effet significatif de $T \times C$ sur la teneur en chlorophylle des génotypes, semble mieux déterminé lors de la seconde campagne 2019/2020 et sous apport d'eau (Volet 2 Tableau 12).

Volet 2 Tableau 12. Teneur en chlorophylle des génotypes sous l'effet significatif de $T \times C$

Apport d'eau	CA	Chl a	Chl b	Chl (a+b)
T1	C1	5	10,3	15,7
T1	C2	5,36	6,67	14,2
T2	C1	7,33	16,1	23,6
T2	C2	39,3	64,4	114

La réponse génotypique pour la teneur en chlorophylle sous l'effet de $G \times T \times E \times C$ sur la teneur en chlorophylle, divulgue que les nouveaux génotypes Boutaleb et Oued El Bared se distinguent par une teneur en chlorophylle supérieure, Boutaleb[$(chl_a, T2 \times E2 \times C2 = 45.9SPAD)$ et $(chl(a+b), T2 \times E2 \times C2 = 125.8SPAD)$] et Oued El Bared[$chl_b(T2 \times E2 \times C2 = 72,5 SPAD)$] (Volet 2 Tableau 13).

Volet 2 Tableau 13. Teneur en chlorophylle des génotypes sous l'effet de l'interaction *GxTxExC*

<i>(GxTxExC)</i>	Chl a	Chl b	Chl (a+b)	<i>(GxTxExC)</i>	Chl a	Chl b	Chl (a+b)
BS,T1,E1,C1	2,3	5,6	7,7	OEB,T1,E1,C1	3,1	9,6	11,8
BS,T1,E1,C2	5,5	5,4	13,8	OEB,T1,E1,C2	5,4	7,6	14,9
BS,T1,E2,C1	7,2	9,1	19,2	OEB,T1,E2,C1	4,9	6,7	13,5
BS,T1,E2,C2	4,8	5,8	12,7	OEB,T1,E2,C2	5,7	7,3	15,3
BS,T2,E1,C1	1,7	6	6,9	OEB,T2,E1,C1	3,3	16,2	16,1
BS,T2,E1,C2	35,7	59,5	103,8	OEB,T2,E1,C2	42,4	72,3	124,2
BS,T2,E2,C1	4,5	3,6	10,7	OEB,T2,E2,C1	6,3	12,2	20,3
BS,T2,E2,C2	35	59,8	102,6	OEB,T2,E2,C2	42	72,5	123,6
BT,T1,E1,C1	1,2	4,7	5,1	W,T1,E1,C1	8,3	31,4	34,7
BT,T1,E1,C2	6,4	7,6	16,9	W,T1,E1,C2	4,7	5,1	12,2
BT,T1,E2,C1	6,6	9,6	18,5	W,T1,E2,C1	6,1	5,3	14,9
BT,T1,E2,C2	6,1	8,1	16,5	W,T1,E2,C2	3,9	6	11,1
BT,T2,E1,C1	3,6	11,6	13,9	W,T2,E1,C1	5,9	26,08	27
BT,T2,E1,C2	44,3	64,9	123,5	W,T2,E1,C2	34,6	61,3	102,7
BT,T2,E2,C1	11,8	16,7	32,6	W,T2,E2,C1	20,6	36,1	61,1
BT,T2,E2,C2	45,9	63,7	125,8	W,T2,E2,C2	34,5	61	102,4

La productivité des génotypes

1. Biomasse aérienne

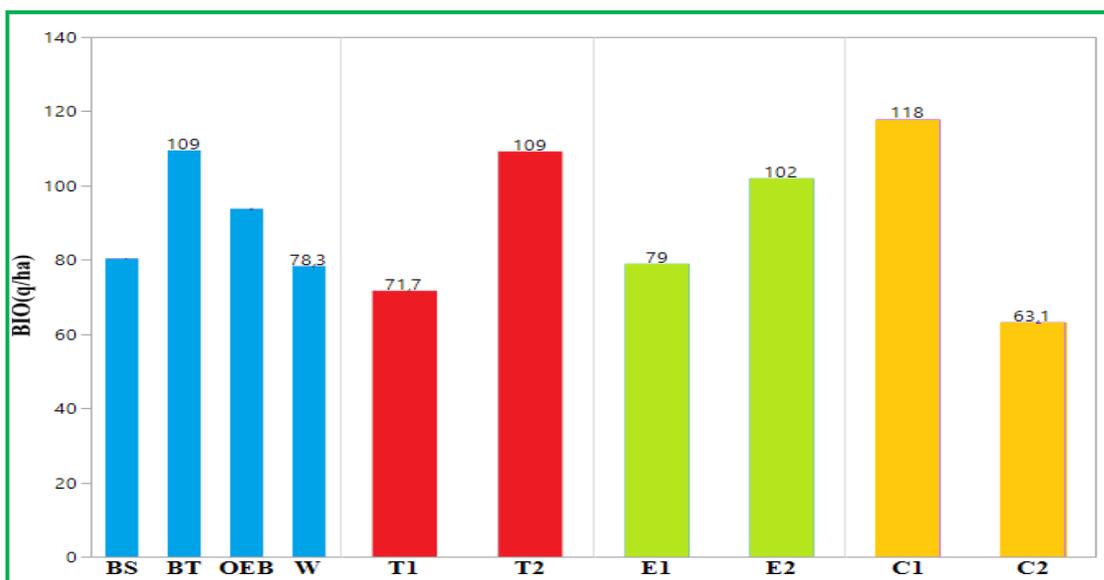
La biomasse aérienne (Bio, qha⁻¹) est significativement variable sous les facteurs G, T, C et E. Aussi, elle l'est sous l'interférence des combinaisons de ces facteurs, pour [(*GxT*), (*GxE*), (*GxC*), (*TxE*), (*GxTxC*), (*GxExC*) et (*TxExC*)]. Cependant, la BIO ne varie pas significativement sous [(*TxE*), (*ExC*), (*GxTxE*), et (*GxTxExC*)] (Volet 2 Tableau 14).

Volet 2 Tableau 14. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de rendement en grains et en biomasse aérienne, paille et indice de récolte des quatre génotypes (G) de blé dur testés sous l'effet d'apport d'eau (T), de l'environnement (E), au cours des deux campagnes (2018/2019, 2019/2020)

Source	ddl	BIO	RDT	PLL	IR
Génotype (G)	3	14889,4***	2797,9***	6223,9**	0,15***
Traitement (T)	1	33840,0***	3441,6***	15687,7***	0,07***
Environnement (E)	1	12654,6***	1184,4***	21576,0***	0,26***
Compagne (C)	1	71646,1***	12535,5***	24231,6***	0,51***
G x T	3	7341,1**	1075,6***	3029,8**	0,01 ^{ns}
G x E	3	4487,2**	1720,1***	1142,2 ^{ns}	0,04*
G x C	3	8226,6***	278,5 ^{ns}	9045,8***	0,01 ^{ns}
T x E	1	27,3 ^{ns}	100,8 ^{ns}	233,7 ^{ns}	0,0004 ^{ns}
T x C	1	16590,0***	314,6**	12335,2***	0,01 ^{ns}
E x C	1	27,0 ^{ns}	3633,4***	3021,7**	0,30*
G x T x E	3	1378,1 ^{ns}	160,7 ^{ns}	1482,0 ^{ns}	0,04*
G x T x C	3	5429,5**	250,5 ^{ns}	4008,7**	0,05**
G x E x C	3	9946,8***	1942,5***	3275,1*	0,01 ^{ns}
T x E x C	1	2667,0**	707,4***	626,2 ^{ns}	0,003 ^{ns}
G x T x E x C	3	1064,2 ^{ns}	78,6 ^{ns}	949,6 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Résidus	64	20886,0	2165,57	17559,2	0,24
Total corrigé	95	211101,0	32388,3	124429,0	1,76958

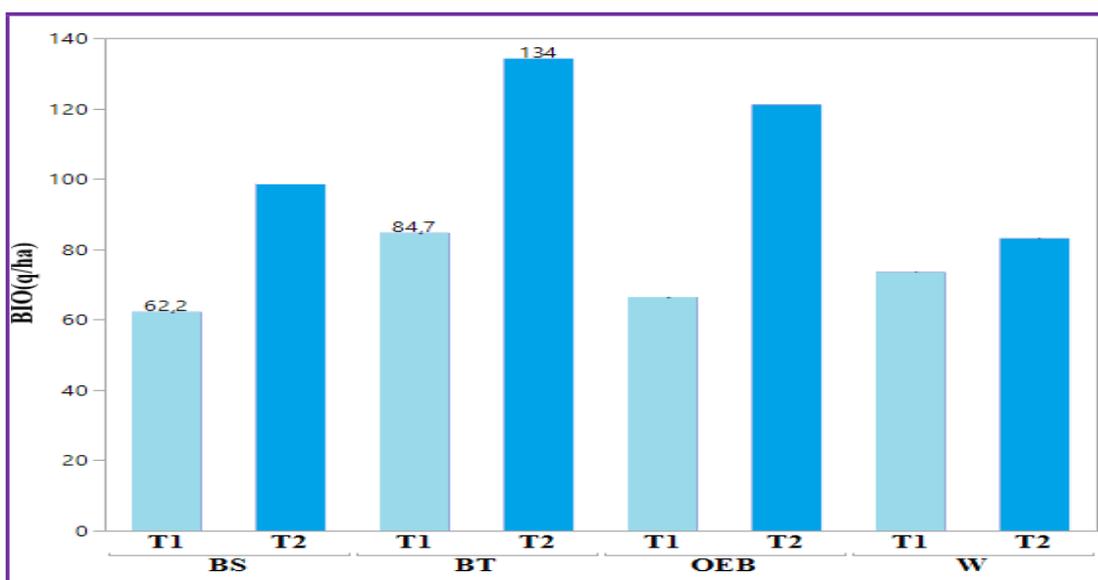
RDT= rendement en grains (qha⁻¹), Bio= masse de la biomasse aérienne (qha⁻¹), PLL= masse de la paille (qha⁻¹), IR= indice de récolte
^{ns}, * et ** = effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

Ainsi, les rendements moyens en biomasse des quatre génotypes étudiés varient de 109 qha⁻¹ (BT) à 78,3 qha⁻¹ (W), soit une différence de 28,6 qha⁻¹ par rapport au témoin BS, et 15,2 qha⁻¹ pour le nouveau génotype OEB (Volet 2 Figure 44). D'autre part, la BIO est plus appréciable sous T2, E2, aussi lors de la première campagne (Volet 2 Figure 44).



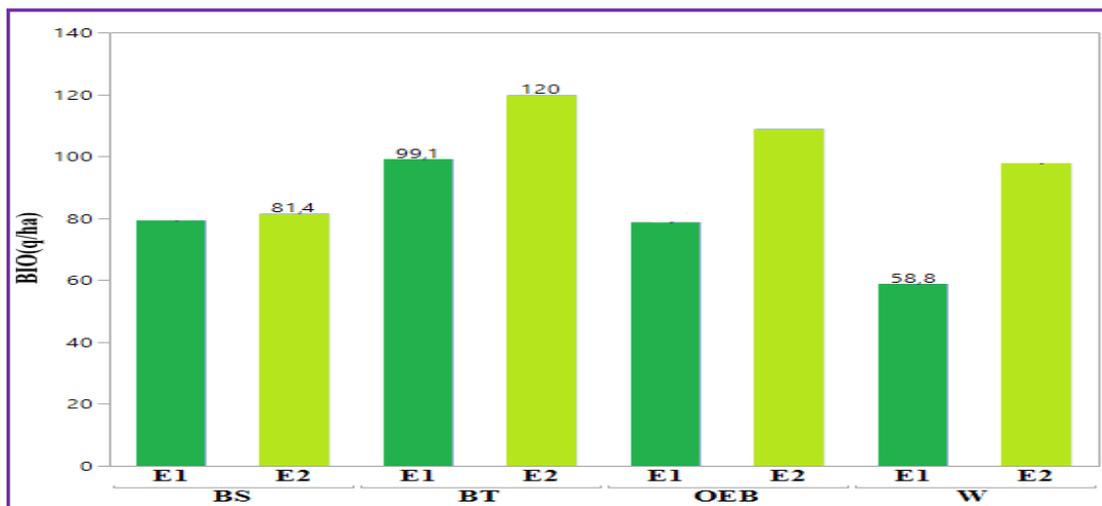
Volet 2 Figure 44. Effet génotypes, environnement, apport d'eau et campagne agricole sur BIO

Avec une quantité de 84,7 et 134,0 qha⁻¹, respectivement en condition pluviale et apport d'eau, le génotype Boutaleb se montre productif en BIO. D'ailleurs, la variation de BIO sous GxT est décrite selon le niveau [BIO (T1, T2), BT > OEB > BS > W] (Volet 2 Figure 45).



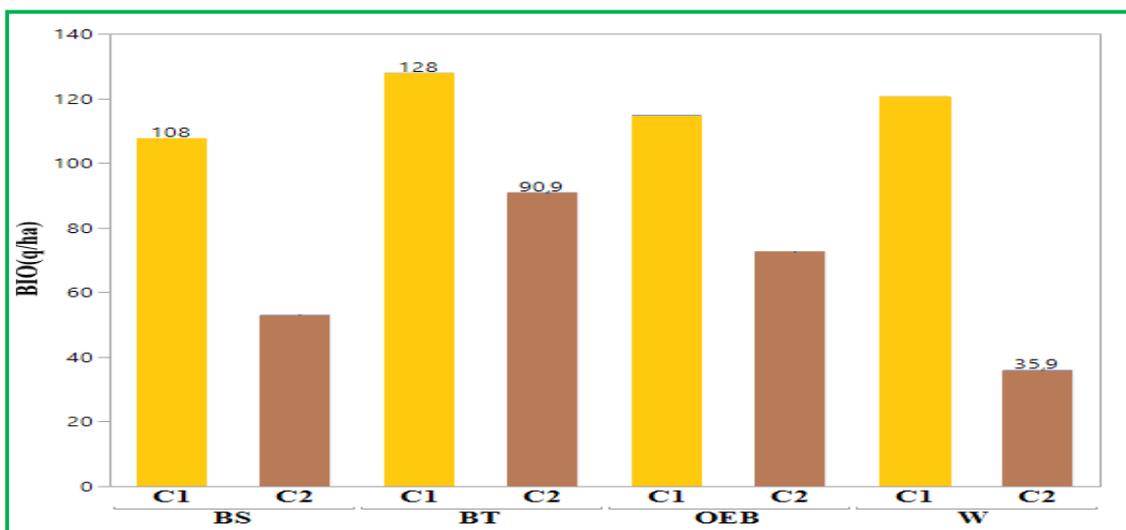
Volet 2 Figure 45. Variation de la biomasse aérienne sous l'interaction (GxT)

Ainsi, l'effet significatif de l'interaction ($G \times E$) sur la biomasse aérienne délimite que le génotype Boutaleb se pointe performant lorsqu'il est conduit sous l'environnement E2 (120.0 qha⁻¹), engendrant un écart réel moyen de 20.9 qha⁻¹ lorsqu'il est cultivé sous E1 (Volet 2 Figure 46). Conduit sur l'environnement E2, le niveau de production de BIO dessine la progression par les génotypes (OEB > Waha > BS) (Volet 2 Figure 46).



Volet 2 Figure 46. Valeur de la biomasse aérienne sous l'interaction ($G \times E$)

La réponse génotypique interannuelle pour la BIO est divergente, avec des valeurs en biomasse significativement différentes. D'ailleurs, l'analyse des résultats confirme que BT produit plus et au cours des deux saisons. Les valeurs de la BIO chez Waha et Oued El Bared semblent similaires lors de la C1, suivies par BS avec 108,0 qha⁻¹, réduisant son potentiel de 20 qha⁻¹ relativement à BT (Volet 2 Figure 47).



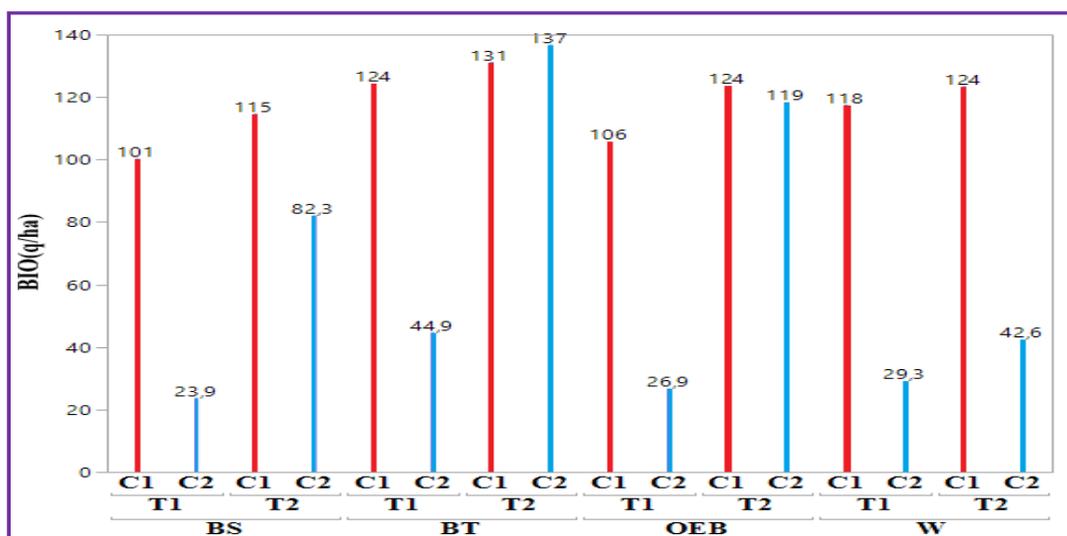
Volet 2 Figure 47. Valeurs de la biomasse aérienne sous l'interaction ($G \times C$)

La biomasse aérienne est significativement affectée par l'effet *Traitement irrigué x Campagne agricole*, la production en biomasse suit un gradient décroissant de *TxC*, avec $[T2C1 > T2C2 > T1C1 > T1C2]$ (Volet 2 Tableau 16).

Volet 2 Tableau 15. Biomasse aérienne réalisée par les génotypes sous l'effet significatif (*TxC*)

Traitement Irrigué	Campagne Agricole	BIO qha ⁻¹
T1	C1	112
T1	C2	31,2
T2	C1	123
T2	C2	95,1

Sous l'effet de l'interaction *GxTxC*, la biomasse aérienne produite par les génotypes varie significativement, sous l'effet d'apport d'eau et campagne agricole. En effet, Boutaleb se classe génotype producteur de biomasse. En parallèle, OEB et W s'identifient en BIO. Alors que le témoins Bousselem discordé avec BT avec 16 qha⁻¹ de différence en irrigué et 23 qha⁻¹ en pluviale et lors de la campagne C1 (Volet 2 Figure 48).

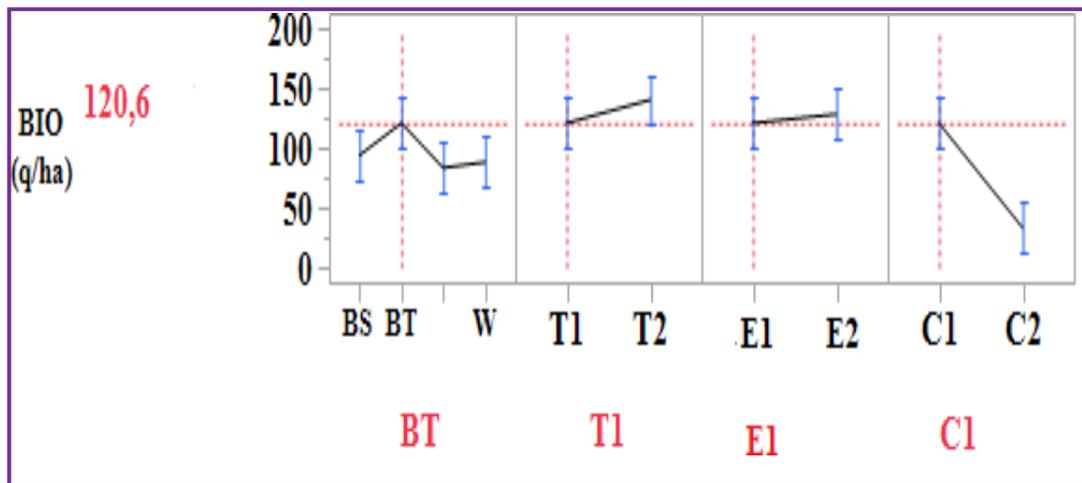


Volet 2 Figure 48. Variation de la biomasse aeriene sous l'effet *GxTxC*

Sous l'interdépendance des quatre facteurs régissant l'interaction *GxTxExC* sur la production de biomasse aérienne, l'analyse des valeurs conduisent à témoigner que le nouveau génotype *Boutaleb* sous 1) apport d'eau, 2) cultivé sous l'environnement E2, et3) conduit lors de la campagne agricole C2, se qualifie *génotype producteur de Biomasse aérienne* (Volet 2 Tableau 17). En effet, en condition pluviale, BT réalise 120,6 qha⁻¹ sous *T1xE1xC1* (Volet 2 Tableau17, Volet 2 Figure 49), en apport d'eau, la BIO est de 171 qha⁻¹ sous *T2xE2xC2* (Volet 2 Tableau 17).

Volet 2 Tableau 16. Biomasse aeriennne produite sous l'effet $GxTxExC$

GxTxExC	BIO qha ⁻¹	GxTxExC	BIO qha ⁻¹
BS,T1,E1,C1	93,7	OEB,T1,E1,C1	83,3
BS,T1,E1,C2	16,7	OEB,T1,E1,C2	22,4
BS,T1,E2,C1	107,2	OEB,T1,E2,C1	128,4
BS,T1,E2,C2	30,9	OEB,T1,E2,C2	31,4
BS,T2,E1,C1	132,3	OEB,T2,E1,C1	110,5
BS,T2,E1,C2	74,4	OEB,T2,E1,C2	98,4
BS,T2,E2,C1	97,4	OEB,T2,E2,C1	137,03
BS,T2,E2,C2	90,1	OEB,T2,E2,C2	138,6
BT,T1,E1,C1	120,6	W,T1,E1,C1	88,06
BT,T1,E1,C2	33,1	W,T1,E1,C2	27,7
BT,T1,E2,C1	128,2	W,T1,E2,C1	147,3
BT,T1,E2,C2	56,5	W,T1,E2,C2	30,8
BT,T2,E1,C1	140,1	W,T2,E1,C1	85,7
BT,T2,E1,C2	102,5	W,T2,E1,C2	33,6
BT,T2,E2,C1	122,6	W,T2,E2,C1	161,4
BT,T2,E2,C2	171,3	W,T2,E2,C2	51,4

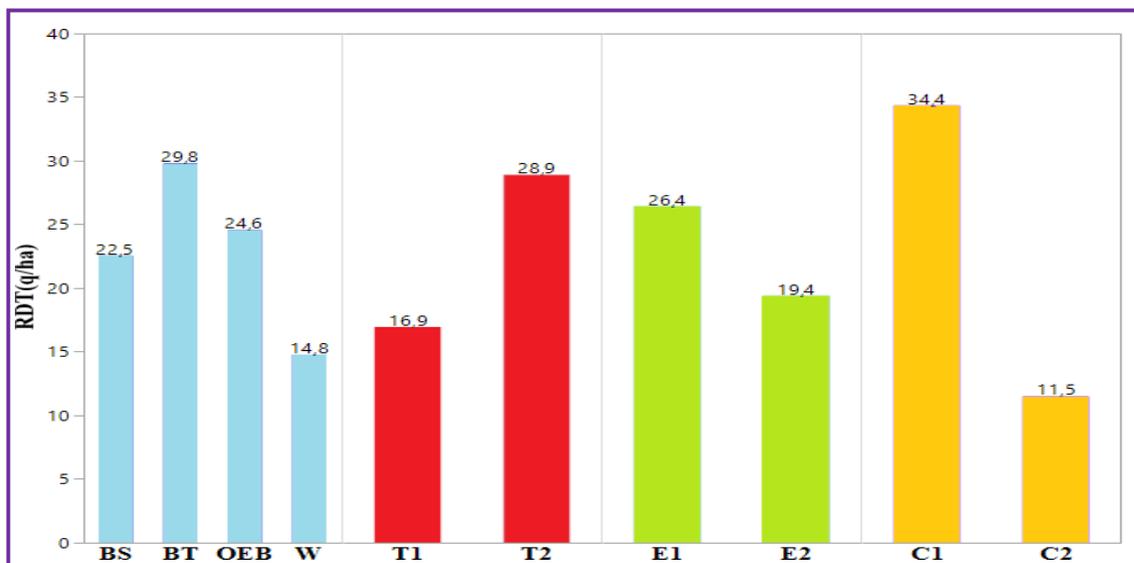


Volet 2 Figure 49. Biomasse aérienne produite par BT en pluvial sous $E1xCl$

2. Rendement grain

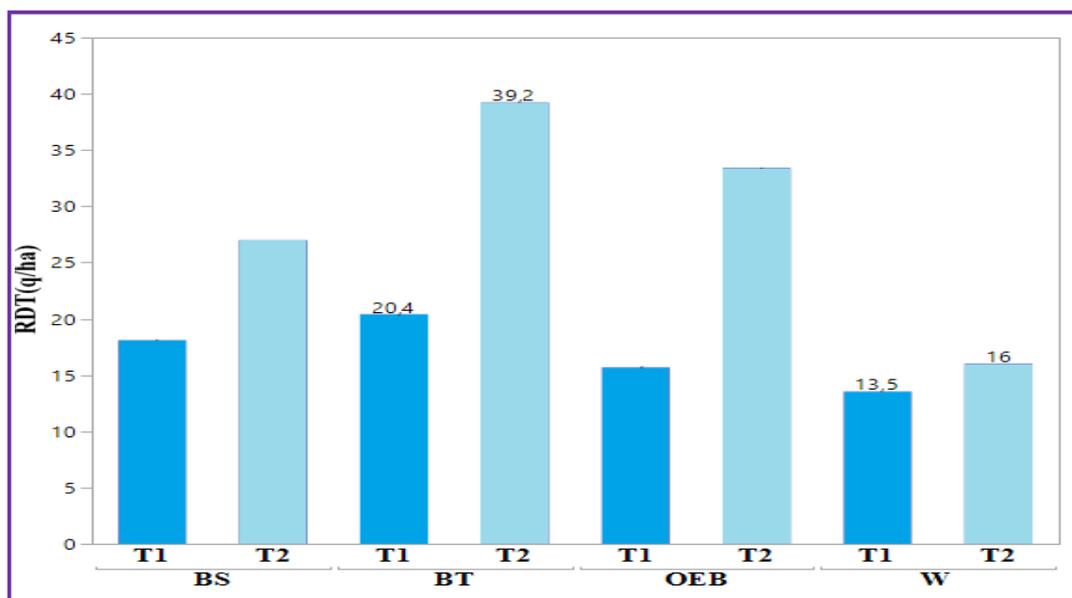
Le rendement grain (RDT, qha⁻¹) se présente variable sous l'effet significatif de [(G), (T), (E) et (C)] (Volet 2 Tableau 14). Les interactions [(GxT), (GxE), (TxC), (ExC), (GxExC), et (TxExC)], le sont aussi. Par contre, les interactions [(GxC), (TxE), (GxTxE), (GxTxC) et (GxTxExC)], n'affectent pas significativement la variable RDT (Volet 2 Tableau 15).

L'effet G sur RDT s'affirme [Bt (29.8qha⁻¹) > (OEB > BS > W)]. Sous condition pluviale, la réduction relative est de 41.52% par rapport au traitement sous apport d'eau. Le RDT sous E1 s'acquiert de 7qha⁻¹ de gain réel sur E2. Toutefois, ce sont les campagnes qui divulguent la divergence la plus marquée à travers un écart réel de 22.9qha⁻¹ (Volet 2 Figure 50).



Volet 2 Figure 50. Effet génotypes, traitement, environnement, et compagne agricole sur RDT

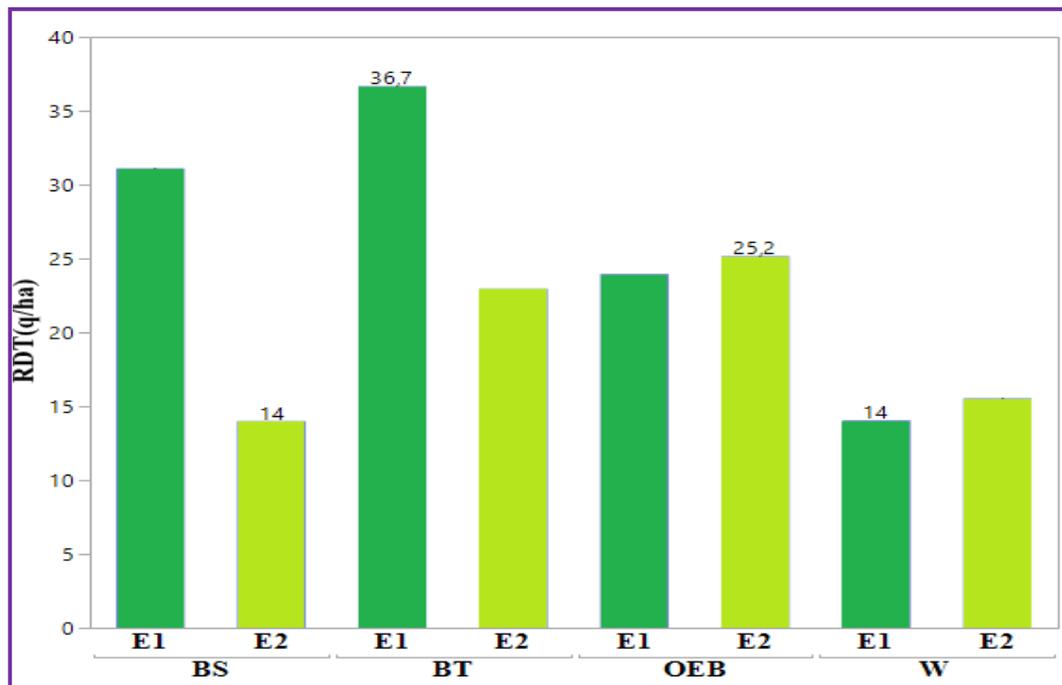
Les valeurs du rendement grain sous l'effet de l'interaction ($G \times T$), affirment la supériorité du génotype Boutaleb (BT) qui valorise mieux l'eau d'irrigation ($39,2 \text{ qha}^{-1}$), il apparaît le prolifique, suivi par Oued El Bared (OEB), et Bousselem (BS) (Volet 2 Figure 50). Waha (W) avec 16 qha^{-1} valorise moins l'apport d'eau (Volet 2 Figure 51)



Volet 2 Figure 51. RDT sous l'effet de l'interaction ($G \times T$)

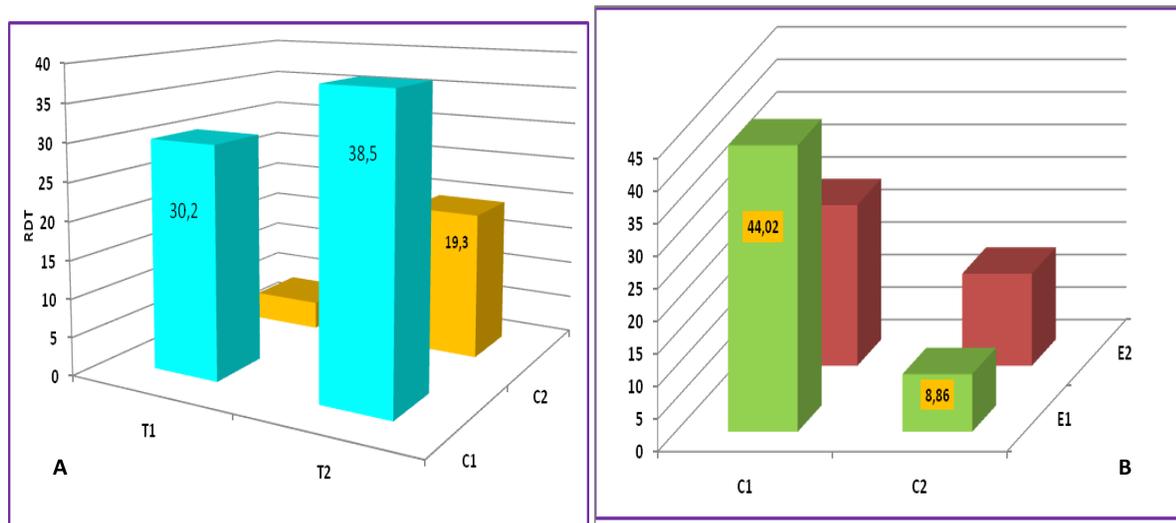
L'effet significatif de l'interaction ($G \times E$) sur RDT produit par les génotypes en fonction de E, proclame un RDT réalisé par BT notable sous l'environnement ($E1$, $36,7 \text{ qha}^{-1}$). Cependant, sous $E2$, c'est OEB qui se démarque. Alors que Waha et OEB ne semblent pas s'exprimer différemment sous les deux environnements. Par contre, la réponse de BS

s'évalue par un gain réel de 17.1 qha⁻¹ réalisé sur E1. Conduites respectivement sous [E1(W) et E2 (BS)], leurs réponses se profilent équivalentes, avec (14qha⁻¹) (Volet 2 Figure 52).



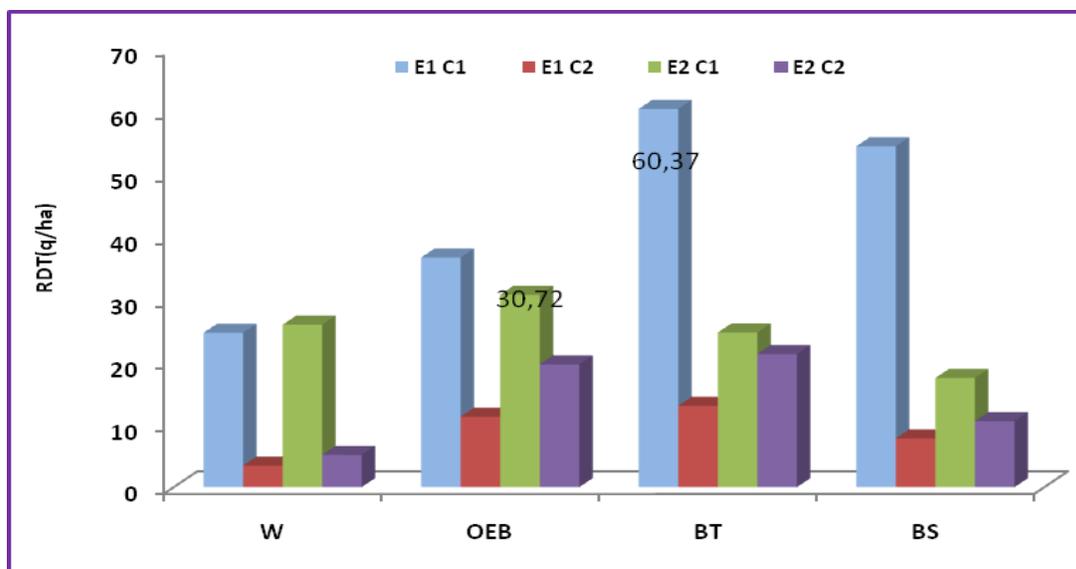
Volet 2 Figure 52. Valeurs du rendement grain sous l'interaction (GxE)

Sous Tx C, RDT s'évalue par la relation [T2C1 > T1C1 > T2C2 > T1C2] RDT produit sous ExC est apprécié selon la notation (E1xC1 > E2C1 > E2C2 > E1C2) (Volet 2 Figure 53).



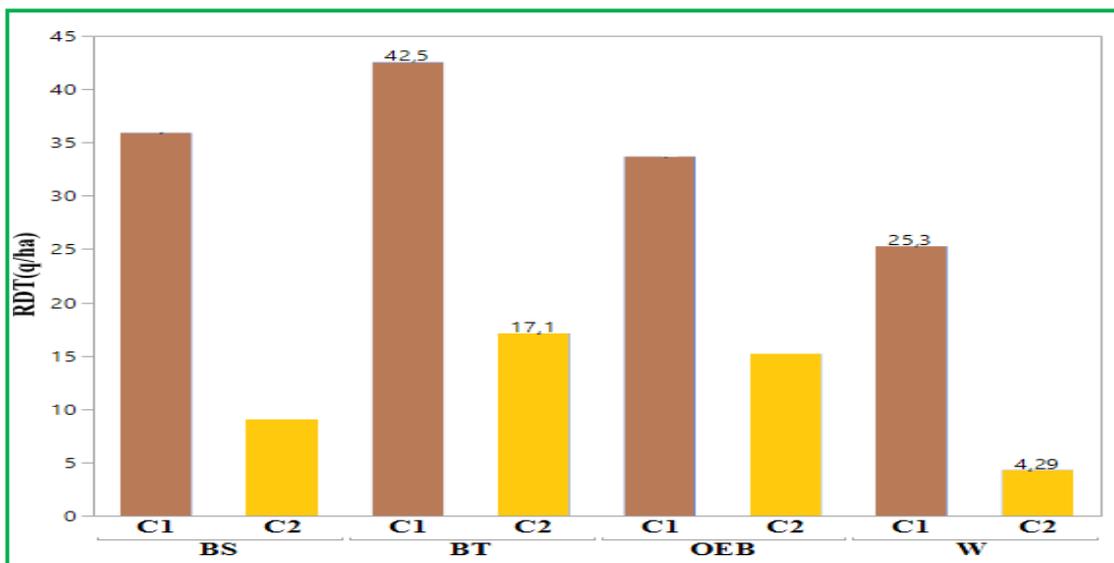
Volet 2 Figure 53. RDT sous l'effet des interactions Tx C (A), Cx E (B)

La variable RDT sous GxExC est valorisée par BT sous E1 et lors de la campagne (C1). Cependant, waha ne répond pas favorablement lors de la seconde campagne et sous E2. Toutefois, les génotypes accusent des variations interannuelles marquées (Volet 2 Figure 54).



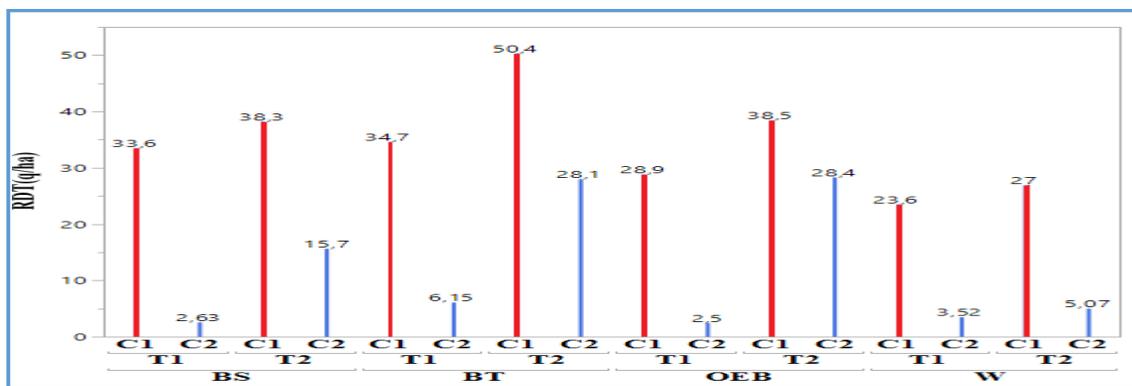
Volet 2 Figure 54. Variation de RDT sous l'effet significatif $G \times E \times C$

Sous $G \times C$, les RDT moyens varient significativement, avec 36.7 qha^{-1} produit par le génotype BT lors de C1. Réalisé par BS lors de la seconde campagne, RDT est estimée à 14.0 qha^{-1} (Volet 2 Figure 55).



Volet 2 Figure 55. RDT sous l'interaction ($G \times C$) ($P_{pds5\%} = 4.74$)

Soumis à l'effet non significatif de $G \times T \times C$, RDT varie de 50.4 qha^{-1} (BT, C1T2) à 2.5 qha^{-1} (OEB, C2T1). L'analyse des résultats témoigne l'écart significatif entre les moyennes, supérieur à la $P_{pds}(5\%)$. D'autre part, la divergence se reflète pour les quatre interactions pour le même génotype, ainsi qu'entre les génotypes. Cette observation résulte des conséquences de l'effet de chaque facteur et son interférence dans la combinaison (Volet 2 Figure 56).



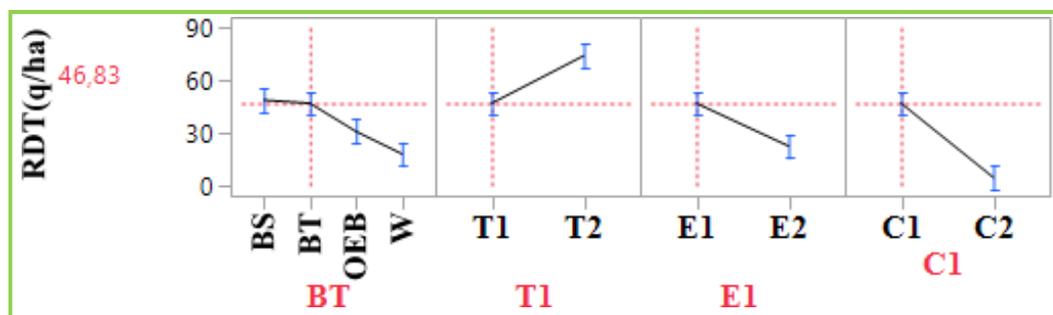
Volet 2 Figure 56. Variation du rendement en grains sous l'effet $GxTx C$ ($P_{pds5\%} = 6.7$)

L'effet significatif de l'interaction TxC sur RDT des génotypes testés suit un gradient déclinant, avec $[T2C1(38.53) > T1C1(30.2) > T2C2(19.3qha^{-1}) > T1C2(3.7qha^{-1})]$.

Cependant, l'interaction des facteurs étudiés $GxTxExC$ sur RDT dévoile le génotype Boutaleb valorisant de cette variable ($73.9 qha^{-1}$), réalisé sous apport d'eau et lors de la C1, sur l'environnement E1 (Volet 2 Tableau 19). En pluvial, $RDT = 46,83 qha^{-1}$, produit par $BTxT1xE1xC1$ (Volet 2 Tableau 19, Volet 2 Figure 57).

Volet 2 Tableau 17. RDT des génotypes sous l'effet de l'interaction $GxTxExC$

$GxTxExC$	RDT qha^{-1}	$GxTxExC$	RDT qha^{-1}
BS,T1,E1,C1	48,6	OEB,T1,E1,C1	30,8
BS,T1,E1,C2	1,4	OEB,T1,E1,C2	1,7
BS,T1,E2,C1	18,4	OEB,T1,E2,C1	26,9
BS,T1,E2,C2	3,8	OEB,T1,E2,C2	3,3
BS,T2,E1,C1	60,1	OEB,T2,E1,C1	42,4
BS,T2,E1,C2	14,1	OEB,T2,E1,C2	20,8
BS,T2,E2,C1	16,4	OEB,T2,E2,C1	34,4
BS,T2,E2,C2	17,2	OEB,T2,E2,C2	35,9
BT,T1,E1,C1	46,8	W,T1,E1,C1	18,06
BT,T1,E1,C2	4,7	W,T1,E1,C2	3,1
BT,T1,E2,C1	22,5	W,T1,E2,C1	29,06
BT,T1,E2,C2	7,6	W,T1,E2,C2	3,8
BT,T2,E1,C1	73,9	W,T2,E1,C1	31,2
BT,T2,E1,C2	21,2	W,T2,E1,C2	3,7
BT,T2,E2,C1	26,8	W,T2,E2,C1	22,7
BT,T2,E2,C2	34,9	W,T2,E2,C2	6,4

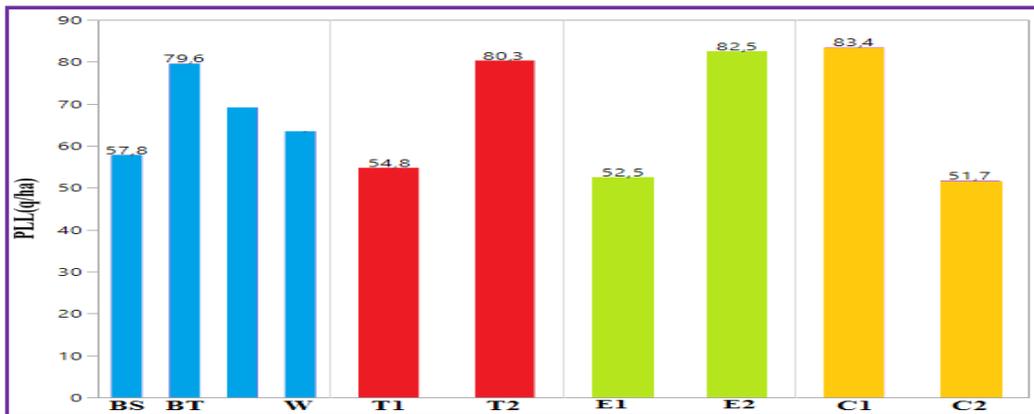


Volet 2 Figure 57. RDT produit sous $BTxT1xE1xC1$

3. Rendement paille

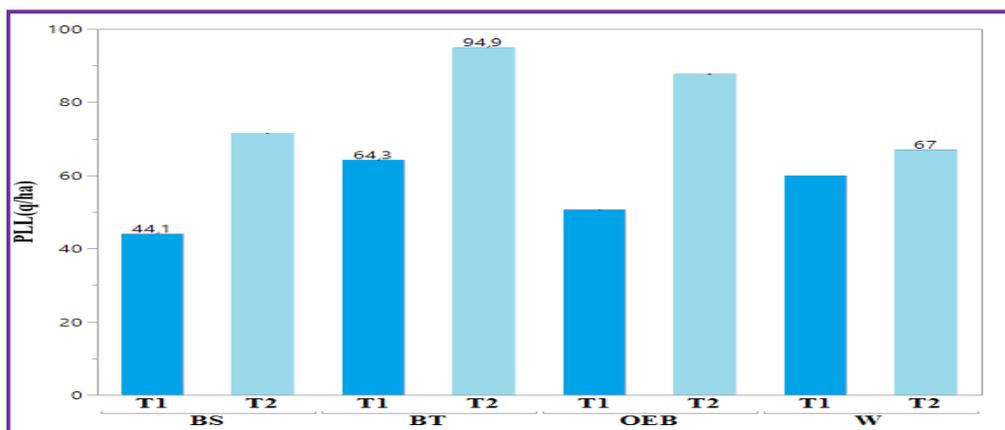
Le rendement paille (PLL, qha⁻¹) est significativement variable sous l'effet de chacun des quatre facteurs étudiés et leurs interférences [(GxT), (GxC), (TxC), (ExC), (GxTxC), et (GxExC)]. Mais il ne l'est pas sous [(GxE), (TxE), (GxTxE), (TxExC), et (GxTxExC)] (Volet 2 Tableau 15).

En effet, les nouveaux génotypes Boutaleb et Oued El Bared réalisent des quantités de moyennes de PLL estimées à 79,6 et 69,2 qha⁻¹ respectivement. Alors que les témoins Waha et Bousselem, dans l'ordre se dévoilent avec une réduction relative de 20,23% et 27,35% relativement à Boutaleb (Volet 2 Figure 54). Sous apport d'eau, les résultats décèlent que PLL sous apport d'eau, se décèle avec un gain (de 31,8% relativement au T1 pluvial (Volet 2 Figure 58). La variation interannuelle s'affiche avec 33,0 qha⁻¹.



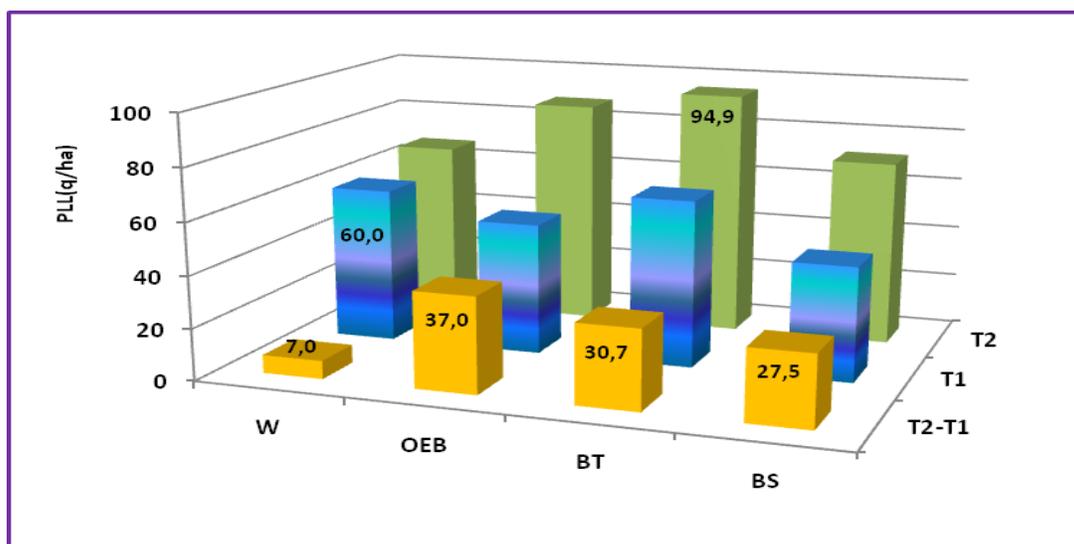
Volet 2 Figure 58. Effet G, T, E, C, sur le rendement en paille

Les rendements PLL élaborés le nouveau génotype Boutaleb sous l'effet de GxT, sont fleurons, avec 94,9 qha⁻¹ sous apport d'eau, et 64,3 qha⁻¹ en pluvial (Volet 2 Figure 59). Ainsi, en conditions pluvial et irriguée, la réponse génotype se manifeste par un gradient décrit par [T1(BT > W > OEB > BS)] et [T2(BT > OEB > BS > W)] (Volet 2 Figure 59).



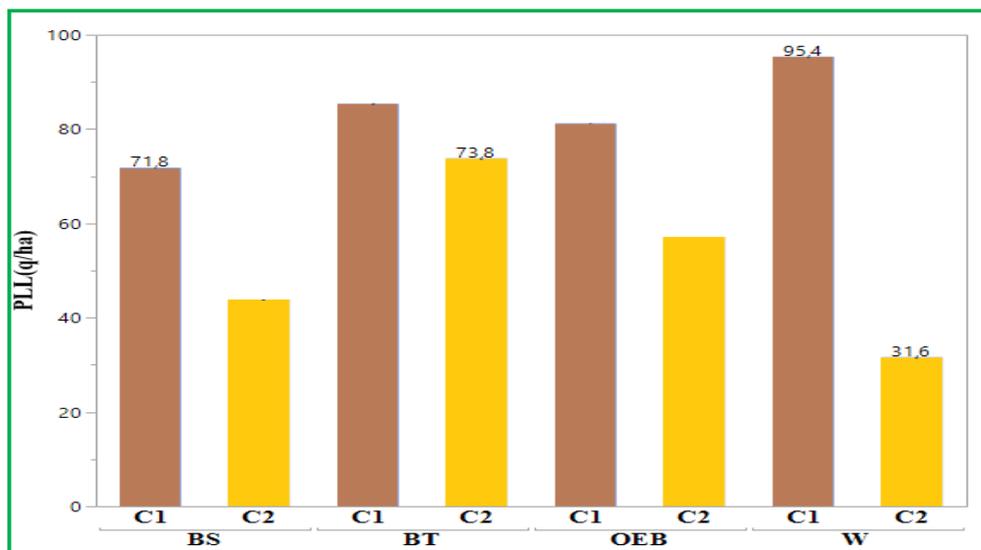
Volet 2 Figure 59. Valeurs du rendement en paille sous l'interaction (GxT)

Toutefois, l'écart réel en PLL $[(T2-T1) \times G]$ suit le sens $[(W < BS < BT < OEB)]$ (Volet 2 Figure 60).



Volet 2 Figure 60. Rendement paille réalisé sous $G \times T$, et écart réel (PLL, T2-T1)

Sous l'interaction ($G \times C$), les génotypes demeurent significativement distincts, avec une production de $95,4 \text{ qha}^{-1}$ par le témoin Waha qui s'affirme performance lors de la C1 pour élaborer une quantité appréciable en paille. Par contre, c'est lors de la seconde saison que Boutaleb se montre efficient avec $73,8 \text{ qha}^{-1}$ (Volet 2 Figure 61).



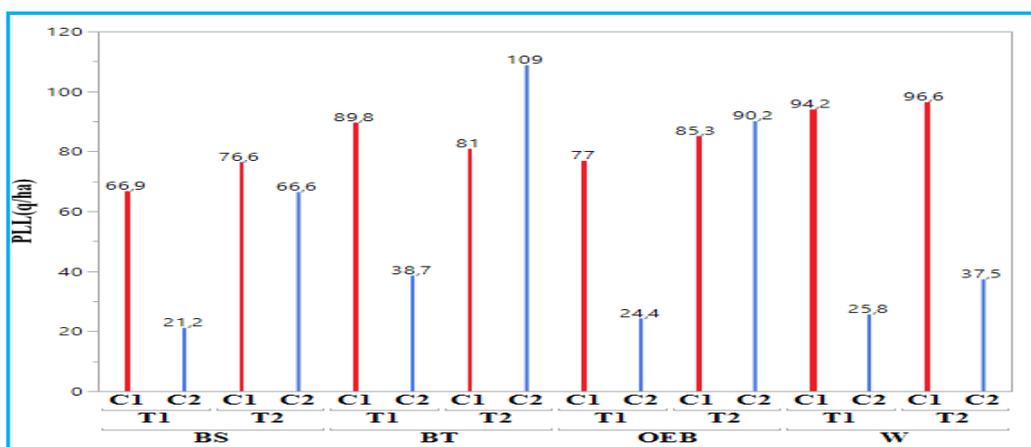
Volet 2 Figure 61. Valeurs du rendement en paille sous l'interaction ($G \times C$)

Par ailleurs, l'effet significatif de $T \times C$ marque la supériorité du rendement en paille des génotypes lors de la première campagne agricole (C1) en pluvial (Volet 2 Tableau 16). Le rendement en paille accuse une variation divergente bien marquée (Volet 2 Tableau 16

Volet 2 Tableau 18. Rendement paille des génotypes sous l'effet significatif de [(Tx)C] et (ExC)]

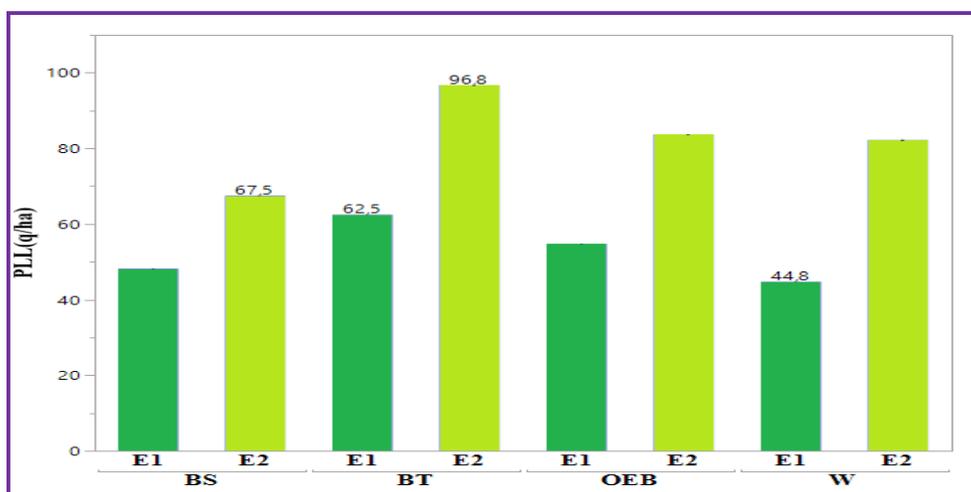
T	C	PLL (qha ⁻¹)	ExC	PLL (qha ⁻¹)
T1	C1	82	E1xC1	62.83
T1	C2	27,5	E1xC2	42.27
T2	C1	84,9	E2xC1	104.03
T2	C2	75,8	E2xC2	14.14

L'effet interactif de *GxTx*C sur le rendement en paille diffère significativement, décryptant l'intervalle différentiel du rendement paille chez les génotypes testés en fonction de l'apport d'eau au cours des campagnes agricoles. Les nouveaux génotypes (BT et OEB) se manifestent meilleurs producteurs (Volet 2 Figure 62).



Volet 2 Figure 62. Variation du rendement paille sous l'effet *GxTx*C

Sous l'effet non significatif *GxE*, Boutaleb se montre adapté sous les conditions environnementales, avec 96.8 qha⁻¹, suivi d'OEB et W qui apparaissent similaires. Comparativement, Bousselem produit moins (Volet 2 Figure 63).

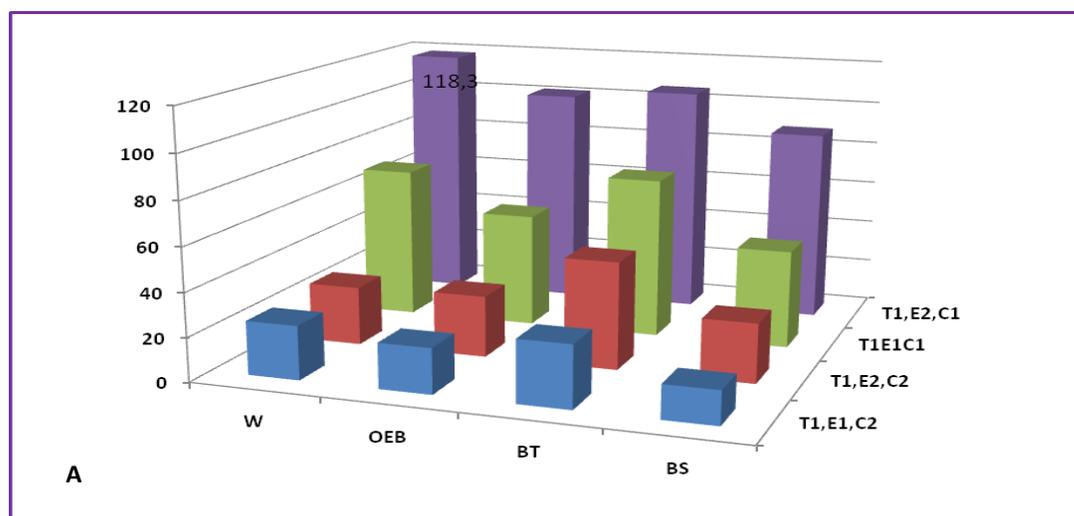


Volet 2 Figure 63. Rendement en paille sous *GxE* (*Ppds* 5% = 13.51)

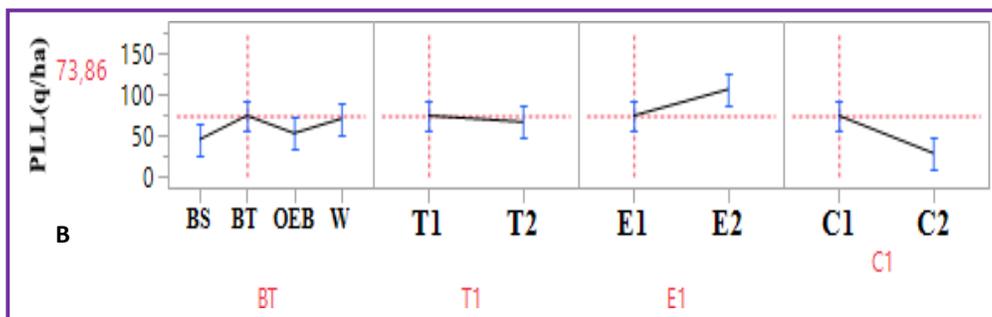
La divergence de la production en paille sous l'action interférée des facteurs étudiés par *GxTxExC*, se reflète par la valorisation de la production paille par le génotype Boutaleb qui valorise au mieux l'eau au cours de la seconde campagne, aussi lors de la première (Volet 2 Tableau 21). Ainsi, en conditions pluvial, les résultats déterminent que les génotypes apparaissent valoriser la composante paille lorsqu'ils sont conduits sous l'environnement E2 et au cours de la campagne de 2018/2019. En effet, sous *GxT1xE2xC1*, la paille produite est estimée à 118,3 (W) et se réduit à 88,7 qha⁻¹(BS) (Volet 2 Tableau17, Volet 2 Figures 64A, 64B). Sous apport d'eau, les niveaux de PLL sous *GxT2xExC* sont décrits selon pour combinaisons en interaction avec le génotype (Volet 2 Figure 65).

Volet 2 Tableau 19. Rendement en paille des génotypes sous l'effet *GxTxExC*

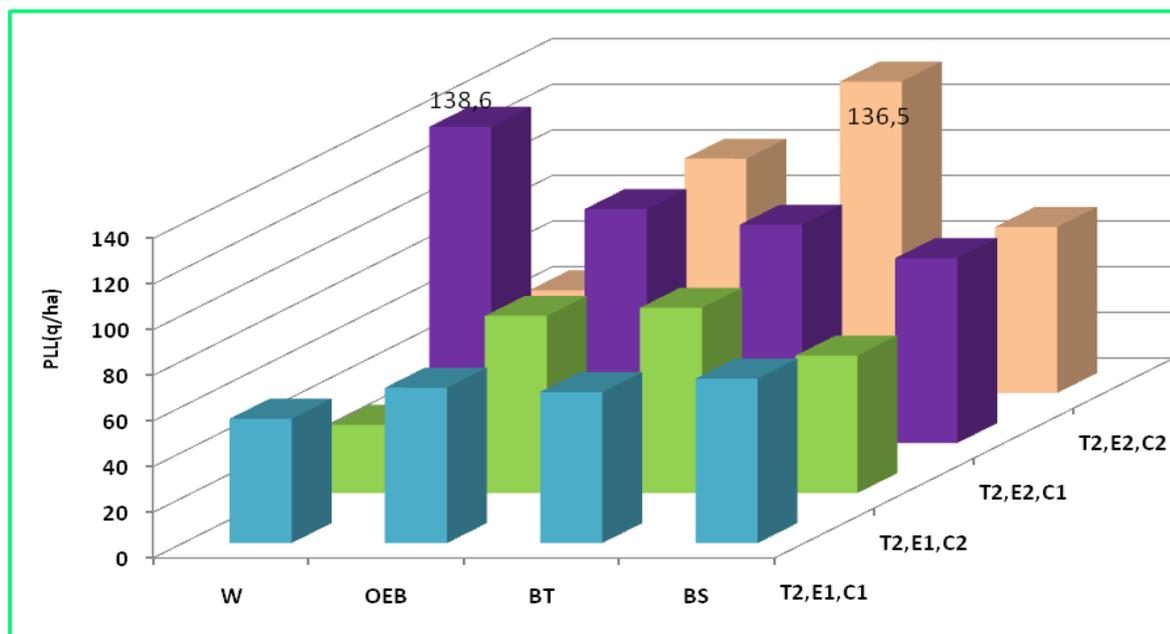
<i>GxTxExC</i>	PLL qha ⁻¹	<i>GxTxExC</i>	PLL qha ⁻¹
BS,T1,E1,C1	45,06	OEB,T1,E1,C1	52,5
BS,T1,E1,C2	15,3	OEB,T1,E1,C2	20,7
BS,T1,E2,C1	88,7	OEB,T1,E2,C1	101,4
BS,T1,E2,C2	27,1	OEB,T1,E2,C2	28,1
BS,T2,E1,C1	72,1	OEB,T2,E1,C1	68,1
BS,T2,E1,C2	60,2	OEB,T2,E1,C2	77,6
BS,T2,E2,C1	81,03	OEB,T2,E2,C1	102,5
BS,T2,E2,C2	72,8	OEB,T2,E2,C2	102,7
BT,T1,E1,C1	73,8	W,T1,E1,C1	70,03
BT,T1,E1,C2	28,4	W,T1,E1,C2	24,6
BT,T1,E2,C1	105,7	W,T1,E2,C1	118,3
BT,T1,E2,C2	49,0	W,T1,E2,C2	26,9
BT,T2,E1,C1	66,2	W,T2,E1,C1	54,5
BT,T2,E1,C2	81,2	W,T2,E1,C2	29,9
BT,T2,E2,C1	95,7	W,T2,E2,C1	138,6
BT,T2,E2,C2	136,5	W,T2,E2,C2	45



Volet 2 Figure 64 A. Rendement paille sous *GxT1xE2xC*, en condition pluviale



Volet 2 Figure 64 B. Rendement paille sous *BtxT1xE1xC1*, en condition pluviale

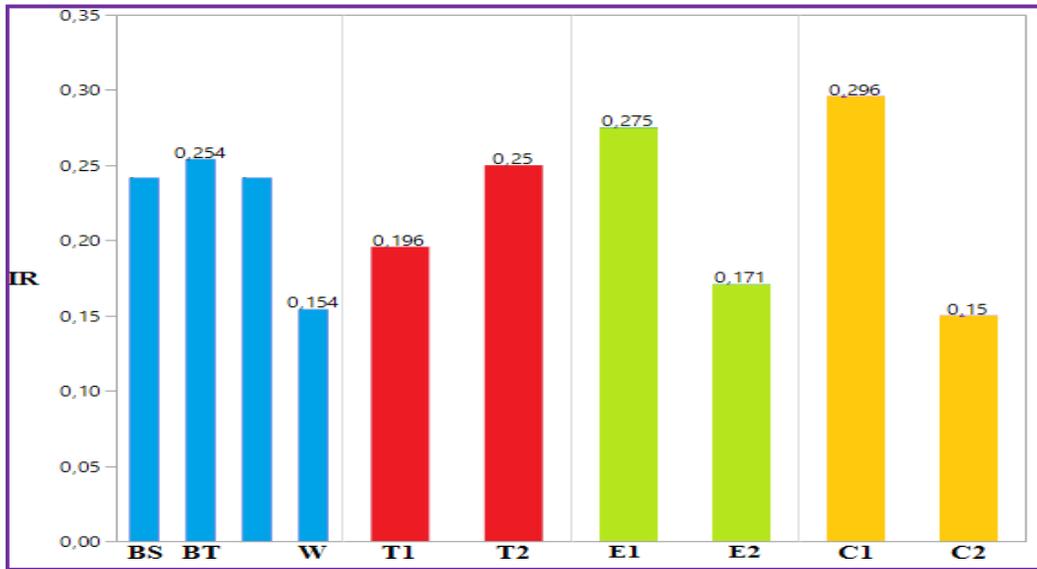


Volet 2 Figure 65. Rendement paille sous apport d'eau, *GxT2xExC*

4. Indice de récolte

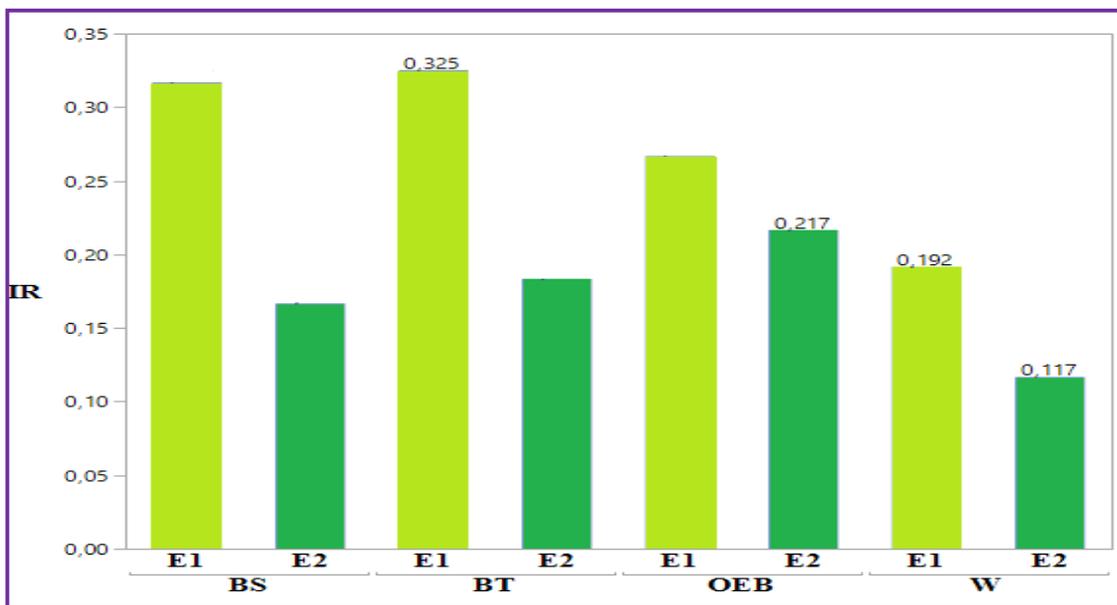
L'indice de récolte (IR) s'exprime par un effet hautement significatif sur un ensemble de facteurs et interactions [(G, T, E, C); (GxE), (ExC), et (GxTxE), (GxTxC)]. Cependant les interactions [(GxT), (GxC), (TxE), (TxC); (GxExC), (TxExC), et (GxTxExC)] ne le sont pas (Volet 2 Tableau 15).

Les appréciations de l'indice de récolte sous l'effet de chacun des facteurs (G, T, E et C) sont illustrées (Volet 2 Figure 66). Ainsi, Boutaleb avec IR= 0,254 se hisse en tête des génotypes, et Waha avec 0,154 est placée au bout du rang. Sous apport d'eau, l'IR semble significativement s'améliorer avec 0.25 relativement à IR= 0.196 en pluvial. L'effet environnement s'impose plus conséquent avec IR[(E1= 0.275) et (E2= 0.171)]. IR est aussi significativement fluctuant selon les saisons, IR[(C1= 0.296) et (C2= 0.15)] (Volet 2 Figure66).



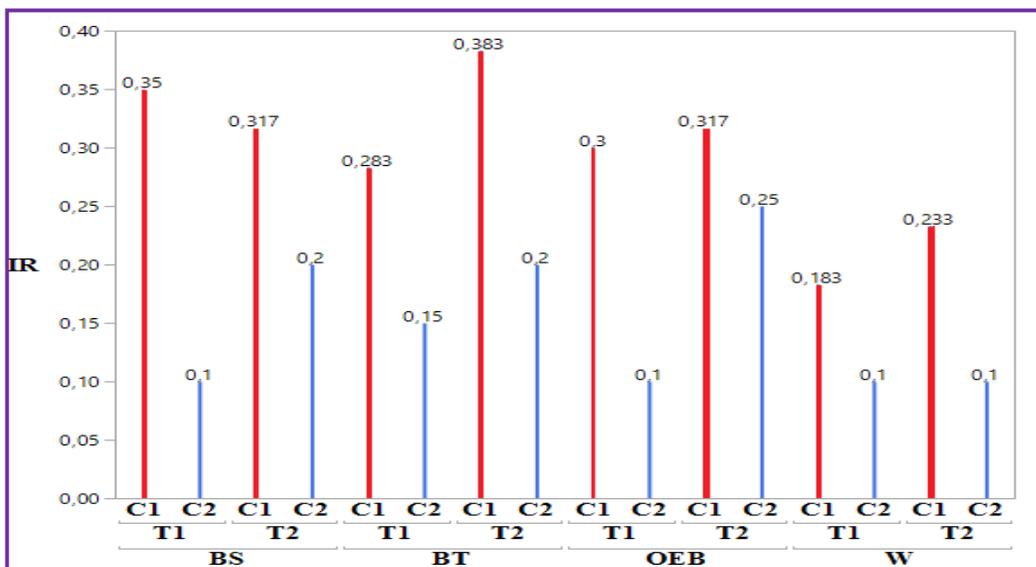
Volet 2 Figure 66. Effet G, T.Ir, E, et CA sur de l'indice de récolte

L'analyse des conséquences de $G \times E$ attribue $IR = 0,325$ pour le génotype Boutale sous E1 et $0,217$ sous E2 pour le nouveau génotype Oued El Bared (Volet 2 Figure 67).



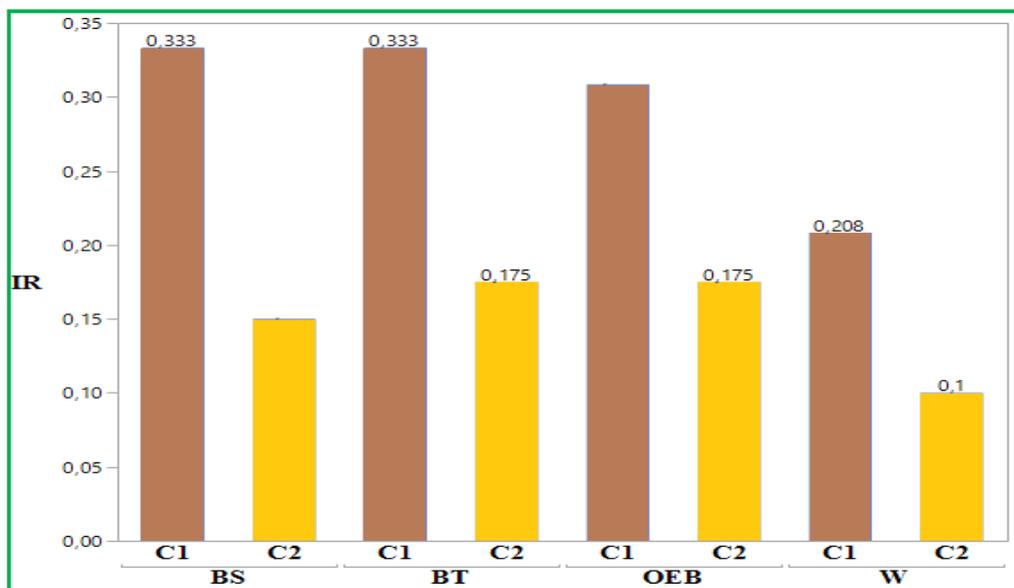
Volet 2 Figure 67. Valeurs de l'indice de récolte sous l'interaction ($G \times E$)

Les notations de $G \times T \times C$ sur IR décrivent la réponse différentielle des génotypes en fonction de l'apport d'eau et la saison agricole. Et les nouveaux génotypes se proclament génotypes à indice de récolte notable (Volet 2 Figure 68).



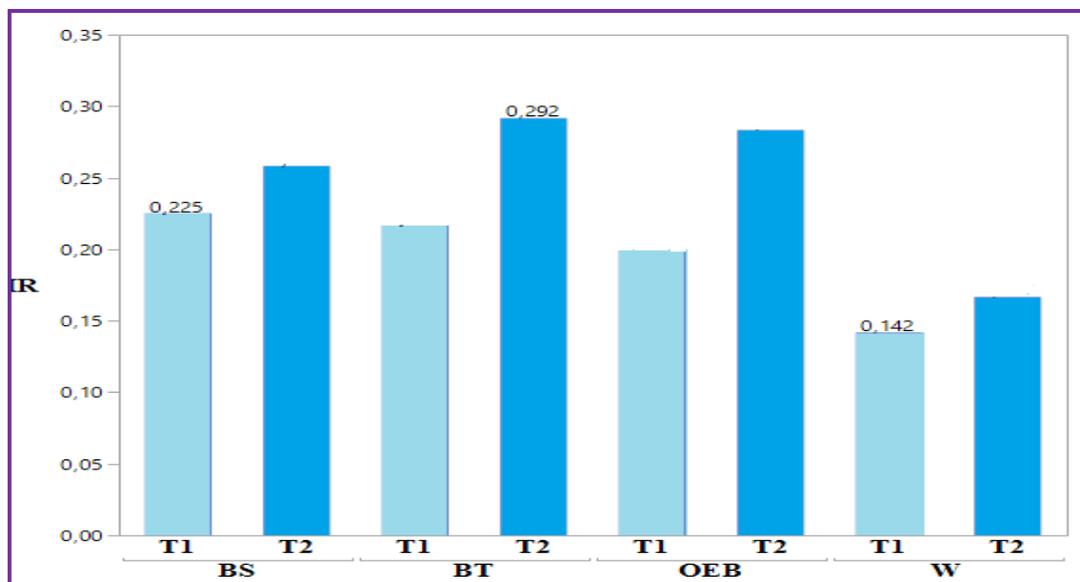
Volet 2 Figure 68. Variation de l'Indice de récolte sous l'effet $G \times T \times C$

Soumis à sa réponse intersaisonnière au paramètre IR, significativement non variable, le génotype Boutaleb apparaît similaire à Bousselem au cours de C1 (2018/2019) (Volet 2 Figure 69). Et au cours de la seconde saison, il l'est aussi avec Oued El Bared au cours de la saison agricole 2019/2020 avec IR= 0,175 (Volet 2 Figure 69). Toutefois, IR est valorisé au cours de la C1.



Volet 2 Figure 69. Valeurs de l'indice de récolte sous l'interaction ($G \times C$) ($P_{pds} 5\% = 0.05$)

La variation non notable de $G \times T$ sur IR indique que Boutaleb sous apport d'eau répond positivement. Toutefois, les autres résultats s'affichent apr IR[T2(OEB > BS > W)]. Cependant, en condition pluviale, l'ordre apparaît IR[T1(BS > BT > OEB > W)] (Volet 2 Figure 70).

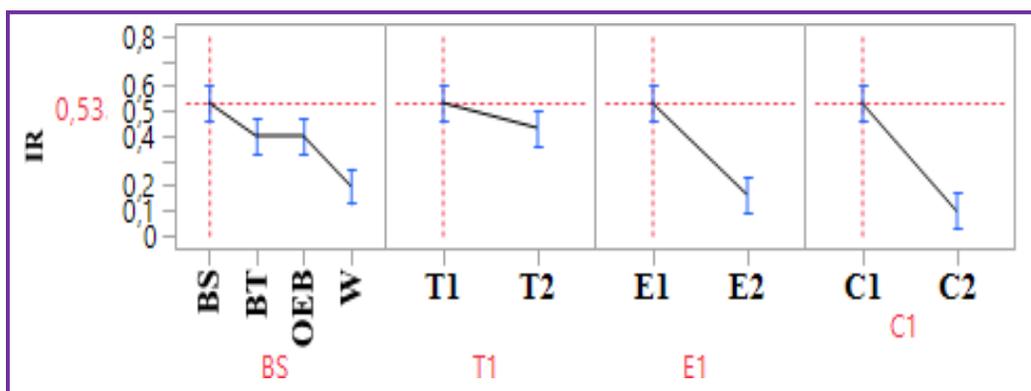


Volet 2 Figure 70. l'indice de récolte sous $(G \times T)$ ($P_{pds5\%} = 7.07 \times 10^{-2}$)

L'interaction $G \times T \times E \times C$ sur l'Indice de récolte, sélectionne le génotype Boutaleb conduit en irrigué sous l'effet de l'environnement $E1$, et au cours de la campagne agricole 2018/2019. En pluvial, $IR = 0.53$ résulte de l'interaction $BS \times T1 \times E1 \times C1$ (Volet 2 Tableau 17, Volet 2 Figure 71).

Volet 2 Tableau 20. Indice de récolte des génotypes sous l'effet de l'interaction $G \times T \times E \times C$

$T \times E \times C$	W	OEB	BT	BS
T1(pluvial)				
T1,E1,C1	0,2	0,4	0,4	0,5
T1,E1,C2	0,1	0,1	0,1	0,1
T1,E2,C1	0,1	0,2	0,1	0,1
T1,E2,C2	0,1	0,1	0,1	0,1
T2(irrigué)				
T2,E1,C1	0,3	0,3	0,5	0,4
T2,E1,C2	0,1	0,2	0,2	0,2
T2,E2,C1	0,1	0,2	0,2	0,2
T2,E2,C2	0,1	0,3	0,2	0,2



Volet 2 Figure 71. IR sous $BS \times T1 \times E1 \times C1 (= 0.53)$

Valorisation de l'Eau par les Génotypes

1. Efficacités d'utilisation de l'eau sous chacun des facteurs étudiés

L'analyse de la variance est relative à l'effet des facteurs (G, T, C et E) et les interférences qui sont susceptibles d'être engendrées sur la valorisation de l'eau par les génotypes pour couvrir leur productivité. Ainsi, l'analyse concerne 1) L'EUEBIO ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$), 2) L'EUERDT ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) et 3) L'EUEPLL ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) (Volet 2 Tableau 18).

Volet 2 Tableau 21. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de l'efficacité d'utilisation en eau des quatre génotypes (G) de blé dur testés sous l'effet d'apport d'eau (T), de l'environnement (E), au cours de deux campagnes successives (2018/2019, 2019/2020)

Source	Dd	EUEBIO	EUERDT	EUEPLL
Génotype (G)	3	2344,6***	538,3***	1090,1***
Traitement (T)	1	2285,4***	190,1***	1161,3***
Environnement (E)	1	1318,6***	1262,2***	0,58 ^{ns}
Compagne (C)	1	18172,0***	3219,0***	6091,3***
GxT	3	819,2**	68,2**	671,5**
GxE	3	625,0**	443,8***	15,4 ^{ns}
GxC	3	676,1**	149,5***	1021,6***
TxE	1	1117,9***	235,3***	328,1**
TxC	1	16343,8***	1276,7***	8495,7***
ExC	1	2591,6***	1570,5***	129,5 ^{ns}
GxTxE	3	183,5 ^{ns}	81,9*	318,4 ^{ns}
GxTxC	3	722,9**	128,7***	399,7 ^{ns}
GxExC	3	1294,7***	464,2***	282,6 ^{ns}
TxExC	1	999,7***	189,5***	322,3**
GxTxExC	3	58,5 ^{ns}	100,3**	99,6 ^{ns}
Résidus	64	2791,43	319,42	2605,55
Total corrigé	95	52345,55	10238,34	23033,78

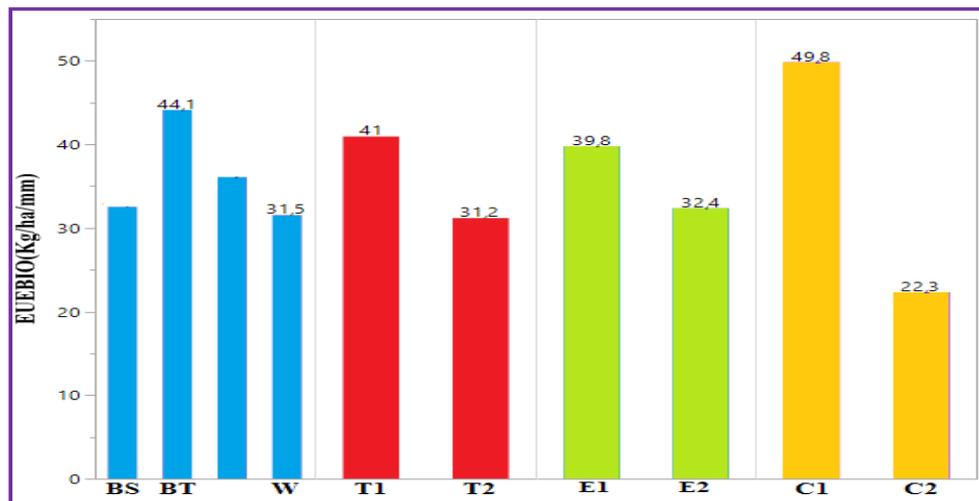
EUE== efficacité d'utilisation de l'eau ($\text{kg mm}^{-1} \text{ha}$)

2. Effet des facteurs étudiés sur l'efficacité d'utilisation de l'eau

L'efficacité d'utilisation (EUE) du génotype pour produire la BIO, le RDT grain et de la PLL, varie significativement d'un génotype à un autre (G), sous apport d'eau(T), en fonction de l'environnement et en fonction de la saison agricole (C). Cependant, l'EUEPLL ne semble pas diverger sous l'effet environnemental (Volet 2 Tableau 18).

2.1. EUEBIO ($\text{kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$)

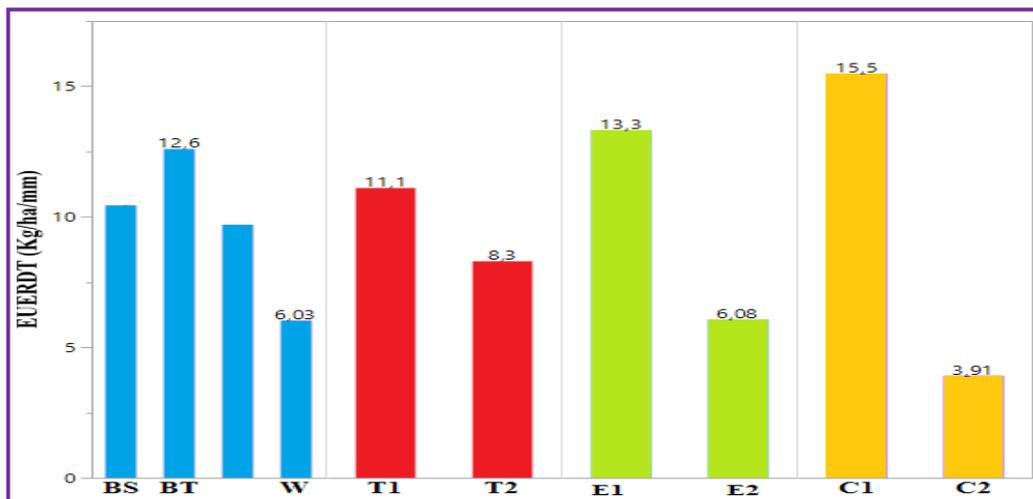
L'analyse de la valorisation de l'EUE relative à la biomasse aérienne produite par les génotypes testés, varie de $44,1 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ pour BT à $31,5 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ (W) (Volet 2 Figure 72). Par ailleurs, sous condition pluviale avec $41,0 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$, T1 valorise l'EUEBIO comparativement au T2 sous apport d'eau. L'EUEBIO est de $49,8 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ (C1), à la seconde campagne (C2), elle se réduit, avec $22,3 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ (Volet 2 Figure 72).



Volet 2 Figure 72. EUEBIO ($\text{kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$) des génotypes sous l'effet (G, T, E et C)

2.2. EUERDT ($\text{kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$)

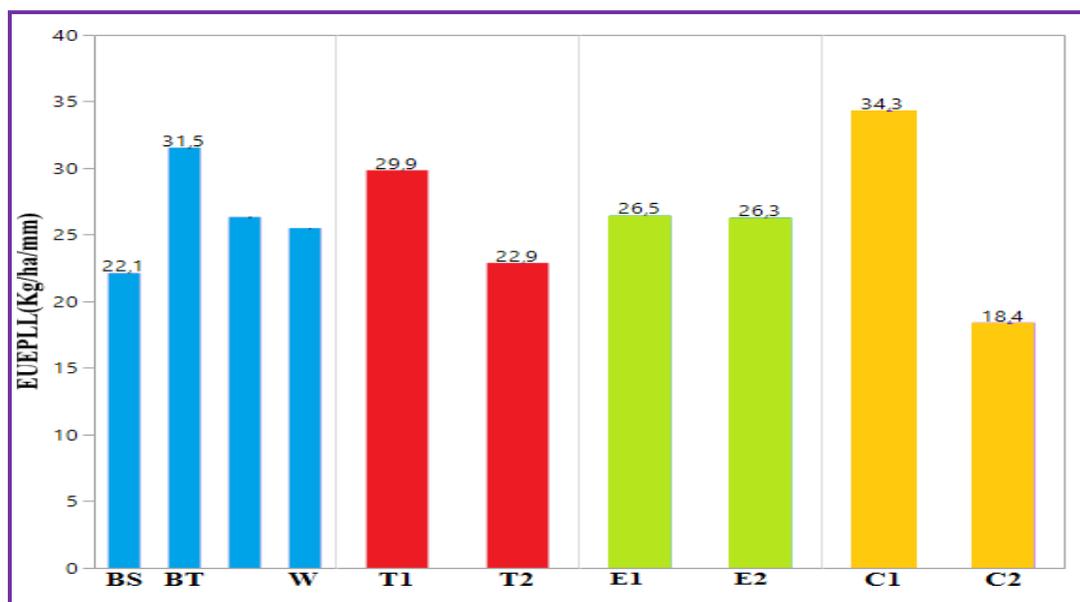
L'EUERDT se singularise par des estimations de [EUERDT (BT, $12,6 \text{ kg mm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ à $10,3 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ pour W)] (Volet 2 Figure 73). La conduite en pluvial semble mieux valorisante. Par ailleurs, l'E1 se qualifie favorable relativement à E2 pour l'EUERDT. Toutefois, l'écart différentiel le plus expressif est celui de la saison agricole (Volet 2 Figure 73).



Volet 2 Figure 73. EUERDT sous l'effet G, T, E et C

2.3. L'Effizienz d'utilisation de l'eau pour le rendement en paille

L'effet moyen du génotype sur l'EUEPLL est de 31.5 kgmm⁻¹ha⁻¹ (BT) et se réduit, avec 26,3 kgmm⁻¹ha⁻¹ (OEB). Cependant, les génotypes témoins Waha et Bousselem se caractérisent par une EUEPLL de 25,5 et 22,1 kgmm⁻¹ha⁻¹ successivement (Volet 2 Figures 74). En fonction de l'apport d'eau, l'EUEPLL varie de T1 à T2, avec 29,9 kgmm⁻¹ha⁻¹ (T1) et T1>T2. La différence est significative entre les saisons agricoles. Mais, E1 et E2 se positionnent similaires, répondant à des EUEPLL qui se rapprochent (Volet 2 Figure 73). Néanmoins, les saisons agricoles affirment l'écart différentiel notable entre EUEPLL_{C1}>EUEPLL_{C2} (Volet 2 Figure 74).



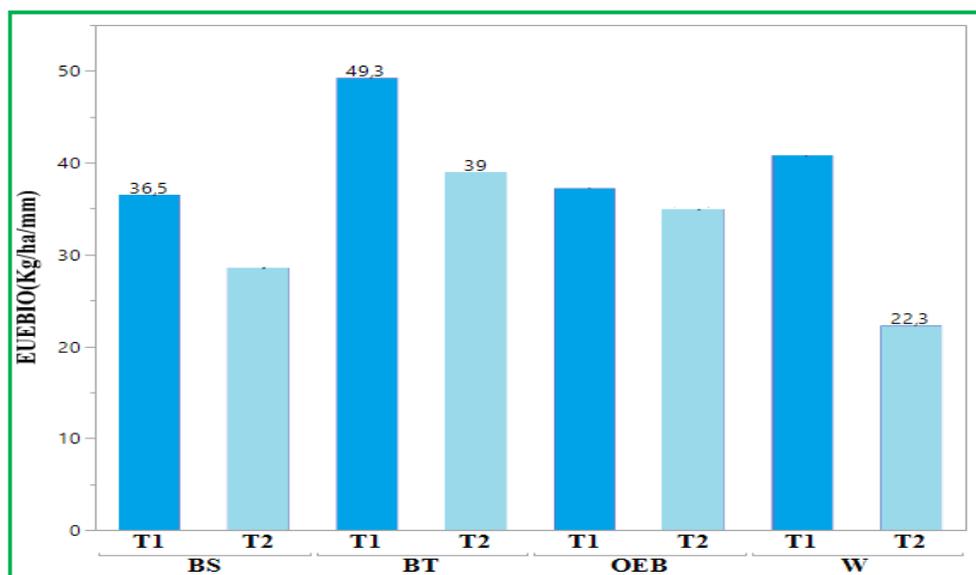
Volet 2 Figure 74. EUEPLL sous l'effet (G, T, E et C)

3. Effet interactif lié à deux facteurs sur l'effizienz d'utilisation de l'eau

L'EUE pour la BIO, le RDT grain et la PLL diverge significativement à l'égard de l'action interactive engendrée par chacune des interactions [1) *GxT*, 3) *GxC* 4) *TxE* et 5) *TxC*] (Volet 2 Tableau 18). Mais la paille ne l'est pas sous 1) *GxE* et 2) *ExC* (Volet 2 Tableau 18).

3.1. L'EUEBIO

L'effet interaction *GxT* sur l'effizienz d'utilisation d'eau, recommande le nouveau génotype Boutaleb qui valorise davantage l'eau en pluvial et sous apport d'eau, avec [(T1, 49.3 kg ha⁻¹ mm⁻¹ et (T2, 39.0 kg ha⁻¹ mm⁻¹) (Volet 2 Tableau 19, Volet 2 Figure 75).

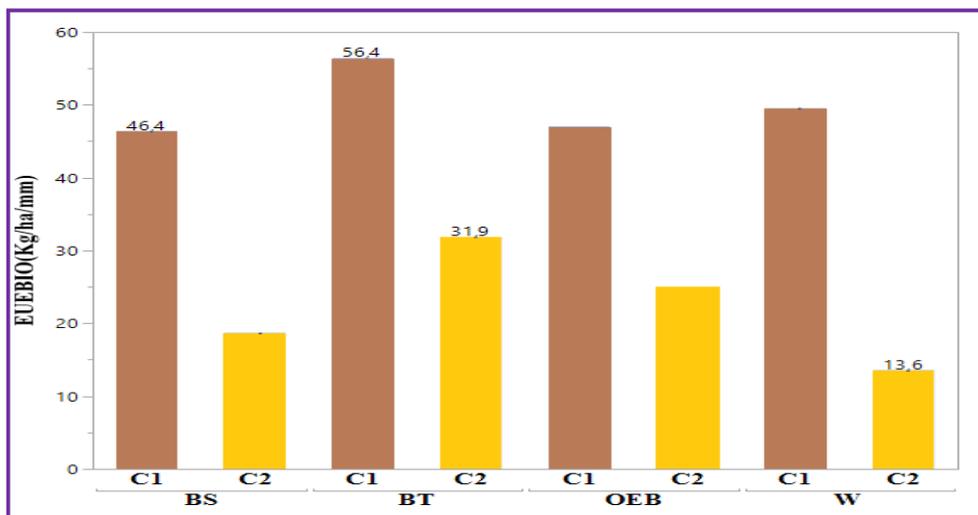


Volet 2 Figure 75. EUEBIO sous l'effet significatif de ($G \times T$)

Volet 2 Tableau 22. EUEBIO ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) sous l'effet des interactions ($G \times T$, $G \times C$, $G \times E$, $T \times E$, $E \times C$ et $T \times C$)

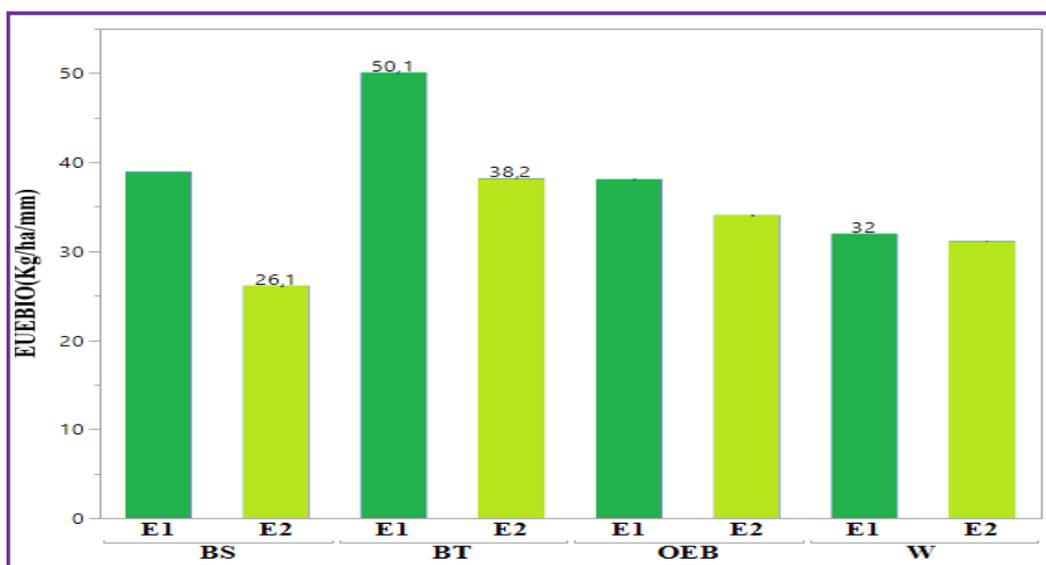
Interactions	Traitement	BT	OEB	BS	W	Ppds5%
$G \times T$	T1	49.26	37.22	36.52	40.82	5.39
	T2	38.98	34.94	28.57	22.28	
$G \times C$	C1	56.38	47.01	46.40	49.5417	5.39
	C2	31.86	25.15	18.70	13.60	
$G \times E$	E1	50.1	38.10	38.96	31.98	5.39
	E2	38.2	34.06	26.13	31.13	
Interactions		E1		E2		
$T \times E$	T1	48.07		33.83		3.8
	T2	31.49		30.90		
$E \times C$	C1	58.73		40.93		
	C2	20.83		23.80		
Interactions		C1		C2		
$T \times C$	T1	67.76		14.15		3.8
	T2	31.90		30.48		

A la réponse interannuelle pour l'EUEBIO, le nouveau génotype Boutaleb domine en efficacité d'utilisation de l'eau pour la BIO [$56,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ (Tableau 19, Figure 76)]. L'EUEBIO sous $G \times C$ est décrite selon l'ordre [$EUEBIO (C1, C2), BT > W > OEB > BS$].



Volet 2 Figure 76. EUEBIO sous l'interaction ($G \times C$)

L'EUEBIO sous l'action significative $G \times E$ se dessine supérieure sous l'environnement (E1) avec $50,1 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ et pour le génotype Boutaleb, réponse similaire du génotype sous E2 ($38,2 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$) (Volet 2 Tableau 19, Volet 2 Figure 77). Sous E2, BS s'est montré le moins efficace à l'égard de la réalisation de la BIO, avec $26,1 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ (Volet 2 Tableau 19, Volet 2 Figure 77).



Volet 2 Figure 77. Efficacité d'utilisation de l'eau pour la BIO ($G \times E$)

Les seuils divergents de l'EUEBIO sous l'effet significatif interactif de ($T \times E$, $E \times C$ et $T \times C$) peuvent être repérés (Volet 2 Tableau 19). Effectivement, l'EUEBIO est dépendante significativement de l'environnement (E1, E2) sous lequel est pratiquée la conduite du génotype, donc en pluvial

(T1) ou en apport d'eau (T2), la notation concerne (*TxE*). D'autre part, le même raisonnement est fondé pour appréhender les niveaux de l'EUEBIO sous *ExC* et *TxC*.

Alors, l'effet significatif de l'interaction *TxC* affiche le niveau de la valorisation du mode de conduite du génotype liée à la saison agricole, et ainsi son impact sur l'EUEBIO. En outre, significativement affectée sous *TxC*, l'EUEBIO suit un gradient décroissant de *TxE* avec, [*T1E1* > *T2E1* > *T1E2* > *T2E2*] (Volet 2 Tableau 19).

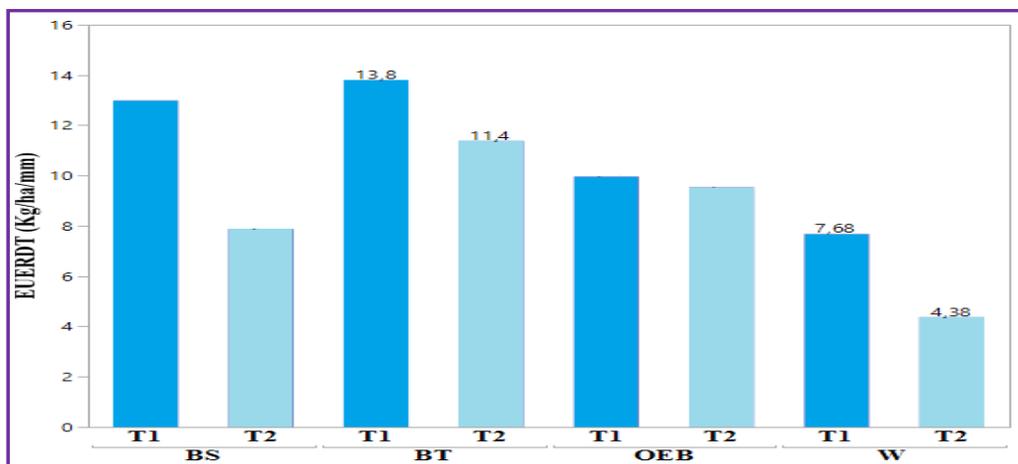
3.2. L'EUEBIO

Sous l'effet significatif des interactions [*(GxT)*, (*GxC*), (*GxE*), (*TxE*), (*ExC*), (*TxC*)], l'EUEBIO varie notablement liée à l'effective valorisation de l'eau sous la combinaison des facteurs qui interfèrent. En effet, ces conséquences sont celles engendrées par les interactions et décrites par leurs valeurs (Volet 2 Tableau 20).

Volet 2 Tableau 23. EUEBIO ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) sous l'effet des interactions (*GxT*, *GxC*, *GxE*, *TxE*, *ExC* et *TxC*)

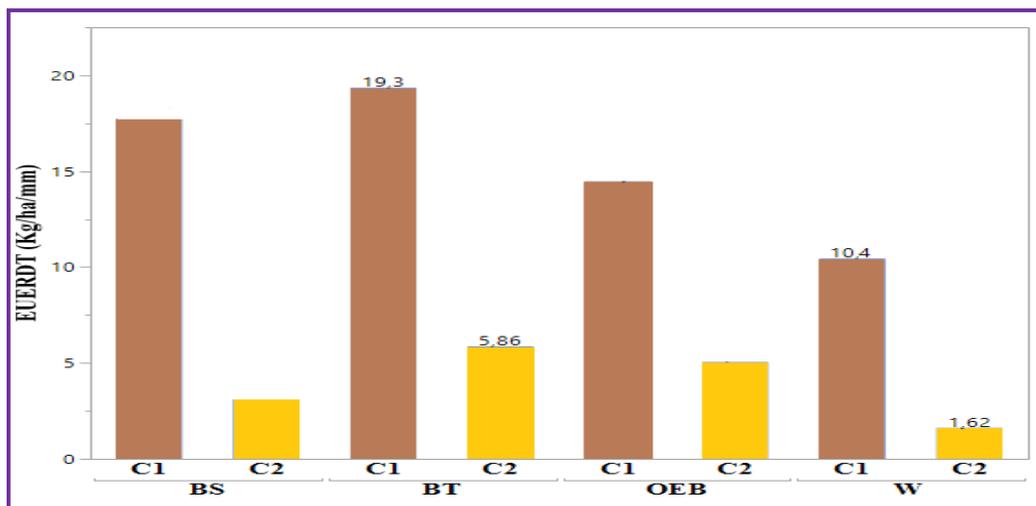
Interactions	Traitement	BT	OEB	BS	W	Ppds5%
<i>GxT</i>	T1	13.81	9.97	12.99	7.68	1.82
	T2	11.40	9.54	7.88	4.38	
<i>GxC</i>	C1	19.34	14.5	17.73	10.44	1.82
	C2	5.86	5.04	3.14	1.62	
<i>GxE</i>	E1	18.1	11.91	16.41	6.93	1.82
	E2	7.13	7.6	4.47	5.13	
Interactions		E1		E2		
<i>TxE</i>	T1	16.30		5.92		1.3
	T2	10.36		6.24		
<i>ExC</i>	C1	23.17		7.83		1.3
	C2	3.5		4.33		
Interactions		C1		C2		
<i>TxC</i>	T1	20.5500		1.67500		1.3
	T2	10.4417		6.15417		

Ainsi, sous *GxT*, Boutaleb valorise mieux l'eau en conditions pluviale et irriguée, avec respectivement 13,8 et 11,4 $\text{kg mm}^{-1} \text{ha}^{-1}$. Toutefois, le niveau de l'EUEBIO sous l'influence de l'interaction *GxT* est décrit selon le classement [*EUEBIO (T1, T2), BT > BS > OUB > W*] (Tableau 20, Figure 78).



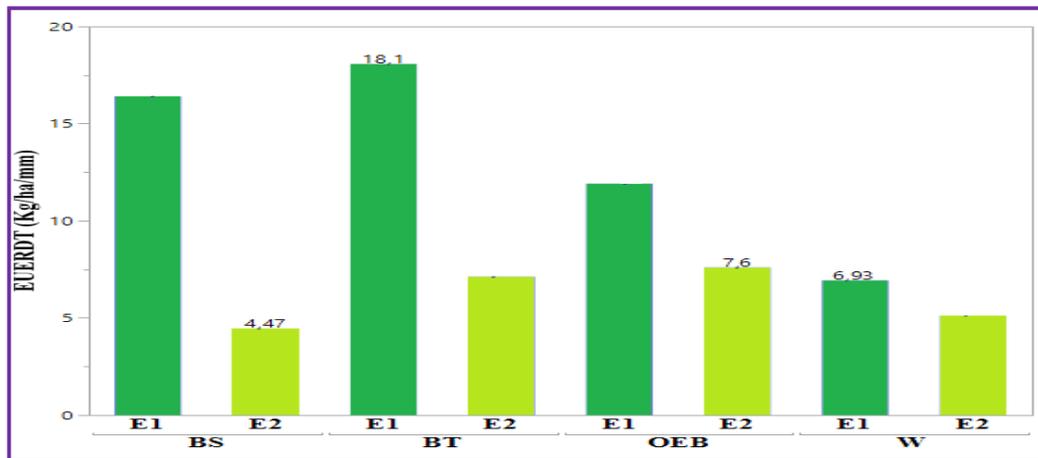
Volet 2 Figure 78. EUERDT sous l'effet significatif sous l'interaction ($G \times T$)

Testés à la réponse $G \times C$ pour l'EUERDT, les génotypes demeurent aussi divergents, donc présentent des valeurs de l'efficience en eau significativement différentes. Ainsi, Boutaleb se positionne en s'octroyant la valorisation de l'eau pour RDT lors de la C1, celle de la campagne agricole 2018/2019. Par contre, Waha apparaît moins efficient, en percevant une différence supérieure à $8 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ (Volet 2 Figure 79).



Volet 2 Figure 79. EUERDT sous ($G \times C$)

L'effet significatif de l'interaction $G \times E$ sur l'EUERDT détermine que la valorisation de l'eau se révèle supérieure sous l'environnement E1 avec $18,1 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ et pour le nouveau génotype Boutaleb. Cependant, sous les conditions de l'environnement E2, c'est Oued El Bared qui semble se distinguer par une efficience d'utilisation de l'eau distinguée avec $7,6 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ (Volet 2 Figure 80). Toutefois, les résultats révèlent que Waha sous l'environnement E1 s'acquiert la faible valeur ($6,93 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$). Tandis, que Boussel se montre moins efficient sous E2 (Volet 2 Tableau 20, Volet 2 Figure 80).



Volet 2 Figure 80. EUERDT sous l'interaction (*GxE*)

Les indications de l'effet significatif des interactions (*TxE*, *ExC* et *TxC*) pour l'EUERDT sont notées (Volet 2 Tableau 20). Effectivement, sous l'effet (*TxC*), l'efficacité d'utilisation d'eau pour RDT est décrite selon l'ordre [*T1C1* > *T2C1* > *T2C2* > *T1C2*] (Volet 2 Tableau 20).

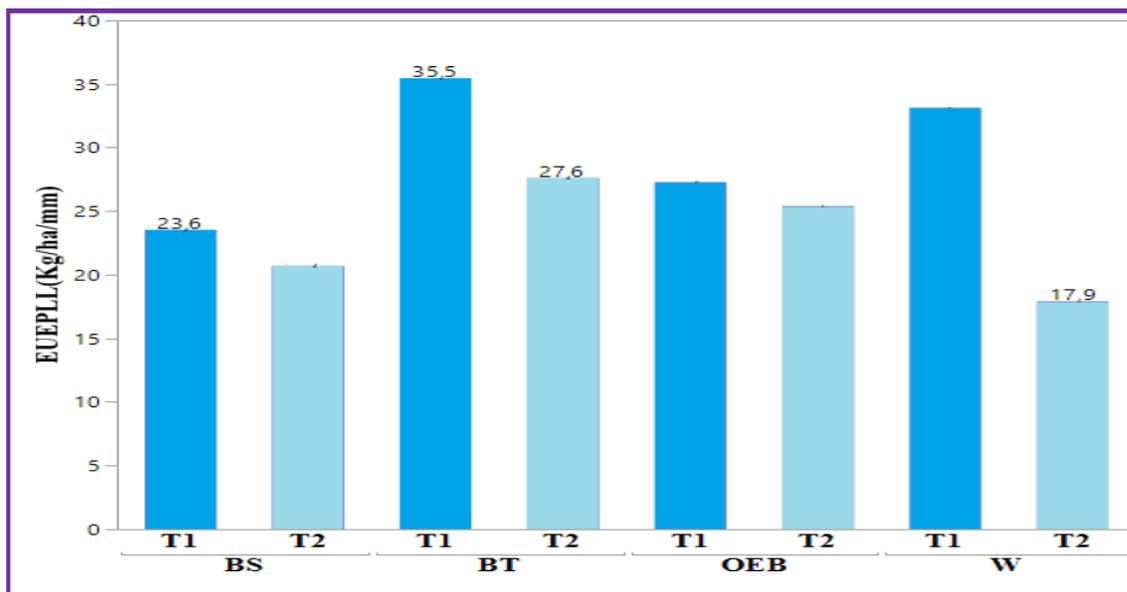
3.3. L'EUEPLL

L'effet de l'interaction *GxT* démêle la variation génotypique sous l'effet de l'apport d'eau pour la composante EUEPLL. Les résultats confirment le rang efficient du nouveau génotype l'EUEPLL. La suggestion est valable en conditions d'apport d'eau et en pluvial. Oued El Bared est intermédiaire, alors que Bousselem se dessine avec $23,6 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ sous T1. Waha, avec $17,9 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ sous T2, se dévoile moins efficient (Volet 2 Tableau 21, Volet 2 Figure 81).

\$

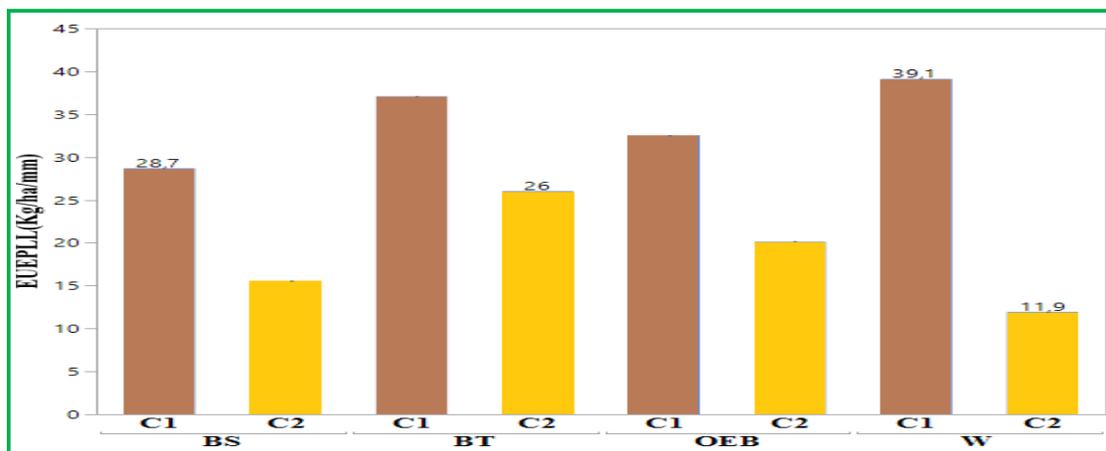
Volet 2 Tableau 24. EUEPLL ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) sous l'effet des interactions (*GxT*, *GxC*, *GxE*, *TxE*, *ExC* et *TxC*)

Interactions	T	BT	OEB	BS	W	Ppds5%
<i>GxT</i>	T1	35.46	27.28	23.55	33.13	5.2
	T2	27.62	25.38	20.71	17.89	
<i>GxC</i>	C1	37.10	32.54	28.68	39.10	5.2
	C2	26.02	20.13	15.60	11.93	
<i>GxE</i>	E1	32.02	26.21	22.57	25.03	5.2
	E2	31.06	26.46	21.69	26.0	
		E1		E2		Ppds5%
<i>TxE</i>	T1	31.7833		27.9292		3.7
	T2	21.1292		24.6708		
<i>ExC</i>	C1	35.58		33.10		3.7
	C2	17.33		19.5		
		C1		C2		
<i>TxC</i>	T1	47.23		12.48		3.8
	T2	21.46		24.34		



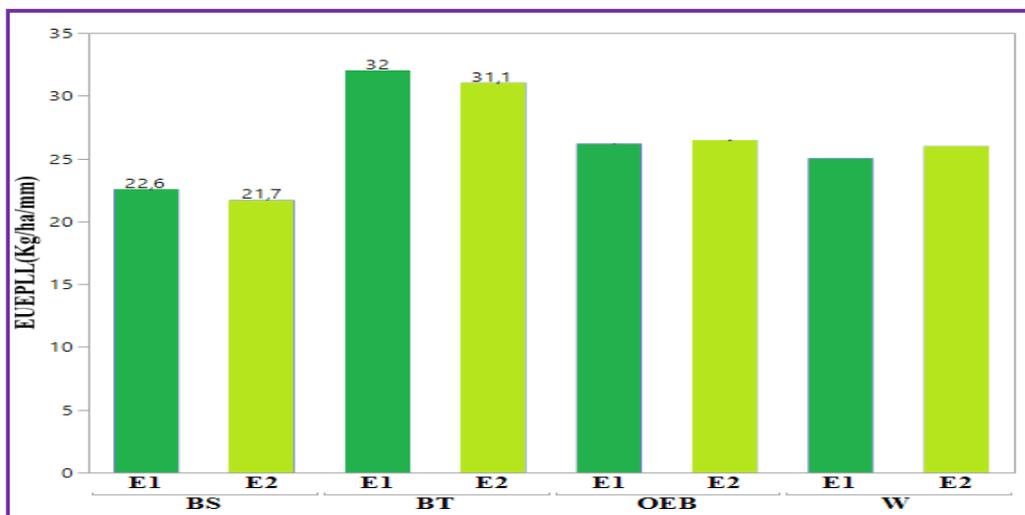
Volet 2 Figure 81. EUEPLL sous l'effet interactif *GxT* significatif

Sous les variations des campagnes agricoles, le matériel végétal se repère variable. Ainsi, sous $G \times C$, la variabilité de l'interdépendance est confirmée. Significativement, le génotype manifeste une réponse variable pour la valorisation de l'eau pour réaliser de la paille. Alors, sous $G \times C$, le génotype Waha conduit lors de la saison agricole de 2018/2019 s'est trahi par $39,1 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$. Le gradient d'estimation se dessine par $\text{EUEPLLW} > \text{EUEPLLBT} > \text{EUEPLLOEB} > \text{EUEPLLBS}$, donc Bousselem se situe avec $28,7 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$). Cependant, Boutaleb se délègue efficient lors de la seconde campagne agricole (Volet 2 Tableau 21, Volet 2 Figure 82).



Volet 2 Figure 82. EUEPLL sous l'effet significatif de l'interaction ($G \times C$)

La variation de l'EUEPLL sous $G \times E$ décèle le degré d'efficience à l'eau pour réaliser de la paille, en fonction de la réaction du génotype aux caractéristiques de l'environnement. La différence moyenne de l'EUEPLL entre les génotypes est variable sous $G \times E$. Ainsi, sous E1 et E2, Boutaleb se découvre avec $32,0 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ et $31,1 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ (Volet 2 Tableau 21, Volet 2 Figure 83). Toutefois, OEB et Waha se placent similaires; mais Bousselem se décèle relativement moins efficient et sous E1 et E2.



Volet 2 Figure 83. EUEPLL sous l'interaction ($G \times E$) ($P_{pds5\%} = 5.2$)

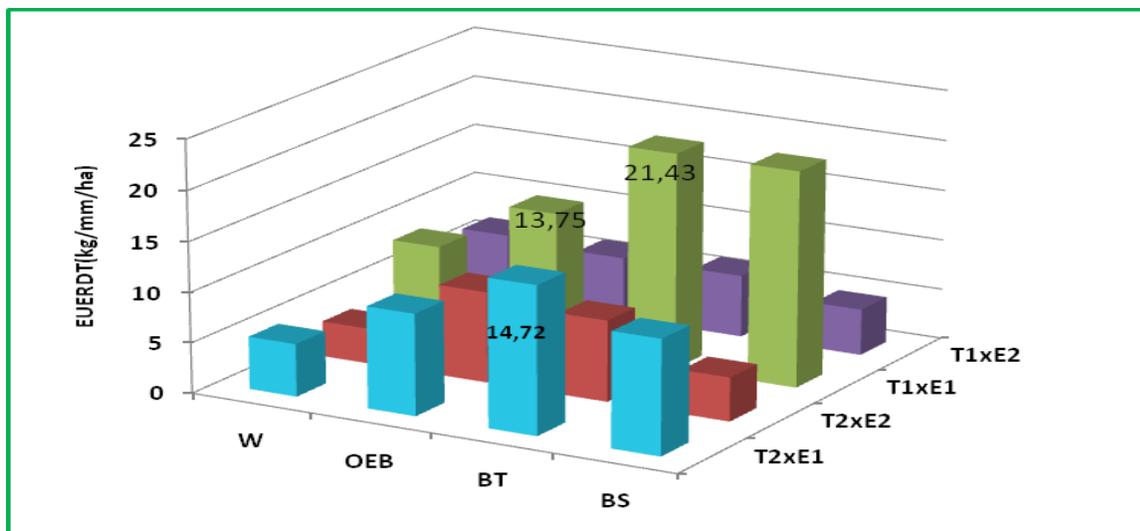
Significativement affectée sous $T \times E$, la valeur de l'EUEPLL est distincte aux conditions de l'environnement E1 sous le traitement T1 (Volet 2 Tableau 21). Aussi, l'EUEPLL moyenne est sous la dépendance de l'effet de $E \times C$, les éléments caractéristiques de la campagne s'interceptent avec celles de l'environnement, se répercutant ainsi sur l'EUEPLL. Les niveaux relatifs à ces paramètres se lisent en fonction de $T1 \times C1$, $T1 \times C2$ et $T2 \times C1$, $T2 \times C2$ (Volet 2 Tableau 21).

4. L'EUE sous l'interaction de trois et de quatre facteurs

Le test statistique de l'analyse de variance reflète la variabilité significative de l'EUE pour les trois caractères mesurés de la productivité sous le seuil significatif de l'effet de la combinaison à trois et à quatre facteurs étudiés. Ainsi, la description des combinaisons à effets significatifs est notée en fonction de la variable étudiée [1) $T \times E \times C$ (EUEBIO, EUERDT et EUEPLL), 2) $G \times T \times C$ (EUEBIO, EUERDT), 3) $G \times E \times C$ (EUEBIO, EUERDT), 4) $G \times T \times E$ (EUERDT) et 5) $G \times T \times E \times C$ (EUERDT)] (Volet 2 Tableau 18).

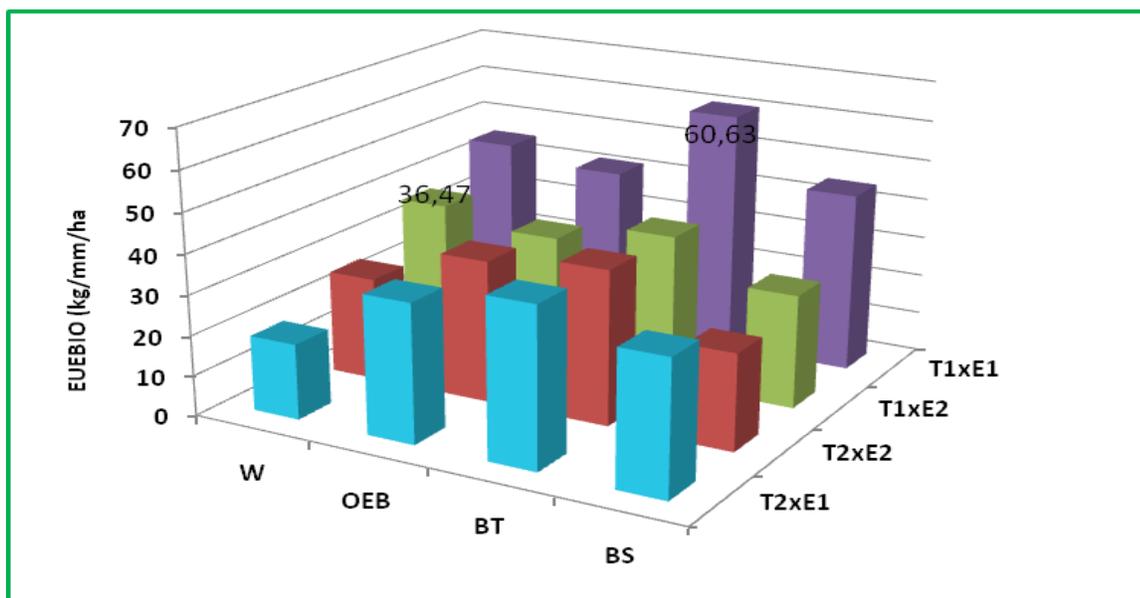
4.1. La productivité de l'eau sous l'effet $G \times T \times E$

L'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire la biomasse aérienne, le rendement grain et de la paille sous l'interférence des facteurs par $G \times T \times E$, est significativement variable pour la composante RDT (Volet 2 Tableau 18). Ainsi, l'EUERDT varie de $21.4 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ [(BT, BS) $\times T1 \times E1$] à $3.52 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ [(W $\times T2 \times E2$)]. Cependant, OEB avec $13.5 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ [(OEB $\times T1 \times E1$)] est considérée efficace, par sa position au sein du groupe. Toutefois la moyenne des quatre interactions de $T \times E$ relative à l'EUE caractéristique de chacun des génotypes suit le niveau [(BT, 12.6) > (10.44, BS) > (OEB, 9.76) > (W, 6.03)] (Volet 2 Figure 84).



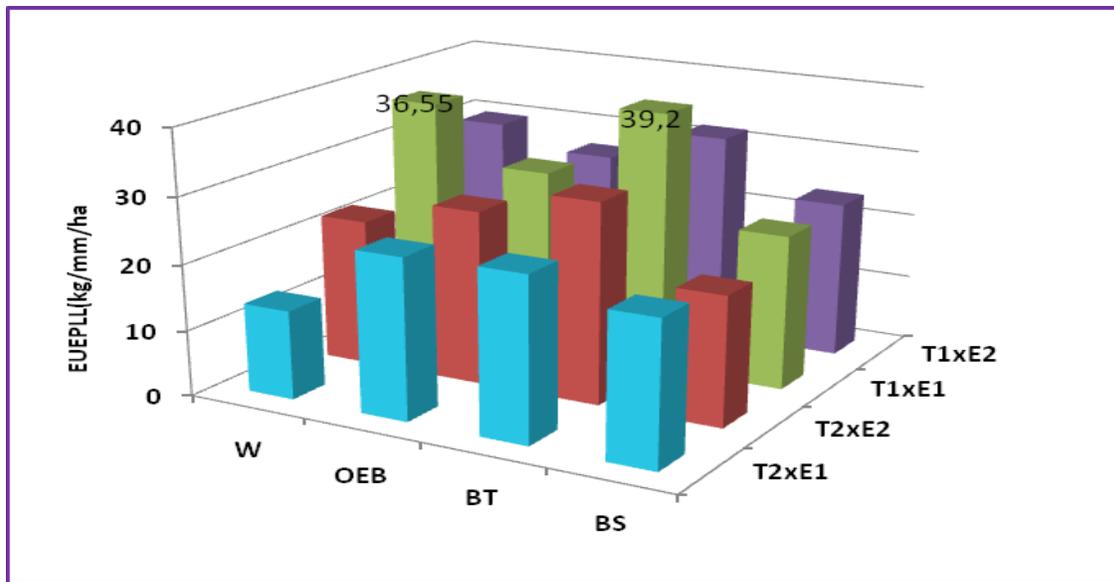
Volet 2 Figure 84. EUEBDT sous l'effet significatif $G \times T \times E$

Cependant la réponse des génotypes à l'EUEBIO, varie de $60.63 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ [(BTxT1xE1)] à $18.78 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ [(WxT2xE1)]. Cependant, Waha se place en seconde position sous T1xE1, en s'attribuant $45.2 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$. Néanmoins, l'EUEBIO moyenne dessine l'enchaînement [(BT, $60.63 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$) > (W, 45.2) > (BS, 44.75) > (OEB, 41.75)]. Toutefois, il s'avère utile de noter l'EUE moyenne par génotype, avec [(BT, $44.12 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$) > (OEB, 36.1) > (BS, 32.56) > (W, 31.56)] (Volet 2 Figure 85).



Volet 2 Figure 85. EUEBIO sous l'effet interactif $G \times T \times E$ (Ppds5% = 7.62)

L'EUEPLL prend des valeurs de [($39.2 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$, BTxT1xE1)] à ($13.52 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ (WxT2xE1)]. La moyenne pour le génotype se dessine par [(BT, $31.5 \text{ kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$), (OEB, 26.3), (W, 25.5), à (BS, 22.1)] (Volet 2 Figure 86).



Volet 2 Figure 86. EUEPLL sous l'effet interactif $G \times T \times E$ ($P_{pds5\%} = 7.4$)

4.2. La productivité de l'eau sous l'effet $G \times ExC$

4.2.1. EUEBIO sous $G \times ExC$

L'effet significatif de $G \times ExC$ sur l'EUEBIO génère une moyenne de 36.08 pour les quatre génotypes testés sous quatre combinaisons de $G \times ExC$ (Volet 2 Tableau 22). En fonction de l'effet ExC , les valeurs révèlent une variation moyenne de l'EUEBIO génotypique de [58.73 $kgmm^{-1}ha^{-1}$ ($E1 \times C1$) à 20,84 $kgmm^{-1}ha^{-1}$ ($E1 \times C2$)] (Volet 2 Tableau 22). Par ailleurs, le génotype BT se déploie efficient par 72.55 $kgmm^{-1}ha^{-1}$ sous $E1 \times C1$. Sous $E1 \times C1$, waha se classe moins valorisant pour produire de la biomasse aérienne (Volet 2 Tableau 22).

Volet 2 Tableau 25. EUEBIO sous $G \times ExC$

ExC	W	OEB	BT	BS	Moy.
$E1 \times C1$	50,53	52,12	72,55	59,73	58,73
$E1 \times C2$	13,42	24,1	27,62	18,2	20,84
$E2 \times C1$	48,55	41,9	40,22	33,05	40,93
$E1 \times C1$	13,7	26,22	36,1	19,2	23,81
Moy.	31,55	36,09	44,12	32,55	36,08

4.2.2. EUERDT sous $G \times ExC$

Pour réaliser le rendement grain, la valorisation des génotypes s'annonce divergente

significativement (Volet 2 Tableau 18). En effet, l'EUERDT s'affiche avec 28.8 kgmm⁻¹ha⁻¹ pour Bousselem qui se positionne valorisant sous *E1xC1*. La faible Efficience est celle du génotype Waha (*E2xC2*) (Volet 2 Tableau 23).

Volet 2 Tableau 26. EUERDT (kgmm⁻¹ha⁻¹) sous *GxExC*

<i>ExC</i>	W	OEB	BT	BS	Moy.
<i>E1xC1</i>	12,35	19,52	31	28,8	22,92
<i>E1xC2</i>	1,5	4,3	5,2	3,02	3,51
<i>E2xC1</i>	8,53	9,42	7,68	5,67	7,83
<i>E2xC2</i>	1,72	5,78	6,6	3,3	4,35
Moy.	6,03	9,76	12,62	10,20	9,65

4.2.3. EUEPLL sous *GxExC*

La moyenne de l'EUEPLL des génotypes est 26.4 kgmm⁻¹ha⁻¹ sous *ExC*. BT s'affiche supérieur avec 41.6 kgmm⁻¹ha⁻¹. L'effet non appréciable *ExC* s'enchaîne pour l'EUEPLL réalisée par les génotypes (*E1xC1* > *E2xC1* > *E2xC2* > *E1xC2*) (Volet 2 Tableau 24).

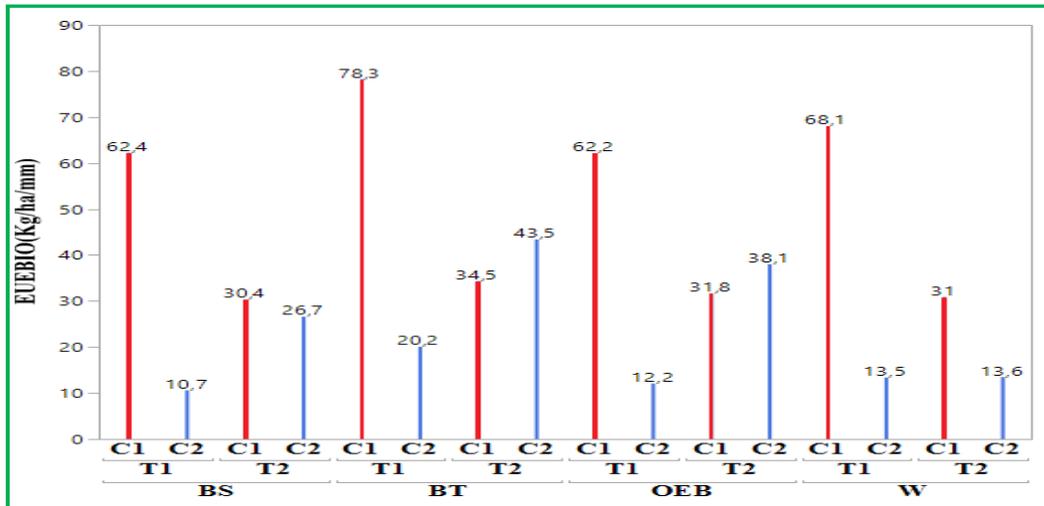
Volet 2 Tableau 27. EUEPLL sous *GxExC* (Ppds5%=7.4)

<i>ExC</i>	W	OEB	BT	BS	Moy.
<i>E1xC1</i>	38,2	32,62	41,6	30	35,61
<i>E1xC2</i>	11,9	19,8	22,46	15,2	17,34
<i>E2xC1</i>	40	32,47	32,55	27,4	33,11
<i>E2xC2</i>	12	20,45	29,6	16	19,51
Moy.	25,53	26,34	31,55	22,15	26,39

4.3. La productivité de l'eau sous l'effet *GxTxC*

4.3.1. EUEBIO sous *GxTxC*

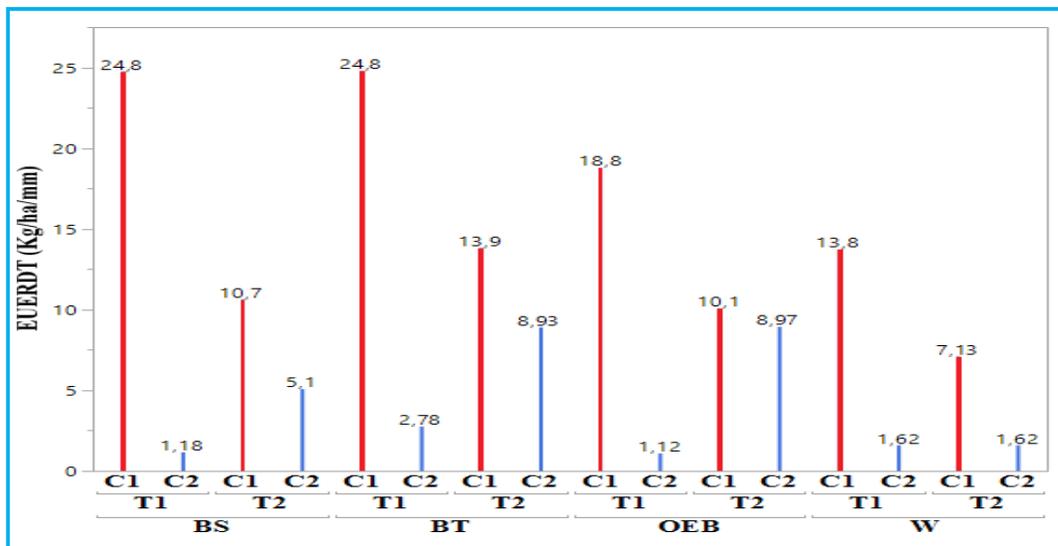
La composante de l'EUEBIO accuse des variations significatives sous la combinaison liée à *GxTxC*, donc en fonction du génotype, de l'apport d'eau et de la saison agricole (Volet 2 Figure 87).



Volet 2 Figure 87. L'EUEBIO sous l'effet significatif de l'interaction $G \times T \times C$

4.3.2. EUERDT sous $G \times T \times C$

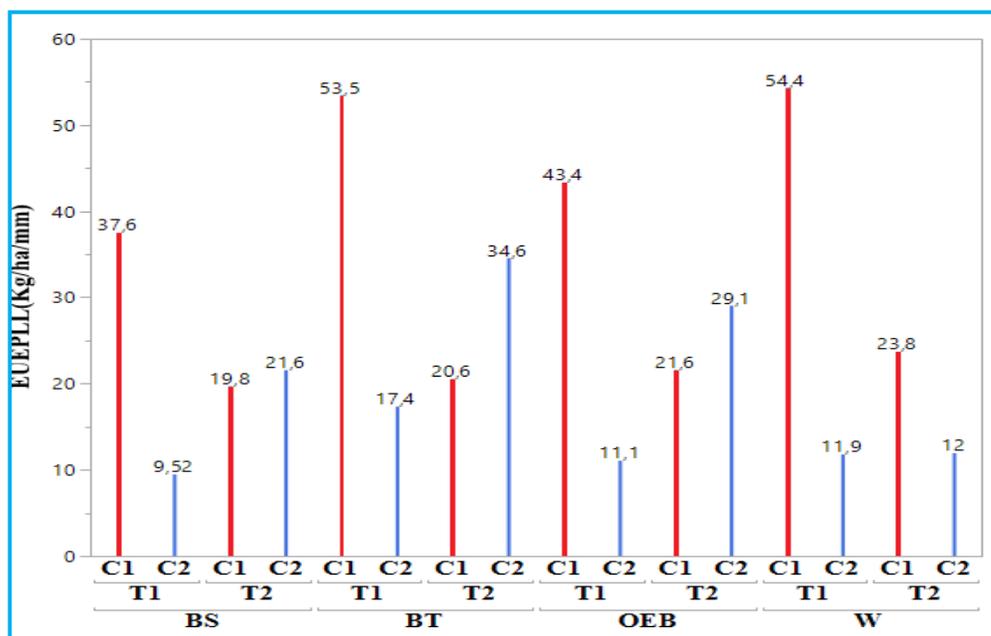
Les différences les plus expressives sur les niveaux des valeurs de l'EUERDT des génotypes en fonction des facteurs qui interagissent sont celles engendrées par la campagne agricole (Volet 2 Figure 88).



Volet 2 Figure 88. L'EUERDT sous l'effet notable de l'interaction $G \times T \times C$

4.3.3. EUEPLL sous $G \times T \times C$

La paille produite par les génotypes a été réalisée sous l'effet combiné des conditions hydriques d'alimentation en eau pour la culture et de la campagne agricole. Alors, la résultante génère un niveau de valorisation de l'eau exprimé par le génotype (Volet 2 Figure 89).



Volet 2 Figure 89. L'EUEPLL sous l'effet $GxTxExC$ ($P_{pds5\%} = 4.7$)

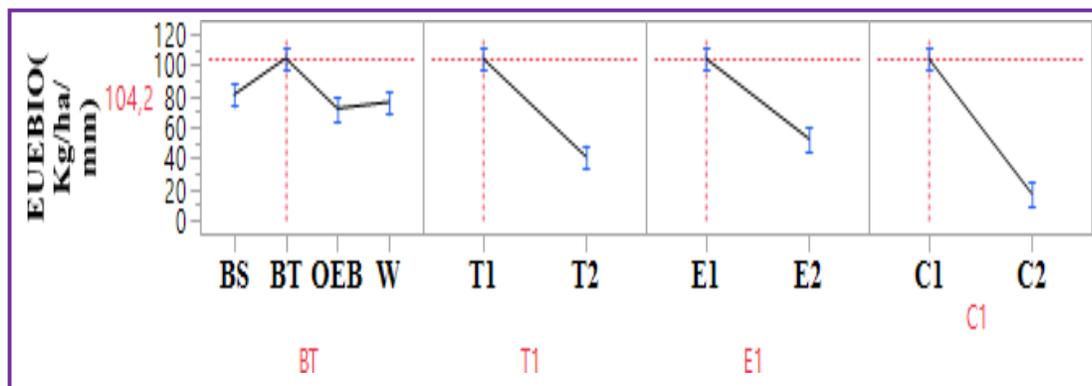
4.4. La productivité de l'eau sous l'effet $GxTxExC$

4.4.1. EUEBIO sous $GxTxExC$

L'EUEBIO sous l'interaction $GxTxExC$ des quatre facteurs étudiés se manifeste par le nouveau génotype Boutaleb qui s'exprime efficient sous apport d'eau et sous les conditions de l'environnement E1, lors de la campagne de 2018/2019 (Volet 2 Tableau 25, Volet 2 Figure 90). En effet, l'EUEBIO prend la valeur de $104.2 \text{ kgmm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ sous l'interaction ($BT, T1, E1, C1$).

Volet 2 Tableau 28. EUEBIO ($\text{kgmm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) sous $GxTxExC$

$GxTxExC$	EUEBIO	$GxTxExC$	EUEBIO
BS,T1,E1,C1	80,9	OEB,T1,E1,C1	72,0
BS,T1,E1,C2	8,6	OEB,T1,E1,C2	11,4
BS,T1,E2,C1	43,8	OEB,T1,E2,C1	52,4
BS,T1,E2,C2	12,7	OEB,T1,E2,C2	12,9
BS,T2,E1,C1	38,5	OEB,T2,E1,C1	32,2
BS,T2,E1,C2	27,7	OEB,T2,E1,C2	36,7
BS,T2,E2,C1	22,3	OEB,T2,E2,C1	31,3
BS,T2,E2,C2	25,6	OEB,T2,E2,C2	39,5
BT,T1,E1,C1	104,2	W,T1,E1,C1	76,1
BT,T1,E1,C2	17,03	W,T1,E1,C2	14,2
BT,T1,E2,C1	52,4	W,T1,E2,C1	60,2
BT,T1,E2,C2	23,3	W,T1,E2,C2	12,7
BT,T2,E1,C1	40,8	W,T2,E1,C1	25,0
BT,T2,E1,C2	38,2	W,T2,E1,C2	12,5
BT,T2,E2,C1	28,03	W,T2,E2,C1	36,9
BT,T2,E2,C2	48,8	W,T2,E2,C2	14,6



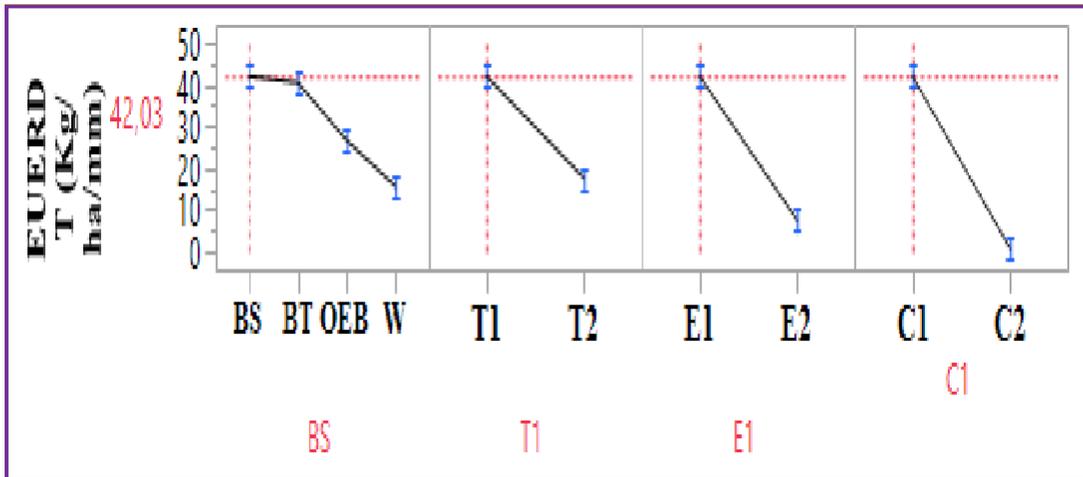
Volet 2 Figure 90. L'EUEBIO sous $BT \times T1 \times E1 \times C1$

4.4.2. EUERDT sous $GxTxExC$

L'élaboration de rendement grain recommande une valorisation de l'eau qui est fonction de nombreux facteurs et des interactions qui s'y produisent. Ainsi sous $GxTxExC$, le génotype témoins Bousselem (BS) sous $BS \times T1 \times E1 \times C1$ valorise l'EUERDT en pluvial (Volet 2 Tableau 26, Volet 2 Figure 91).

Volet 2 Tableau 29. EUERDT sous l'effet de l'interaction $GxTxExC$

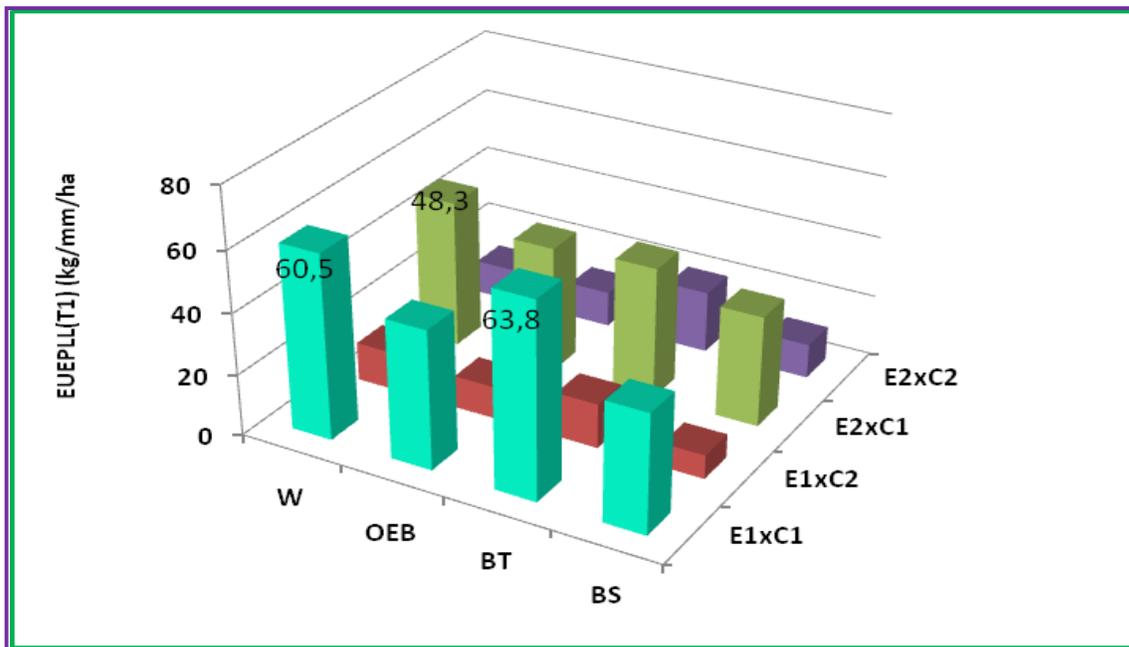
$GxTxExC$	EUERDT ($kg^1mm^{-1}ha^{-1}$)	$GxTxExC$	EUERDT
BS,T1,E1,C1	42,03	OEB,T1,E1,C1	26,6
BS,T1,E1,C2	0,7	OEB,T1,E1,C2	0,8
BS,T1,E2,C1	7,5	OEB,T1,E2,C1	11
BS,T1,E2,C2	1,6	OEB,T1,E2,C2	1,3
BS,T2,E1,C1	17,5	OEB,T2,E1,C1	12,4
BS,T2,E1,C2	5,2	OEB,T2,E1,C2	7,7
BS,T2,E2,C1	3,7	OEB,T2,E2,C1	7,8
BS,T2,E2,C2	4,9	OEB,T2,E2,C2	10,2
BT,T1,E1,C1	40,4	W,T1,E1,C1	15,6
BT,T1,E1,C2	2,4	W,T1,E1,C2	1,6
BT,T1,E2,C1	9,2	W,T1,E2,C1	11,8
BT,T1,E2,C2	3,1	W,T1,E2,C2	1,6
BT,T2,E1,C1	21,5	W,T2,E1,C1	9,06
BT,T2,E1,C2	7,9	W,T2,E1,C2	1,4
BT,T2,E2,C1	6,1	W,T2,E2,C1	5,2
BT,T2,E2,C2	9,9	W,T2,E2,C2	1,8



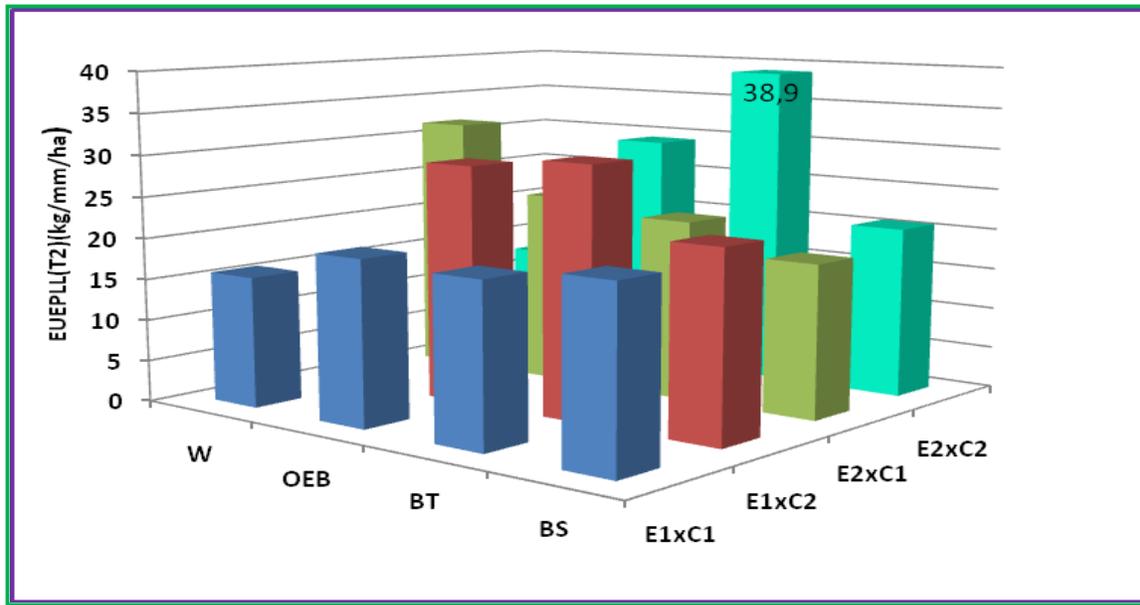
Volet 2 Figure 91. L'EUEPDT sous $BS \times T1 \times E1 \times C1$

4.4.3. EUEPLL sous $G \times T \times E \times C$

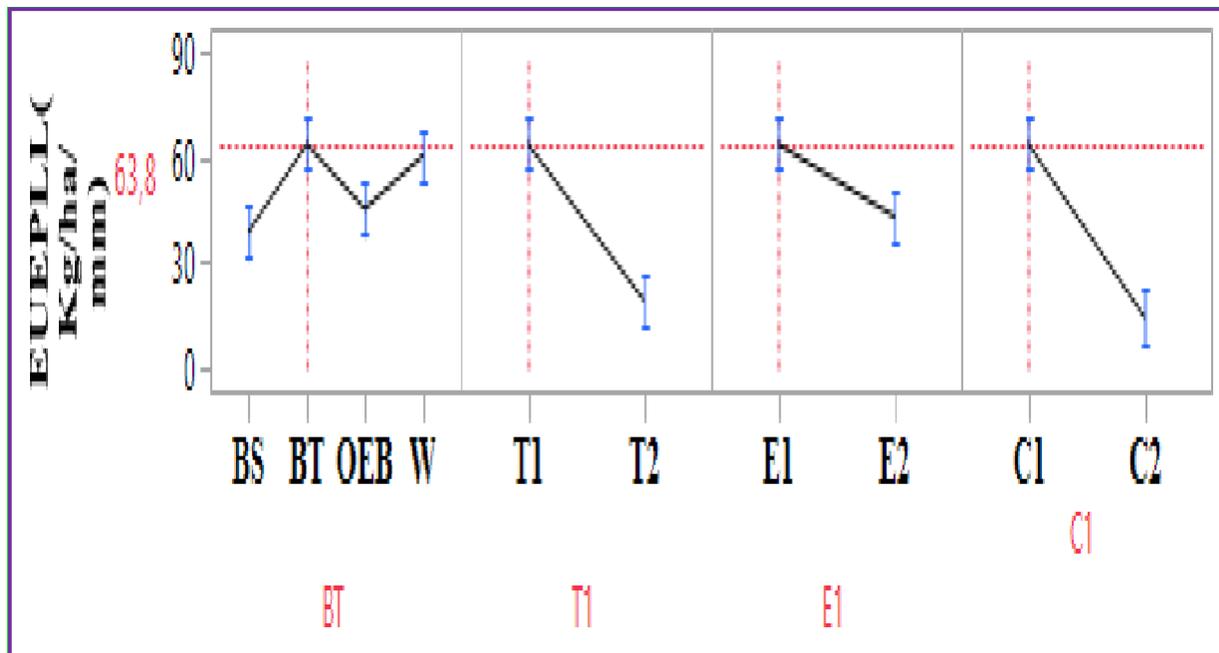
Les réponses de l'EUEPLL chez les génotypes sous l'effet de huit combinaison pour chaque génotype, sont générées par $G \times T \times E \times C$. Alors, le nouveau génotype Boutaleb s'affiche valorisant en eau pour réaliser de la paille, en condition pluviale sous l'environnement E1 et lors de la saison agricole C1. Les réponses génotypiques à l'EUEPLL en condition pluviale, sous apport d'eau sont mentionnées (Volet 2 Figures 92, 93 et 94).



Volet 2 Figure 92. EUEPLL sous l'effet $G \times T1 \times E \times C$



Volet 2 Figure93. L'EUEPLL sous GxT2xExC



Volet 2 Figure 94. L'EUEPLL sous GxTxExC

Volet 3. Associations Végétales Conduites en Pluvial et en Apport d'Eau, en Environnement Semi-Aride

1. Effet facteurs étudié sur les paramètres mesurés

Effet compagne agricole

Les composantes de rendement des Associations végétales

1. Hauteur, nombre de grains par épi et gousses par plant, poids des épis et des gousses, et le poids de mille grains (PMG, g)

La composante regroupe les hauteurs des céréales et des légumineuses (H_c et H_l , cm), le nombre de grains par épi et par plant (NGE et NGP), le poids des épis et des gousses (PE et PG, g), et le PMG (PMG_c et PMG_l, g).

L'analyse statistique de la variance des composantes de rendement des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), au cours de deux campagnes agricole (C), révèle que pour les céréales, la hauteur (H_c) est significativement affectée sous l'effet des trois facteurs étudiés (AS , T , C), et les interactions [$(AS \times C)$, et $(AS \times T \times C)$], le NGE diffère significativement sous l'effet des facteurs (AS , T , et C) et celui des interactions [$(AS \times C)$, et $(AS \times T \times C)$], il ne l'est pas pour les interactions [$(AS \times T)$, et $(T \times C)$] (Volet 3 Tableau1). Cependant, pour la légumineuse (*Vicia sativa*), la hauteur du plant (H_l) diffère significativement en fonction de AS , et de [$(AS \times T)$, et $(AS \times C)$], elle ne l'est pas sous [(T , C) ; $(T \times C)$, $(AS \times T \times C)$] (Volet 3 Tableau1). Le nombre de gousses par plant (NGP), diffère significativement sous [(AS), $(T \times C)$, et $(AS \times T \times C)$], et ne les pas sous [(T , C) ; $(AS \times T)$, et $(T \times C)$] (Volet 3 Tableau1).

Par ailleurs, le poids des épis (PE) est variable significativement sous [(AS , T); $(AS \times T)$], et non affecté à l'égard de [(C); $(AS \times C)$, $(T \times C)$ et $(AS \times T \times C)$]. Alors que, le poids de mille grains (PMG_c) diverge significativement sous l'AS, il ne l'est pas sous [(T , C), $(AS \times T)$, $(AS \times C)$ et $(T \times C)$]; $(AS \times T \times C)$] (Volet 3 Tableau 2). D'autre part, les tests statistiques du poids des gousses (PG) donnent un effet significatif sous [(AS , C), $(AS \times T)$, $(T \times C)$, et $(AS \times T \times C)$], et non variable sous l'action [(T); $(AS \times C)$]. Aussi le PMG de la légumineuse diffère significativement sous [(AS , C), et $(AS \times T)$], il n'apparaît pas variable significativement sous [(T); $(AS \times C)$, $(T \times C)$, et $(AS \times T \times C)$] (Volet 3 Tableau 2).

Volet 3 Tableau 1. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des composantes de rendement des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), et campagnes agricoles (C) et des interactions [(AS x T, AS x C, T x C) et (AS x T x C)]

Source	ddl	Hc	H _l	NGE	NGP
Association (AS)	1	7442,61***	320,85**	1160,33***	285,18***
Traitement (T)	1	268,38***	1,43 ^{ns}	126,75***	1,68 ^{ns}
Compagne (C)	1	1253,58***	39,42 ^{ns}	154,08***	0,18 ^{ns}
AS x T	1	8,58 ^{ns}	314,67*	14,08 ^{ns}	0,02 ^{ns}
AS x C	1	1643,85***	199,67*	70,08**	0,18 ^{ns}
T x C	1	33,16 ^{ns}	23,66 ^{ns}	16,33 ^{ns}	6,02**
AS x T x C	1	160,23**	0,35 ^{ns}	108***	2,52*
Résidus	32	636,29	1204,39	234,66	17,33
Total corrigé	47	23500,45	2700,18	4008,00	752,31

H=hauteur des plants (cm), NGE = nombre de grains par épi, NGP = nombre de grains par plant ; ns, * et **: effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

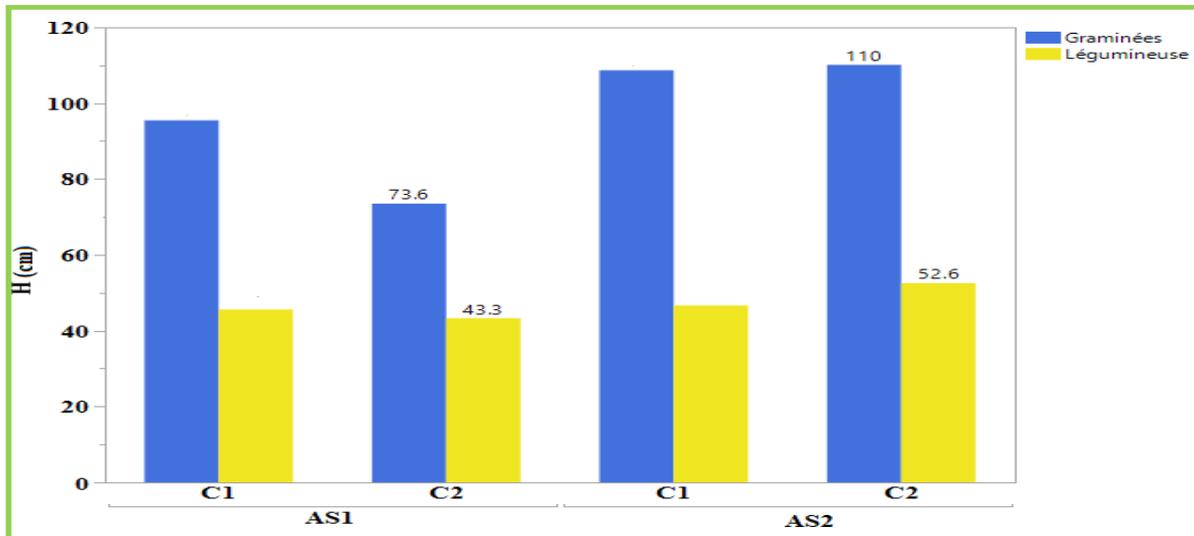
Volet 3 Tableau 2. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des composantes de rendement des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), et campagnes agricoles (C) et des interactions [(AS x T, AS x C, T x C) et (AS x T x C)]

Source	Ddl	PE	PG	PMG _c	PMG _l
Association (AS)	1	76,15***	62,99***	197,8***	6417,88***
Traitement (T)	1	8,89***	0,004 ^{ns}	9,81 ^{ns}	30,28 ^{ns}
Compagne (C)	1	0,007 ^{ns}	0,24*	0,69 ^{ns}	301,45**
AS x T	1	5,95***	0,40**	12,66 ^{ns}	303,66**
AS x C	1	0,28 ^{ns}	0,003 ^{ns}	10,08 ^{ns}	50,98 ^{ns}
T x C	1	0,02 ^{ns}	0,28*	4,55 ^{ns}	80,31 ^{ns}
AS x T x C	1	0,12 ^{ns}	0,30*	6,0 ^{ns}	19,95 ^{ns}
Résidus	32	5,97	1,44	107,92	664,49
Total corrigé	47	131,28	70,19	478,17	14832,98

PE= poids des épis (g), PG= poids des gousses (g), PMG= poids de 1000 grains (g); ns, * et **: effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

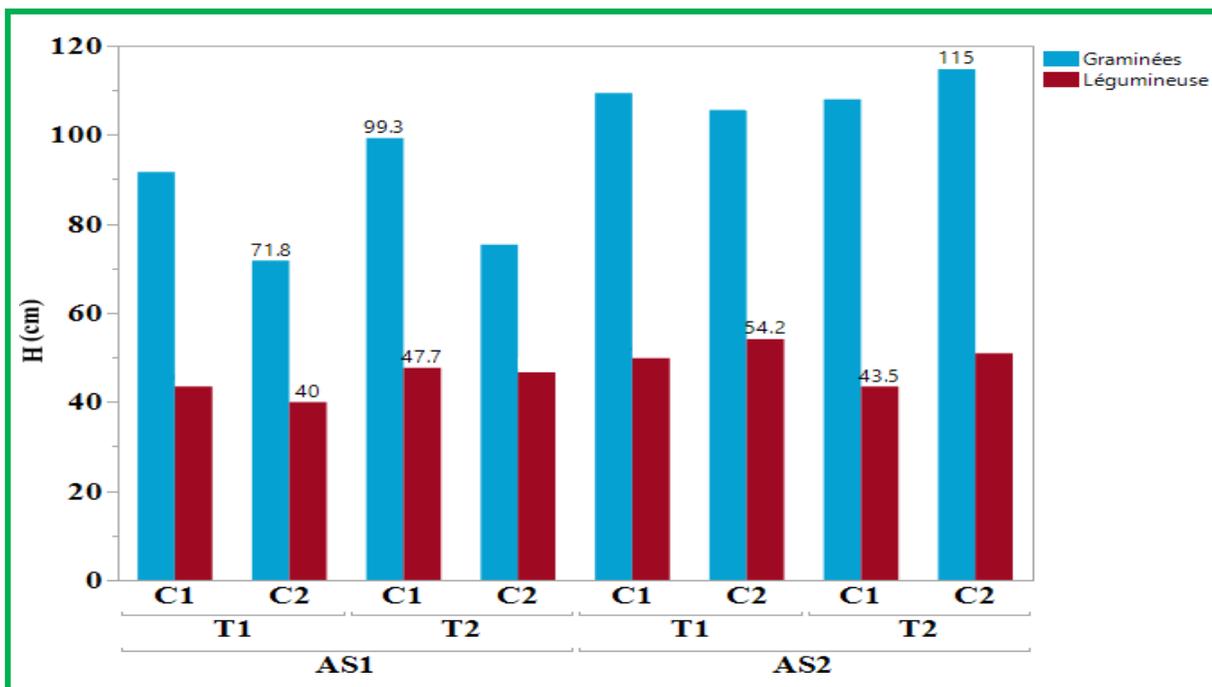
1.1. La hauteur (Hc, Hl)

Ainsi, au cours de la saison agricole (C2), sous l'interaction significative ASxC, le Triticale en (AS2) se classe plus haut, avec h=110 cm, et pour (*Vicia sativa*), h= 52,6 cm (Volet 3 Figure 1). Par contre, au cours de la même saison (C2), en AS1 la variété d'orge Fouara (*Hordeum vulgare* L.), s'est distinguée par h= 73,6 cm, et la légumineuse 43,3 cm (Volet 3 Figure 1). Les résultats déterminent l'effet différentiel régi par la variabilité des saisons.



Volet 3 Figure 1. Valeurs moyennes de la hauteur du plant sous l'effet significatif de *ASxTxC*

La hauteur du plant des associations végétales est significativement différente sous l'action interactive de *ASxTxC*. En effet, la hauteur des plants varie significativement, avec un écart de 43,2 cm entre la plus grande et la petite valeur chez les deux associations testées en fonction de l'apport d'eau au cours des campagnes agricoles. En effet, Triticale se dessine plus haut relativement à la variété d'orge Fouara (Volet 3 Figure 2).

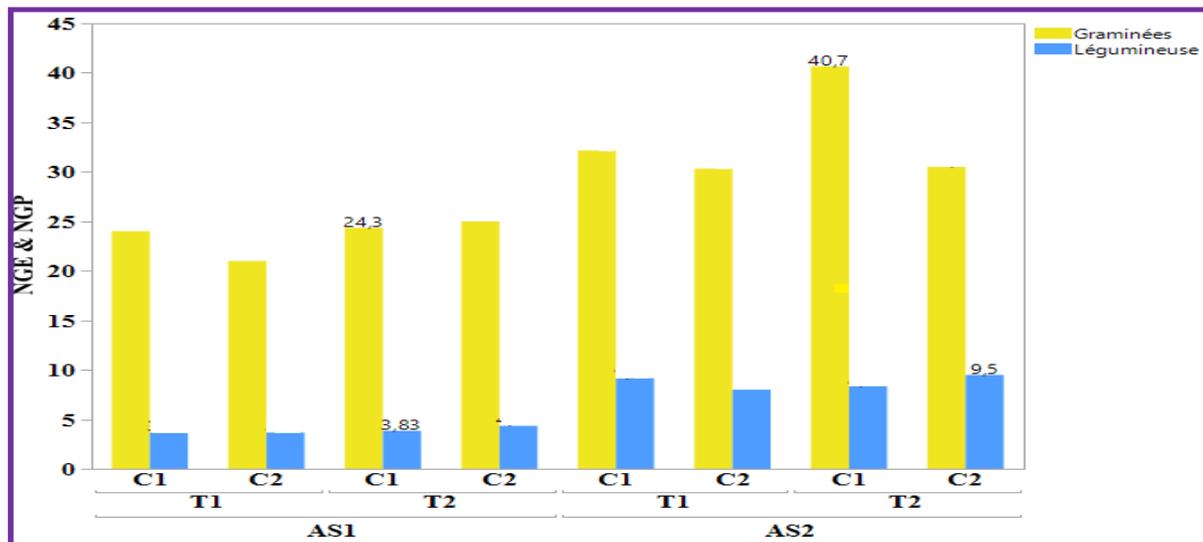


Volet 3 Figure 2. Variation de la hauteur du chaume des AS sous l'effet significatif de *ASxTxC*

1.2. Nombres de grains par épi et de gousses par plant (NGE, NGP)

Sous l'effet de l'interaction $ASxTx C$, les résultats s'affichent divergents pour NGE et NGP (Figure3). D'ailleurs, l'association $AS2$ apparaît plus performante. Toutefois, les meilleures valeurs sont réalisées sous apport d'eau et au cours de la saison agricole C1, donc sous l'effet $AS2xT2xC1$, pour Triticale $NGE= 40.7$. Et lors de la saison C2, la fertilité du plant chez *vicia sativa* s'est caractérisée par $NGP= 9.5$ (Volet 3 Figure3).

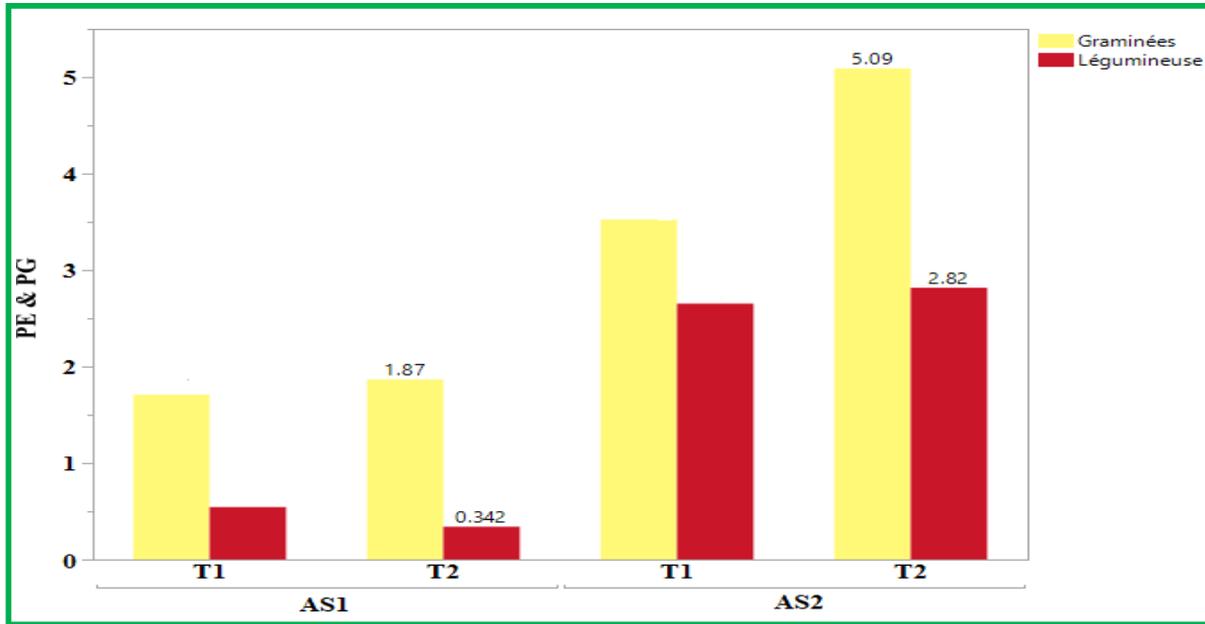
L'écart différentiel relatif à la fertilité se révèle entre les deux associations végétales $AS1$ et $AS2$, sous l'effet apport d'eau en fonction des campagnes agricoles TxC . En effet, la vesce commune (*Vicia sativa*) s'est démarquée par un plus de fertilité de 4,5 gousses (NGP) sous $AS2xT2xC2$ relativement à $AS1xT2xC1$ (Volet 3 Figure 3).



Volet 3 Figure 3. Valeurs moyennes du NGE et NGP sous l'effet significatif de $ASxTx C$

1.3. Le poids des épis et des gousses (PE et PG, g)

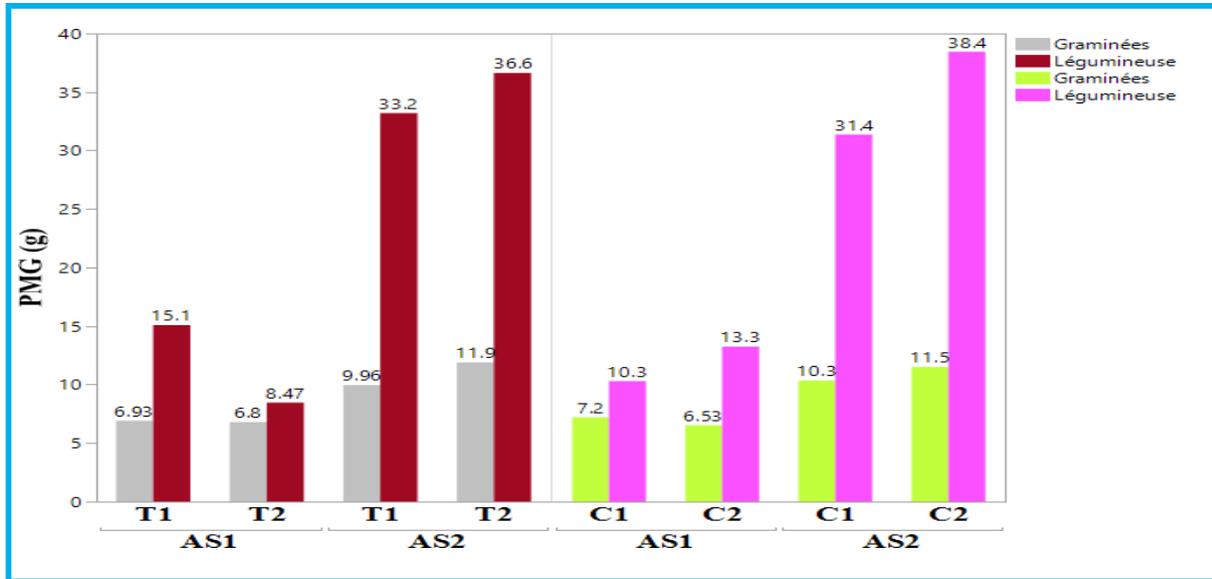
Les valeurs moyennes des poids des épis et des gousses sous l'effet de l'interaction $ASxT$ divergent en fonction de l'association (AS) et le traitement (T). L'écart est assez distinct pour PE et PG entre les $AS1$ et $AS2$ sous T1, ainsi que sous T2 (Volet 3 Figure 4). Ainsi, *vicia sativa* se révèle avec un $[(PG= 2.82g; AS2xT2) > [(PG= 0.342g; AS1xT2)]$, en revanche, associée avec Triticale, elle se montre plus valorisante. Cette suggestion est valable en conditions pluviale ou en irrigué. D'autre par, le PE caractérisant le Triticale (*Triticosecale*), variété Juanillo est supérieur à celui de la variété d'orge Fouara, c'est valable en en pluvial ou sous apport d'eau (Figure 4). Ainsi, sous T2, le Triticale exprime son PE, réalisant un écart de 3,22g comparativement à l'orge (Volet 3 Figure 4).



Volet 3 Figure 4. Valeurs moyennes des (Pe, PG; g) sous l'effet significatif de $AS \times T$

1.4. Poids de mille grains des graminées et de la légumineuse (PMGg et PMGl, g)

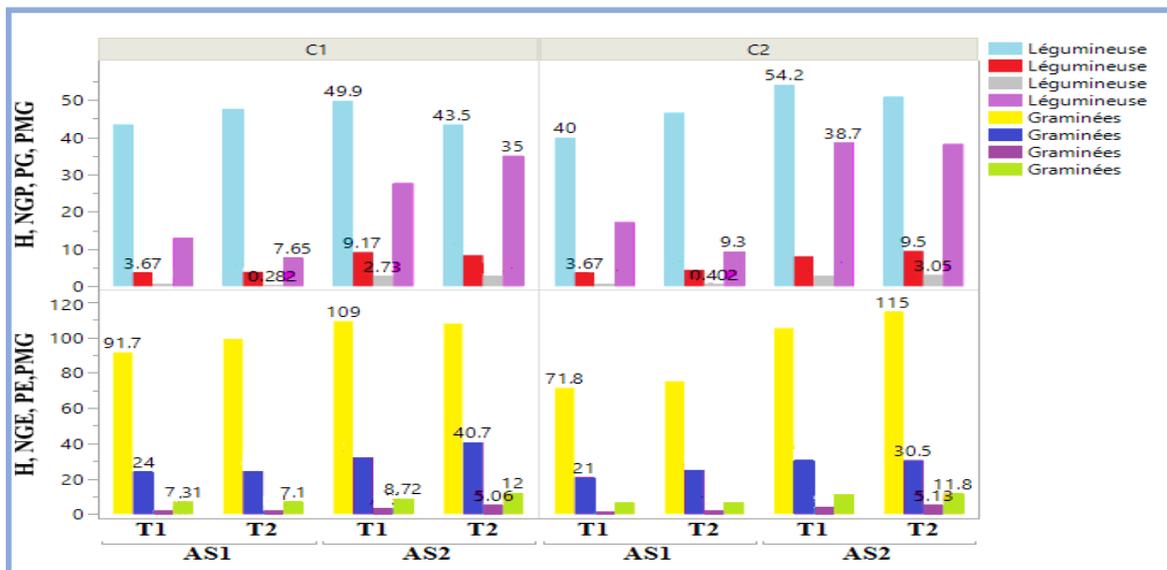
Les PMG (céréales et légumineuse) se révèlent variables selon l'association (AS). Sous $AS \times T$, le PMG des légumineuses varie notablement sous l'effet du type d'association en interaction avec T. Toutefois, l'écart expressif est celui des associations $AS2 > AS1$. Par ailleurs, la réponse est mieux déterminée pour ce caractère sous AS2 et sous conditions pluviale ou en apport d'eau (Volet 3 Figure 5). Sous l'effet de l'interaction ($AS \times C$), lors de la saison C2, l'association AS2 se pointe avec 11,5g pour Triticale et 38,4g pour la Vesce (Volet 3 Figure 5). Les valeurs les plus faibles s'attribuent à l'AS1 et pour les campagnes (C1 et C2) (Volet 3 Figure 5).



Volet 3 Figure 5. Valeurs moyennes du PMG (graminées, légumineuse) sous l'effet [(ASxT, ASxC)]

2. Synthèse de la réponse des associations végétales pour les composantes de rendement

Pour l'ensemble des composantes de rendement, l'association AS2 déterminée par [Triticale (*Triticosecale*, variété Juanillo) et la vesce commune (*Vicia sativa*)] s'avère plus valorisante. L'interaction ASxTxC génère les meilleures valeurs des caractères mesurés chez vicia sativa, avec [(H= 54,2 cm, PMG= 38,7g; T1xC2); (NG= 9,5; PG= 3,05g; T1xC2)]. Aussi, Triticale (*Triticosecale*, variété Juanillo) se révèle par les meilleures valeurs [(NGE= 40,7; PMG = 12,0g; T2xC1); (H= 115cm, PE= 5,13g; T2xC2)] (Volet 3 Figure 6).



Volet 3 Figure 6. Valeurs des composantes du rendement sous l'effet de (ASx)

L'analyse des moyennes des moindres carrées des composantes de rendement, relatives aux graminées sous l'effet (T1, T2 ; C1, C2) affiche la dominance de l'association (*Triticale x Vesce*). Les meilleures valeurs se déterminent par [(H= 111.36cm) ; (NGE= 36,4) ; (PE= 5.09), (PMG= 11,89g)] (Volet 3 Tableau 3). En fonction de la saison agricole, les valeurs les plus élevées sont [(H= 110.16cm), (NGE= 36.41), (PE= 4.37g), (PMF= 11.5g) (Volet 3 Tableau 3).

Volet 3 Tableau 3. Moyennes des moindres carrées des composantes de rendement relatives à la réponse des graminées, évaluées sous l'effet (T1, T2; C1, C2) en ASI, AS2

Caractères mesurés	Cultures	T1	T2	C1	C2
H (cm)	VxFou	81,73	87,30	95,48	73,55
	VxJua	107,48	111,36	108,68	110,16
NGE	VxFou	22,5	24,66	24,16	23
	VxJua	31,25	35,58	36,41	30,41
PE (g)	VxFou	1,71	1,86	1,87	1,69
	VxJua	3,52	5,09	4,24	4,37
PMG (g)	VxFou	6,92	6,80	7,20	6,52
	VxJua	9,95	11,89	10,34	11,5

V= vesce commune (*Vicia Sativa*), Fou=Fouara, variété d'orge (*Hordium vulgare* L.), Jua= Triticale (*Triticosecale*), variété Juanillo), VxFou= ASI, VxJua= AS2

En fonction de la campagne agricole, la Vesce se distingue par [(H= 52,56 cm); (NGP: 8,75); (PG= 2,81g); (PMG= 38,44g)] (Volet 3 Tableau 4).

Volet 3 Tableau 4. Moyennes des moindres carrées des composantes de rendement relatives à la réponse de la légumineuse *Vicia Sativa*, évaluées sous l'effet (T1, T2; C1, C2) en AS1 et AS2

Paramètres mesurés	Cultures	T1	T2	C1	C2
H (cm)	VxFou	41,71	47,18	45,58	43,31
	VxJua	52,01	47,23	46,67	52,56
NGP	VxFou	3,66	4,08	3,75	4
	VxJua	8,58	8,91	8,75	8,75
PG (g)	VxFou	0,54	0,34	0,38	0,50
	VxJua	2,65	2,81	2,65	2,81
PMG (g)	VxFou	15,09	8,47	10,30	13,25
	VxJua	33,18	36,63	31,37	38,44

Les paramètres physiologiques mesurés chez les Associations

1. Teneurs relatives en eau et en chlorophylles des céréales et de la légumineuse

L'analyse de la variance de la teneur relative en eau (TRE%), et de la chlorophylle (Chl a, Chl b et Chl (a+b)) affiche leur variabilité significative sous l'effet des facteurs étudiés [(AS: TRE, Chl a, Chl b et Chl (a+b)); (T: Chl a, Chl b et Chl (a+b)); (C: Chl (a+b)); (ASxT: TRE, Chl a, Chl b et Chl (a+b)); (ASxC: Chl a); (ASxTxC: Chl a, Chl (a+b))] (Volet 3 Tableau 5). La différence parfois est non significative pour un caractère mesuré chez les céréales.

Volet 3 Tableau 5. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres physiologiques mesurés chez les céréales cultivées en associations (AS1, AS2) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), au cours de deux campagnes (C)

Source	ddl	TRE	Chl a	Chl b	Chl (a+b)
Association (AS)	1	2004,02 ^{***}	46,29 ^{***}	215,68 ^{***}	1378,27 ^{***}
Traitement (T)	1	167,66 ^{ns}	55,16 ^{***}	209,96 ^{***}	208,20 ^{***}
Compagne (C)	1	248,56 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,20 ^{ns}	47,26 ^{***}
AS x T	1	447,80 [*]	284,11 ^{***}	67,0 ^{**}	1196,9 ^{***}
AS x C	1	0,02 ^{ns}	16,07 ^{**}	1,38 ^{ns}	1,06 ^{ns}
T x C	1	84,45 ^{ns}	5,67 ^{ns}	2,40 ^{ns}	1,37 ^{ns}
AS x T x C	1	196,3 ^{ns}	28,49 ^{**}	0,0001 ^{ns}	14,18 [*]
Résidu	32	3392,33	65,19	122,79	79,54
Total corrigé	47	9262,11	1102,52	1492,08	8604,83

TRE= teneur relative en eau (%), Chl= teneur chlorophyllienne (SPAD), ns, * et ** = effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

Aussi, chez la légumineuse, les paramètres sont significativement variables sous les facteurs étudiés, avec [(AS : TRE, Chla, Chlb, Chl(a+b)); (T : TRE, Chlb); (ASxT: Chla, Chl(a+b)); (TxC: TRE)]. Certains paramètres ne varient pas significativement sous [(T : Chla, chl(a+b)); (C: tous les paramètres); (ASxT: TRE, Chlb); (ASxC: tous les paramètres); (TxC: Chla, Chlb, Chl(a+b)); (ASxTxC) : tous les paramètres)] (Volet 3 Tableau 6).

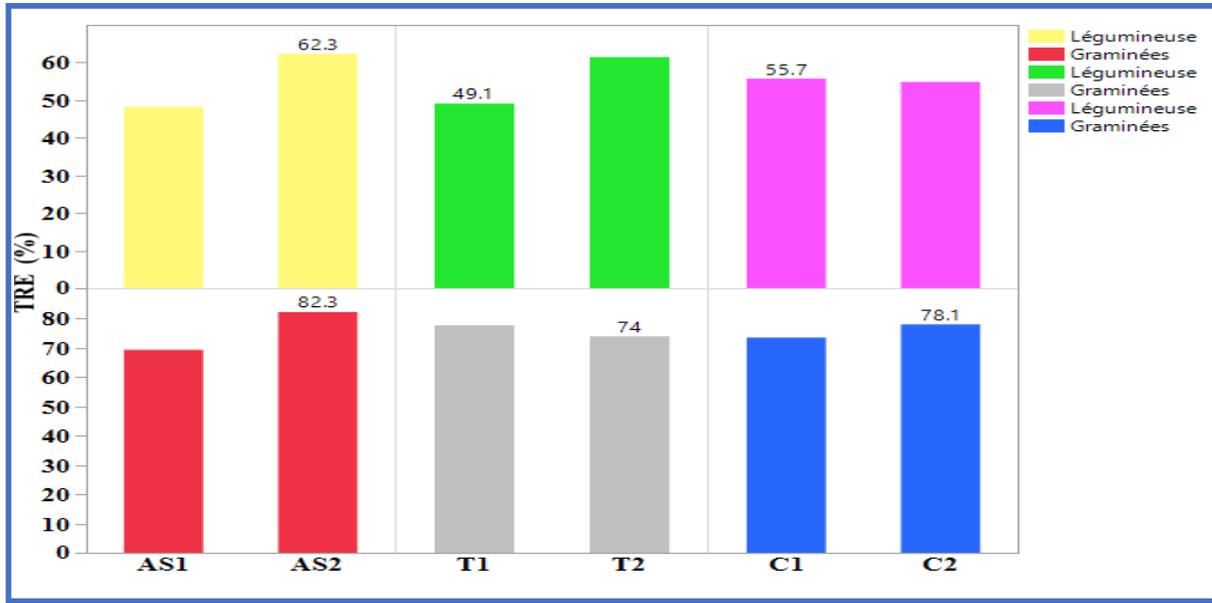
Volet 3 Tableau 6. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres physiologiques mesurés chez la légumineuse cultivée en associations (AS1, AS2) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), au cours de deux campagnes (C)

Source	Ddl	TRE	Chl a	Chl b	Chl (a+b)
Association (AS)	1	2394,32***	8,3 ^{ns}	73,18**	101,67**
Traitement (T)	1	1838,8**	4,51 ^{ns}	337,23***	4,36 ^{ns}
Compagne (C)	1	7,89 ^{ns}	14,3 ^{ns}	13,09 ^{ns}	18,67 ^{ns}
AS x T	1	41,05 ^{ns}	88,12***	0,62 ^{ns}	90,03**
AS x C	1	376,71 ^{ns}	3,28 ^{ns}	6,53 ^{ns}	27,84 ^{ns}
T x C	1	748,52*	3,8 ^{ns}	0,32 ^{ns}	10,62 ^{ns}
AS x T x C	1	154,62 ^{ns}	5,65 ^{ns}	15,88 ^{ns}	0,59 ^{ns}
Résidu	32	3745,32	112,92	167,14	225,58
Total corrigé	47	16179,75	409,00	1246,58	2856,80

1.1. La teneur relative en eau (TRE%)

Les résultats indiquent que l'association AS2 se distingue par un niveau de TRE de 62,3% pour la légumineuse et 82,3% pour le Triticale. Par ailleurs, l'apport d'eau (T2) améliore ce paramètre, avec 74% pour les graminées. D'autre part, la saison agricole ne détermine pas une divergence significative pour TRE pour les deux associations. Selon les saisons agricoles, lors de la saison C2, les graminées se profilent avec une TRE= 78,1%, et la vesce commune avec 55,7% lors de C1 (Volet 3 Figure7).

Sous l'effet de l'interaction ASxTxC, TRE ne semble pas différer de manière appréciable (Volet 3 Figure8). Toutefois, les valeurs extrêmes sont celles relevées chez l'association AS2 (*Triticale x Vesce*) conduite en pluvial et au cours de la saison (C2), avec TRE= 90.2% pour Triticale, et 74% en apport d'eau (T2) pour la Vesce (Figure 8). L'AS1 apparaît avec des valeurs plus faibles, avec, 64,9% (T2C1 pour l'orge, et 34% (T1C2) pour la Vesce (Volet 3 Figure 8).



Volet 3 Figure 7. Effet Association, apport d'eau et saison agricole sur la TRE chez les céréales et la légumineuse



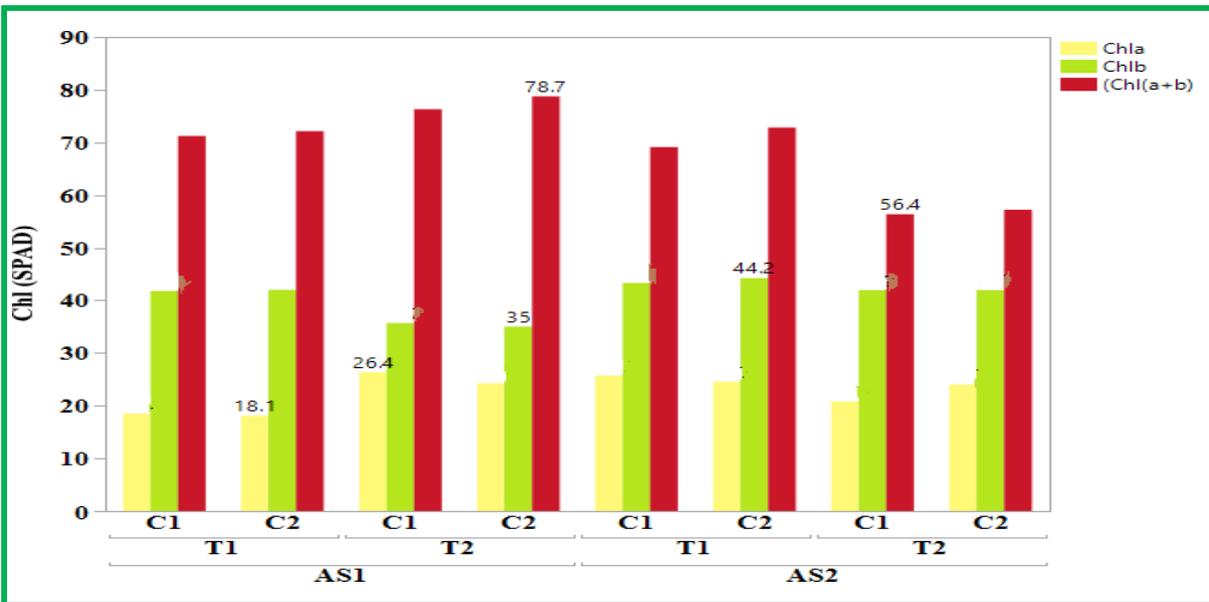
Volet 3 Figure 8. Valeur de la TRE% sous l'effet de l'interaction ($AS \times T \times C$)

1.2. La teneur en chlorophylle (SPAD)

1.2.1. La chlorophylle chez les céréales

La teneur en chlorophylle (*chl a*, SPAD) est variable significativement sous l'effet de l'interaction ($AS \times T \times C$). Ainsi, la variété de l'orge Fouara se place meilleure avec 26,4 SPAD conduite sous l'effet ($AS1 \times T2 \times C1$) (Volet 3 Figure 9). Le faible niveau 18,1 SPAD est dévoilé sous

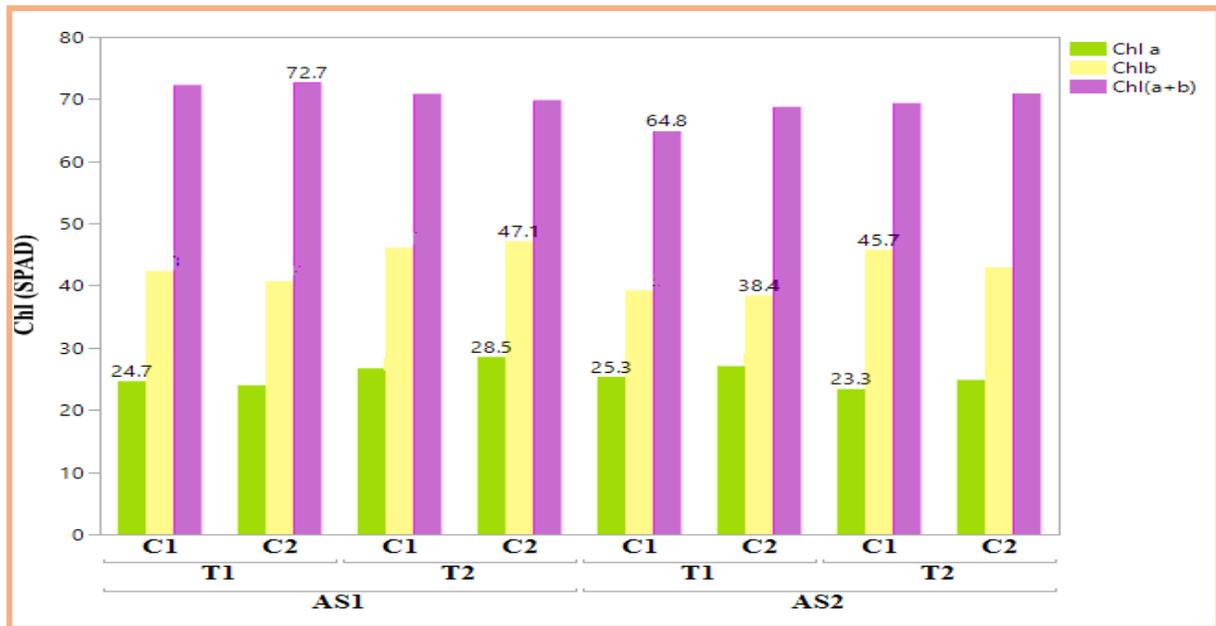
l'effet ($AS1 \times T1 \times C2$) (Volet 3 Figure 9). Alors que pour l'AS2, la teneur en *chl b* annonce le Triticale sous ($AS2 \times T1 \times C2$) avec 44,2 SPAD. Donc, Triticale se proclame avec un plus 17.8 SPAD à l'égard de l'orge. Par ailleurs, l'effet $AS \times T \times C$ affecte significativement la *chl(a+b)*, déterminant ainsi que l'orge avec 78,2 SPAD sous l'interaction ($AS1 \times T2 \times C2$) se révèle potentiellement plus adapté au milieu environnant, et apparaît valorisant de l'apport d'eau relativement au Triticale avec un écart de 32.3SPAD (Volet 3 Figure 9).



Volet 3 Figure 9. Effet de l'interaction $AS \times T \times C$ sur la teneur en chlorophylle chez les graminées

1.2.2. La chlorophylle chez la légumineuse

Aussi, pour la *chl a* est variable sous l'action de ($AS \times T \times C$), ainsi, *vicia sativa* se caractérise par une teneur de 28.5SPAD sous $AS1 \times T2 \times C2$ la teneur en chlorophylle, alors que sous la même interaction, l'orge s'est affirmée par 24.27SPAD. Alors que sous $AS2 \times T2 \times C2$, la vesce commune prend 24.84SPAD, et Triticale 24.07SPAD (Volet 3 Figure10).



Volet 3 Figure 10. Effet de l'interaction $AS \times Tx \times C$ sur la teneur en chlorophylle chez *Vicia Sativa*

En apport d'eau, *Vicia Sativa* sous $AS1 \times T2 \times C2$, sa réponse en chl b est de niveau 47.1 SPA, alors que l'orge s'est affichée avec 35.01 SPAD (Volet 3 Figure 10). Alors qu'elle marque la valeur de 38,4 SPAD sous l'effet ($T1 \times C2$) en AS2 (Volet 3 Figure 10). Significativement variable sous $AS \times Tx \times C$, la chl(a+b) est de 72.7 SPAD sous $AS1 \times T1 \times C2$, ce niveau s'est réduit 7.9 SPAD lors de la C1 (Volet 3 Figure 10).

2. Synthèse des paramètres physiologiques caractéristiques des associations végétales

L'analyse des résultats indique pour la TRE, que pour l'association AS2 représentée par [Triticale (*Triticosecale*, variété Juanillo) et la vesce commune (*Vicia sativa*)] se révèle meilleures (Volet 3 Tableau 7). Alors que les totaux chlorophylliens s'affichent pour (Fouara x *Vicia Sativa*) pour C2, où Fouara se profile avec 71.3 SPAD en C2 (Volet 3 Tableau 7). Alors que la vesce commune se repère lors de la C1 (Tableau 8), et la Vesce au cours de la première compagne (C1) (Volet 3 Tableau 8).

Volet 3 Tableau 7. Moyennes des moindres carrées des paramètres physiologiques exprimant la réponse des *graminées*, évaluées sous l'effet (T1, T2; C1, C2) en AS1, AS2

Paramètres mesurés	Cultures	T1	T2	C1	C2
TRE (%)	VxFou	68,21	70,58	67,10	71,69
	VxJua	87,24	77,39	80,06	84,57
Chl a (SPAD)	VxFou	18,32	25,33	22,46	21,19
	VxJua	25,15	22,43	23,27	24,31
Chl b (SPAD)	VxFou	41,88	35,33	38,71	38,50
	VxJua	43,75	41,93	42,61	43,08
Chl (a+b) (SPAD)	VxFou	71,68	77,5	73,75	75,43
	VxJua	70,95	56,8	62,73	65,01

Volet 3 Tableau 8. Moyennes des moindres carrées des paramètres physiologiques pour la réponse de la *vesce commune* sous l'effet (T1, T2; C1, C2) en AS1, AS2

Paramètres mesurés	Cultures	Pluviale T1	Irriguer T2	2018/2019 C1	2019/2020 C2
TRE (%)	VxFou	42,95	53,48	51,42	45,01
	VxJua	55,23	69,46	59,95	64,74
Chl a (SPAD)	VxFou	24,31	27,63	25,69	26,25
	VxJua	26,19	24,09	24,33	25,95
Chl b (SPAD)	VxFou	41,51	46,59	44,20	43,90
	VxJua	38,82	44,35	42,47	40,69
Chl (a+b) (SPAD)	VxFou	72,43	70,30	71,50	71,23
	VxJua	66,78	70,13	67,07	69,84

La productivité des Associations

1. Biomasse aérienne

Les moyennes des écarts de l'analyse de la variance des paramètres de production de la biomasse aérienne (BIO, qha⁻¹) des graminées et celle de la légumineuse révèlent un effet significatif sous les facteurs Association (AS), Traitement (T), et l'interaction (ASxT), ils ne sont pas affectés sous [(C, (ASxC), (Tx C), et (ASxTx C)] (Volet 3 Tableaux 9 et 10).

Volet 3 Tableau 9. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres mesurés chez les graminées en associations avec vicia sativa (AS1, AS2) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), au cours de deux campagnes (C)

Source	ddl	BIO	RDT	IR
Association (AS)	1	3507,72***	2478,53***	0,85***
Traitement (T)	1	63,22*	26,04**	0,10*
Compagne (C)	1	0,03 ^{ns}	2,31 ^{ns}	0,001 ^{ns}
AS x T	1	56,05*	37,03**	0,02 ^{ns}
AS x C	1	0,56 ^{ns}	6,52 ^{ns}	0,05 ^{ns}
T x C	1	0,62 ^{ns}	5,34 ^{ns}	0,01 ^{ns}
AS x T x C	1	1,2 ^{ns}	3,21 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Résidu	32	197,34	137,27	0,68
Total corrigé	47	6894,12	4238,71	3,73

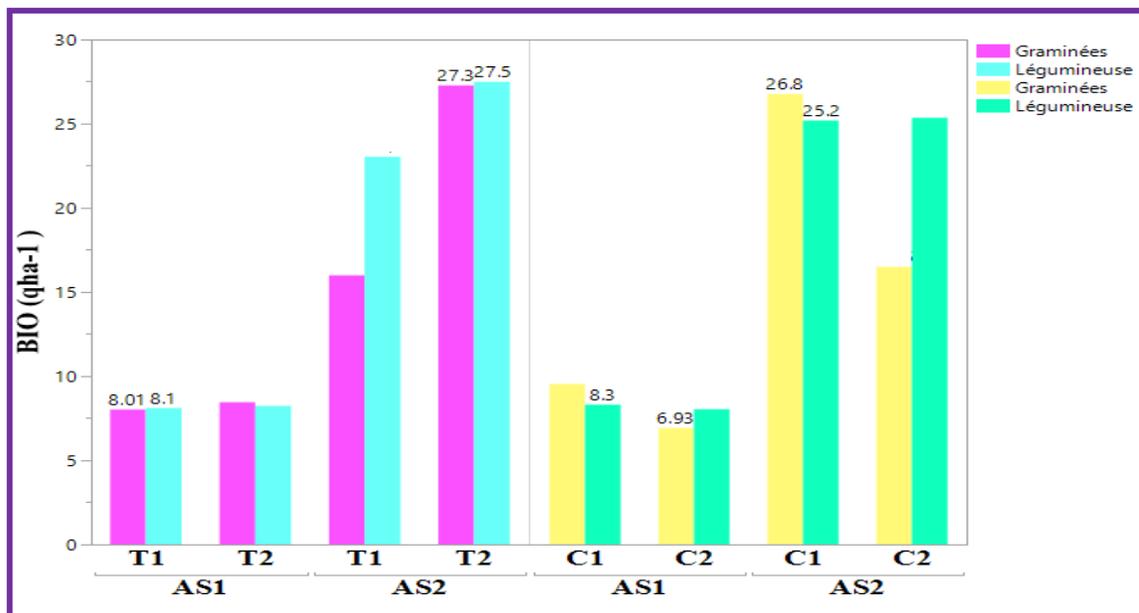
RDT= rendement en grains en qha⁻¹, Bio= poids de la biomasse aérienne en qha⁻¹, IR= indice de récolte, ns, * et ** : effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

Volet 3 Tableau 10. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres mesurés chez la vicia sativa cultivée en associations [(AS1, Fouara); (AS2, Triticale: Juanillo)] testées sous l'effet d'apport d'eau (T), au cours de deux campagnes (C)

Source	ddl	BIO	RDT	IR
Association (AS)	1	3507,72***	2478,53***	2,31***
Traitement (T)	1	63,22*	26,04**	0,0006 ^{ns}
Compagne (C)	1	0,03 ^{ns}	2,31 ^{ns}	0,001 ^{ns}
AS x T	1	56,05*	37,03**	0,0001 ^{ns}
AS x C	1	0,56 ^{ns}	6,52 ^{ns}	0,0004 ^{ns}
T x C	1	0,62 ^{ns}	5,34 ^{ns}	0,007 ^{ns}
AS x T x C	1	1,2 ^{ns}	3,21 ^{ns}	0,03*
Résidu	32	356,47	66,46	0,15
Total corrigé	47	4625,39	4040,28	4,05

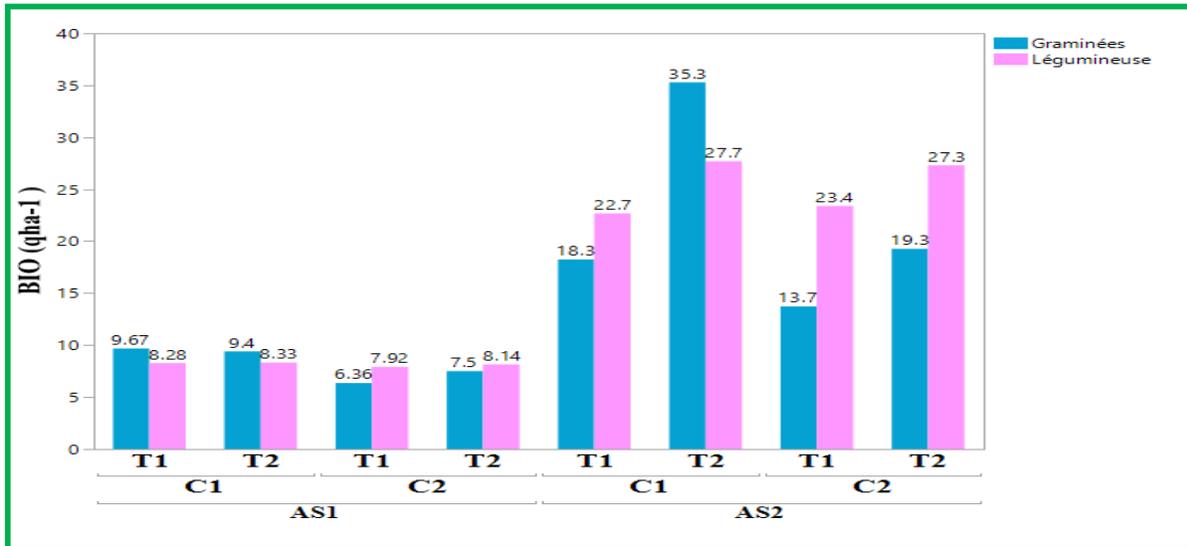
RDT= rendement en grains en qha⁻¹, Bio= poids de la biomasse aérienne en qha⁻¹, IR= indice de récolte

Avec un rendement de biomasse aérienne de 27,5 et 27,3 qha⁻¹, respectivement pour (vicia sativa et Triticale : Juanillo) cultivés en AS2 sous apport d'eau, AS2 se détermine valorisante en BIO (Figure 11). D'ailleurs, la variation de BIO sous (ASxT) est décrite selon le niveau [BIO (T1, T2), AS2 > AS1] (Volet 3 Figure 11)



Volet 3 Figure 11. Variation de la biomasse aérienne sous l'interaction (ASxT) et (ASxC)

Sous l'effet interaction ($AS \times T \times C$), la première campagne agricole semble être la meilleure pour les deux associations, ou les meilleures quantités en biomasse aérienne sont indiquées sous les conditions C1, AS2 en première position avec 35,3 qha⁻¹ de graminée et 27,7 qha⁻¹ pour la légumineuse sous le traitement conduit en irriguer. Tandis que, l'AS1 en second avec 9,67 et 8,28 qha⁻¹ graminée et légumineuse respectivement sous l'effet pluvial (Volet 3 Figure 12).



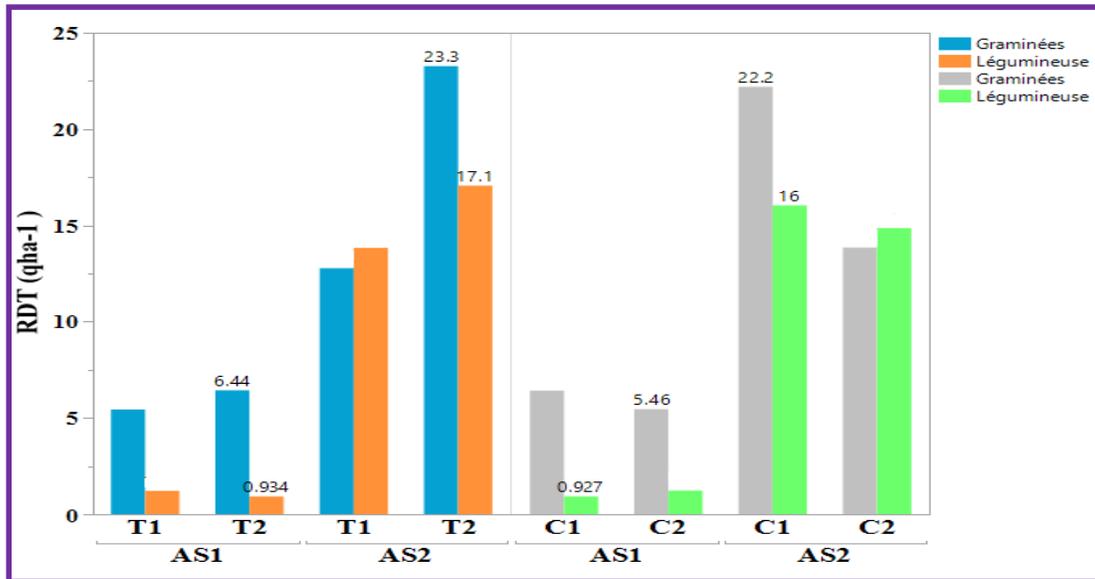
Volet 3 Figure 12. Variation de la biomasse aérienne sous l'interaction ($AS \times T \times C$)

2. Rendement en grains et en gosses

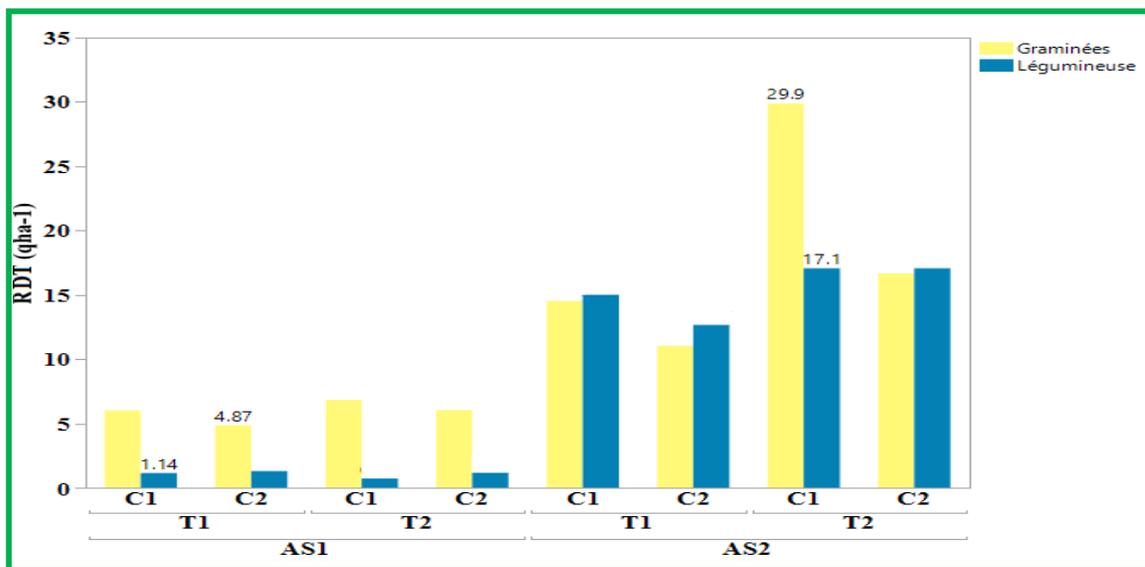
Le rendement en grains ou bien en gousse (RDT, qha⁻¹) est variable significativement sous (AS , T , $AS \times T$) (Volet 3 Tableaux 9 et 10).

L'effet AS sur RDT affirme que l'AS2 est meilleure [(Jua= 23,3qha⁻¹, V= 17,1 qha⁻¹)] Sous apport d'eau, comparativement en pluvial [(Jua= 12,8 qha⁻¹, V= 13,8 qha⁻¹)] (Volet 3 Figure 13). Sous l'effet AS2x C , lors de la saison agricole C1, le gain de RDT réalisé par triticales et vicia sativa (Jua et V) est respectivement de (8,0qha⁻¹, 1.10qha⁻¹) relativement à C2 (Volet 3 Figure13).

L'AS2 sous $AS2 \times T2 \times C1$ s'est distinguée par une supériorité en RDT en grain et en gosses, avec (Juanillo= 29,9 qha⁻¹, et la vicia sativa= 17,1 qha⁻¹) (Volet 3 Figure 14



Volet 3 Figure 13. Variation du rendement en grains et en gousse sous l'effet (ASxT, ASxC)



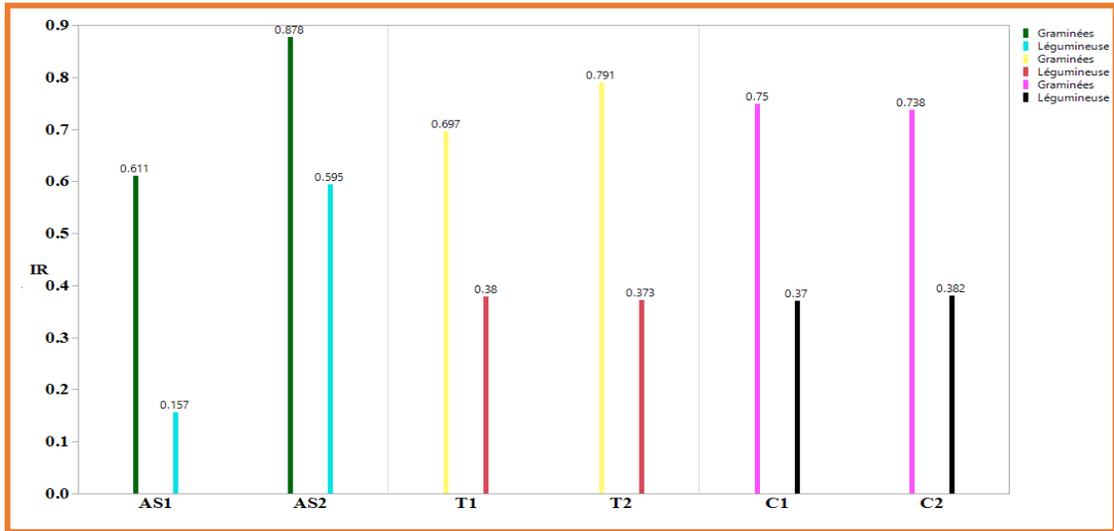
Volet 3 Figure 14. Variation du rendement en grains et en gousse sous l'interaction (ASxTxC)

3. Indice de récolte

L'indice de récolte (IR, %) est variable significativement sous les facteurs [AS, et T] et ne les pas pour [C (ASxT) (ASxC) (TxC), et (ASxTxC)] pour les graminées (Volet 3 Tableau 9). Cependant, l'IR de la légumineuse est à effet significatif sous [AS, et (ASxTxC)] et non pas pour [(T, C), (ASxT, ASxC et TxC)] (Volet 3 Tableau 10).

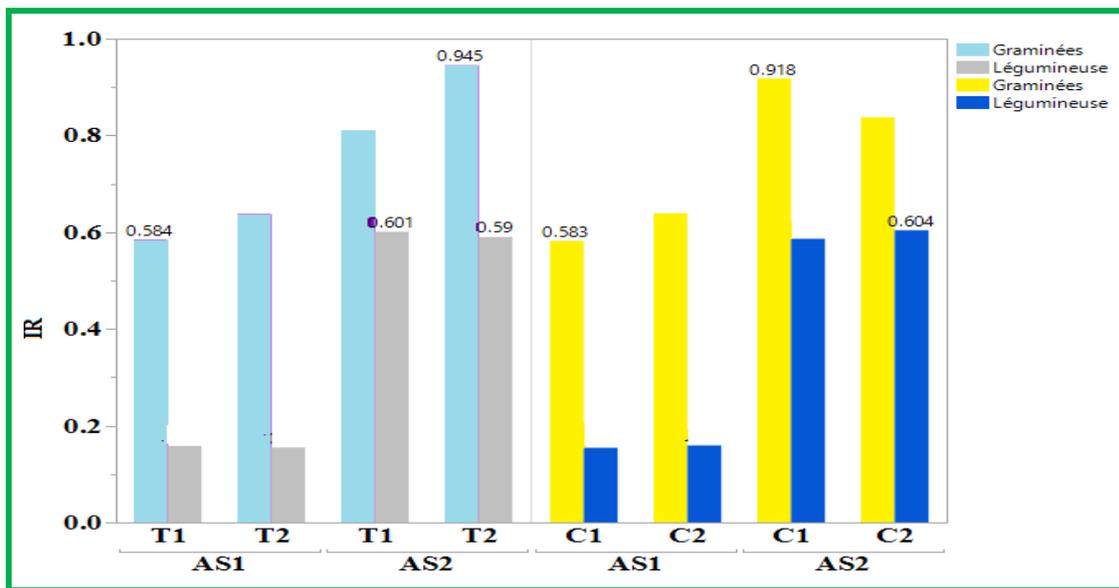
Les valeurs de l'indice de récolte des graminées et de la légumineuse sous l'effet (AS, T, et C)

sont illustrées par (Volet 3 Figure 15). Ainsi, l'association AS2 grimpe en tête des associations, où sous AS2 Juanillo s'est distingué par IR= 87,8%, et vicia sativa par 59,5%. L'IR chez Triticale semble significativement s'améliorer sous apport d'eau (T1= 69.7%, T2= 79,1%).



Volet 3 Figure 15. Effet AS, T, et C sur de l'indice de récolte des associations végétales

Les indications sur la réponse des associations sous $(ASxT)$ et $(ASxC)$ sont notées sur la figure 16 Volet 3.

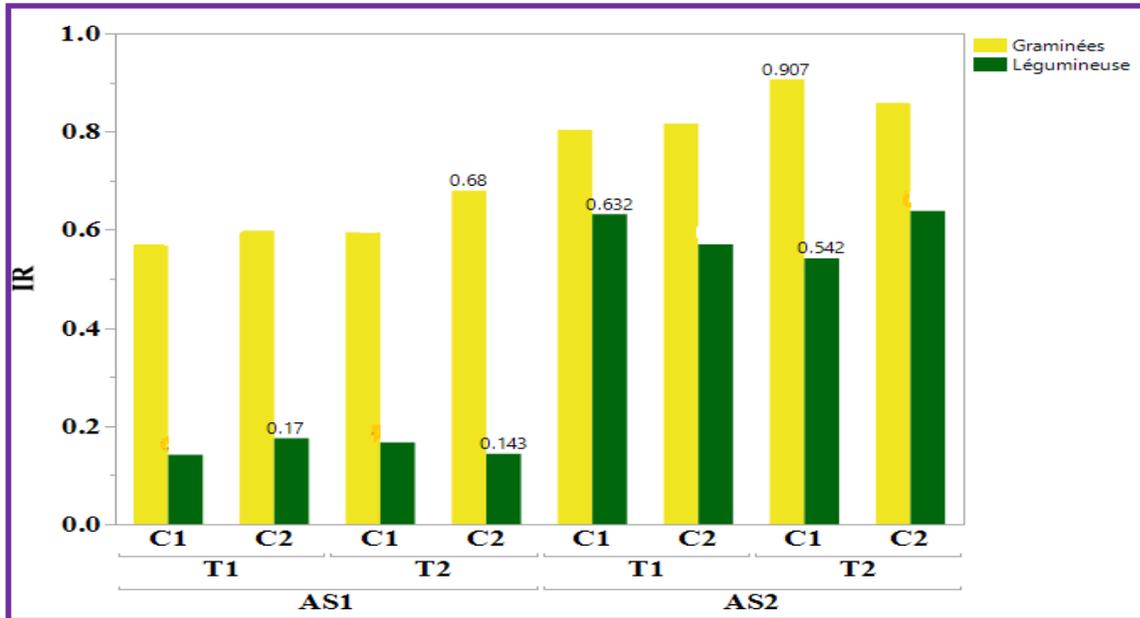


Volet 3 Figure 16. Valeurs de l'indice de récolte sous l'interaction $(ASxT)$ et $(ASxC)$

Ainsi, la variation des valeurs de l'indice de récolte des deux associations sous apport d'eau, indique une réponse de l'association AS2 (Juanillo x Vesce) effective, particulièrement pour

Triticale. En fonction de la saison agricole, IR apparait similaire sous conditions des deux compagnes pour les deux associations (Volet 3 Figure 16).

Sous $ASxTx C$, l'AS2 s'affiche pour les meilleurs d'IR (Volet 3 Figure 17). Triticale se révèle avec $IR= (0.91)$ sous $T2xC1$. Tandis que, la Vesce répond lors de C2.



Volet 3 Figure 17. Variation de l'indice de récolte sous l'interaction ($ASxTx C$)

Les valeurs moyennes de RDT, BIO et de IR des AS1 et AS2, sous l'effet de T et de C figurent sur tableaux (Volet 3 Tableaux 11 et 12).

Volet 3 Tableau 11. Moyennes des moindres carrés des paramètres de production mesurés sous l'effet de la compagne agricole des graminées

Paramètres mesurés	Cultures	T1	T2	C1	C2
RDT (qha^{-1})	<i>VxFou</i>	5.44	6.44	6.42	5.46
	<i>VxJua</i>	12.78	23.28	22.20	13.86
BIO (qha^{-1})	<i>VxFou</i>	8,01	8,44	9,53	6,92
	<i>VxJua</i>	15,98	27,27	26,76	16,48
IR	<i>VxFou</i>	0,58	0,63	0,58	0,63
	<i>VxJua</i>	0,81	0,94	0,91	0,83

RDT= Rendement en grains ou gousse en qha^{-1} ; Bio= poids de la biomasse aérienne en qha^{-1} ; IR= indice de récolte

Volet 3 Tableau 12. Moyennes des moindres carrées des paramètres de production mesurés sous l'effet de la compagne agricole de la légumineuse

Paramètres mesurés	Cultures	Pluviale T1	Irrigué T2	2018/2019 C1	2019/2020 C2
RDT (qha ⁻¹)	VxFou	1,21	0,93	0,92	1,22
	VxJua	13,83	17,06	16,03	14,86
BIO (qha ⁻¹)	VxFou	8,1	8,23	8,30	8,03
	VxJua	23,03	27,49	25,18	25,35
IR	VxFou	0,15	0,15	0,15	0,15
	VxJua	0,60	0,59	0,58	0,60

RDT= Rendement en grains ou gousse en qha⁻¹; Bio= poids de la biomasse aérienne en qha⁻¹; IR= indice de récolte

Réponse des Associations à l'Efficiace de l'Eau

1. Efficiences d'utilisation de l'eau de la biomasse aérienne et de rendement grain

L'analyse de la variance révèle un effet significatif [(AS, T, C); (ASxT, ASxC, Tx C), et (ASxCTxC)] sur l'EUEBIO des graminées (Volet 3 Tableau 12). Alors que, l'EUEBIO de la légumineuse est significativement affectée sous AS, par contre, l'effet n'apparaît pas significatif par [(T, C); (ASxT, ASxC, Tx C), et (ASxTx C)] (Volet 3 Tableau 12). Par ailleurs, l'analyse des résultats révèle que l'EUERDT des graminées varie significativement sous [(AS, T, C); (ASxT, ASxC, Tx C), et (ASxTx C)]. Aussi l'EUERDT de vicia sativa diffère significativement sous [(AS, T, C); (ASxC, et Tx C)] (Volet 3 Tableau 12).

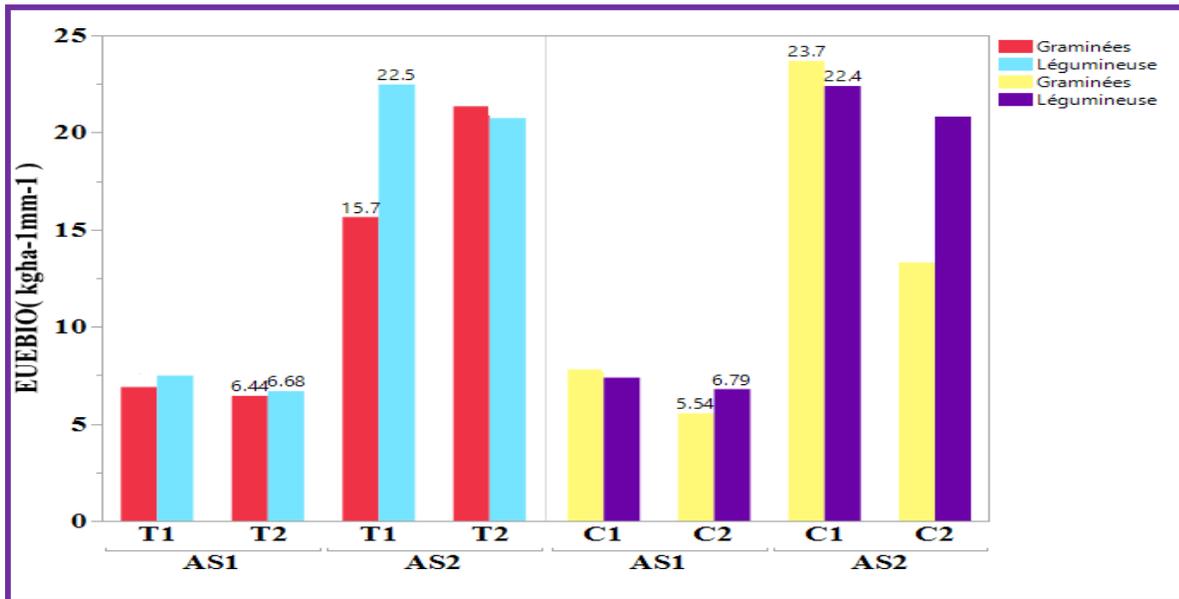
Volet 3 Tableau 12. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de l'efficiace d'utilisation en eau des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), au cours de deux campagnes (C).

Source	ddl	Graminées		Légumineuse	
		EUEBIO	EUERDT	EUEBIO	EUERDT
Association (AS)	1	1680,45***	1328,78***	2532,86***	2052,51***
Traitement (T)	1	82,50***	84,88***	19,38 ^{ns}	7,68*
Compagne (C)	1	478,99***	239,72***	13,93 ^{ns}	21,09**
AS x T	1	113,49***	72,05***	2,54 ^{ns}	1,88 ^{ns}
AS x C	1	197,60***	158,30***	2,99 ^{ns}	29,20**
T x C	1	45,37**	31,25**	0,24 ^{ns}	8,67*
AS x T x C	1	73,68**	34,52**	0,04 ^{ns}	6,38 ^{ns}
Résidu	32	132,24	108,83	233,50	53,32
Total corrigé	47	5565,85	3310,17	3999,49	3975,19

EUE== efficiace d'utilisation en eau (kgha⁻¹mm⁻¹); ns, * et ** : effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

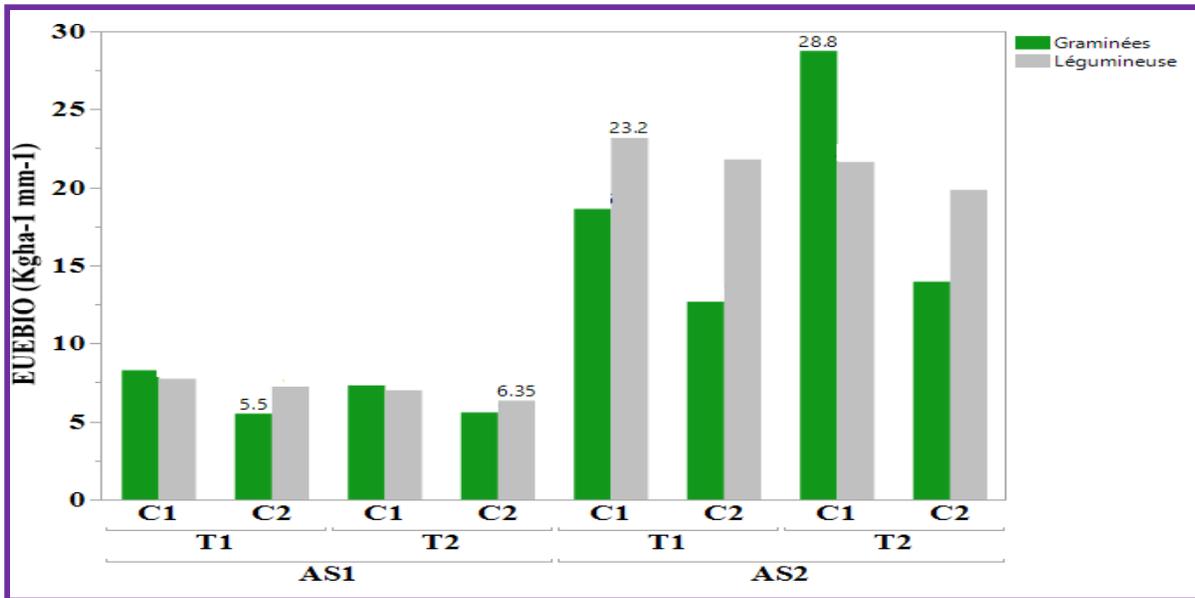
1.1. L'efficacité d'utilisation de l'eau pour la biomasse aérienne

Une variation significative pour l'EUEBIO pour l'AS2 sous l'effet ($AS \times T$), en effet l'AS2 apparaît plus efficace pour l'eau [(T1(Juanillo= 15,73 $\text{kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$, *Vicia sativa*= 22,53 $\text{kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$)] (Volet 3 Figure 18). Indication similaire sous l'effet variable significativement ($AS \times C$), où l'AS2 montre une valorisation lors de la C1 (Volet 3 Figure 18).



Volet 3 Figure 18. Variation de l'EUEBIO sous l'interaction ($AS \times T$) et ($AS \times C$)

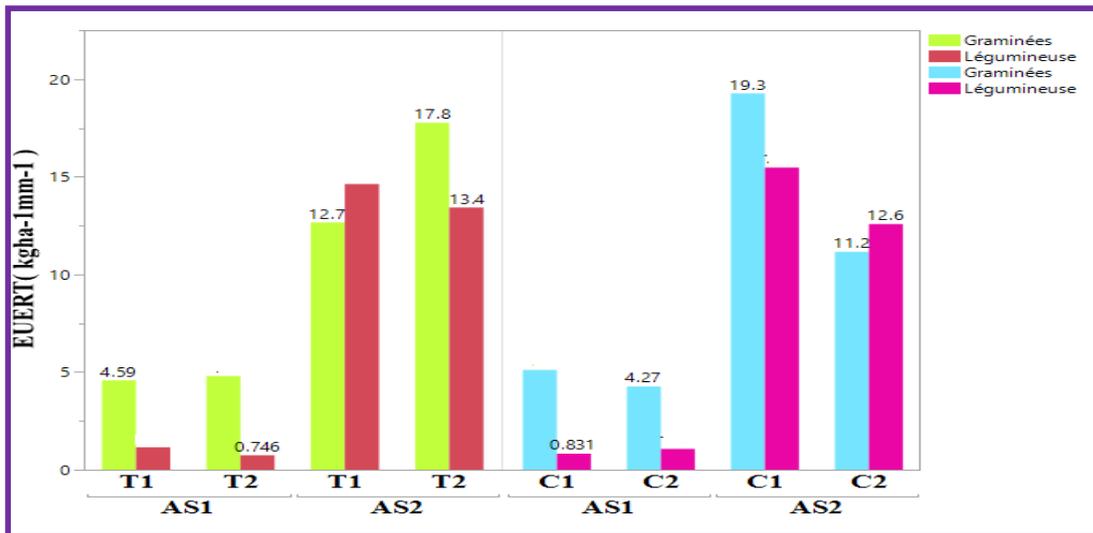
Sous l'effet de l'interaction ($AS \times T \times C$), l'AS2 valorise mieux l'eau en pluviale et sous apport d'eau lors de la saison agricole C1 (Juanillo= 28,8 $\text{kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$, *Vicia sativa*= 23,2 $\text{kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$). Par contre, l'AS1 apparaît moins valorisante (Volet 3 Figure 19).



Volet 3 Figure 19. Variation de l'EUEBIO des AS sous l'interaction (ASxTxC)

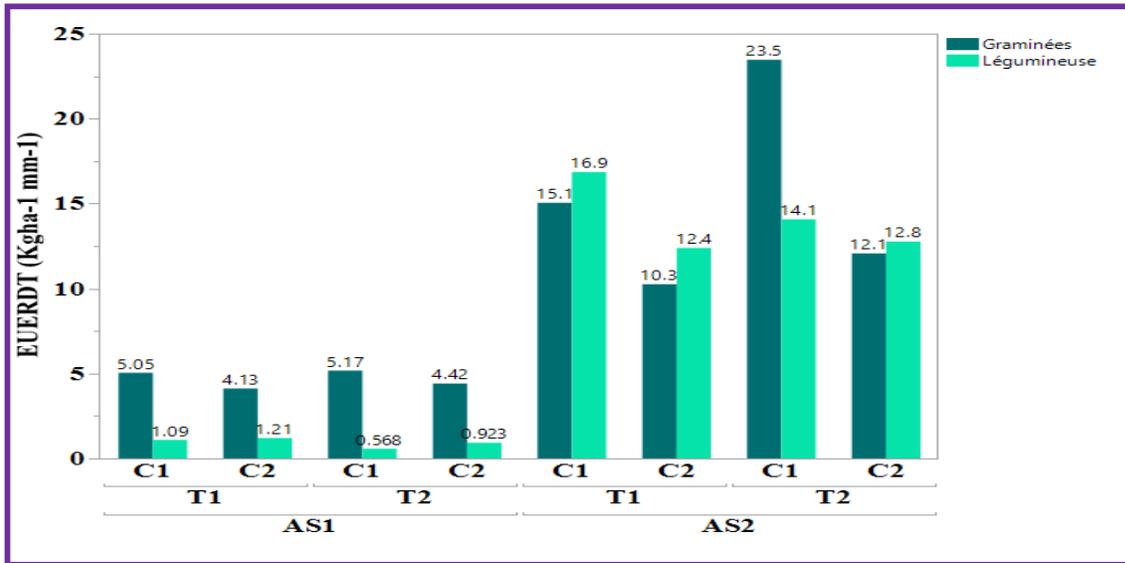
1.2. L'efficience d'utilisation de l'eau pour le rendement grain

Sous l'effet significatif pour l'EUERDT ($kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) sous ASxT, l'Association AS2 ((Juanillo x *Vicia Sativa*) s'affiche efficiente en eau sous apport d'eau [T2, ($Jua = 17,8$ et $V = 13,4$) (Volet 3 Figure 20). Et sous l'interaction (ASxC) et lors de la C1, aussi l'AS2 s'est caractérisée par $Jua = 19,3$, et *Vicia Sativa* = affiche $14,9\ kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ (Volet 3 Figure 20).



Volet 3 Figure 20. Variation de l'EUERDT sous l'interaction [(ASxT), (ASxC)]

L'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire le rendement en grain et en gousses sous l'interférence des facteurs par $AS \times T \times C$ est significativement variable. Ainsi, l'EUERDT ($\text{kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$) varie pour l'AS2 [(23,5, T2xC1) à (10,3; T1xC2, pour Juanillo) et de (16,9, T1xC1) à (12,4, T1xC2, pour vicia Sativa)] (Volet 3 Figure 21). Toutefois, pour l'AS1, les valeurs de l'EUERDT sont de [(5,17, (T2xC1) à (4,13, T1xC2, pour Fouara variété d'orge, et de (1,21; T1xC2) à (0, 56 $\text{kgmm}^{-1}\text{ha}^{-1}$, T2xC1, pour *Vicia Sativa*)] (Volet 3 Figure 21).



Volet 3 Figure 21. Variation de l'EUERDT sous l'interaction ($AS \times T \times C$)

L'analyse des résultats sur la moyenne des moindres carrés de l'efficacité d'utilisation de l'eau déterminent que l'AS2 apparaît valorisante en eau comparativement à l'AS1. En effet, l'AS2 [*Triticale (Juanillo) x (Vicia Sativa)*] s'est distinguée par une EUERDT de 19,26 (Juanillo) et 15,46 (Vicia Sativa). Aussi, l'AS2 pour la BIO, lors de la saison C1, l'EUEBIO est de 23,69 $\text{kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ (Juanillo), et 22,4 $\text{kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ pour Vicia Sativa (Volet 3 Tableaux 13 et 14).

Tableau 13. Réponse des graminées en (AS1, AS2) testées sous l'effet (T1, T2; C1, C2)

Paramètres mesurés	Cultures	Pluviale (T1)	Irrigué (T2)	C1(2018/2019)	C2(2019/2020)
EUEBIO ($\text{kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$)	VxFou	6,89	6,44	7,80	5,54
	VxJua	15,65	21,35	23,69	13,31
EUERDT ($\text{kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$)	VxFou	4,58	4,795	5,11	4,27
	VxJua	12,65	17,76	19,26	11,16

EUE/
efficacité

d'utilisation en eau ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$); V= Vesce, Fou= Fouara, T1= pluvial; T2= Irrigué

Volet 3 Tableau 14. Réponse de *Vicia Sativa* cultivée en (*AS1, AS2*) testée sous l'effet (*T1, T2; C1, C2*)

Paramètres mesurés	Cultures	T1	T2	C1	C2
EUEBIO ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$)	VxFou	7,48	6,67	7,37	6,79
	VxJua	22,47	20,74	22,4	20,82
EUEBIO ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$)	VxFou	1,15	0,74	0,83	1,06
	VxJua	14,62	13,42	15,46	12,58

EUE/ efficacité d'utilisation en eau ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$); V= Vesce, Fou= Fouara, T1= pluvial; T2= Irrigué

Effet Environnement

Les composantes de rendement des Associations végétales

1. Hauteur, nombre de grains par épi et gousses par plant, poids des épis et des gousses, et le poids de mille grains (PMG, g)

La composante hauteur du plant des céréales est significative pour les trois facteurs (*AS, T, et E*) et leurs interactions [(*ASxE*) (*TxE*), et (*ASxTxE*)]. Alors que, l'interaction (*Association x Traitements irrigués*) montre un effet non significatif (Volet 3 Tableau 15). Néanmoins, les facteurs *AS, E* et l'interaction (*ASxT*) montrent un effet significatif de la hauteur du plant de la légumineuse (Volet 3 Tableau 15). Tandis que, le facteur Traitement (*T*), avec les interactions [(*ASxE*) (*TxE*), et (*ASxTxE*)] n'ont aucun effet significatif sur le paramètre mesuré hauteur du plant (*H, cm*) (Volet 3 Tableau 15). L'analyse statistique de la variance de la composante NGE est significative pour [*AS, T, E, et (ASxE)*], et ne les pas pour [(*ASxT*) (*TxE*), et (*ASxTxE*)] (Volet 3 Tableau 15). Alors que, le nombre des gousses par plant est hautement significatif pour [*AS, E (ASxE), et (TxE)*] et non pas pour [*T (ASxT), et (ASxTxE)*] (Volet 3 Tableau 15).

Notamment, l'analyse statistique de la variance du paramètre (PE) est significative pour l'ensemble des sources *AS, T, E* et les interactions [(*ASxT*) (*ASxE*), et (*ASxTxE*)], ne les pas pour l'interaction (*TxE*) (Volet 3 Tableau 16). Ainsi, le (PG) est significatif pour l'association (*AS*) et l'Environnement (*E*) en plus des deux interactions [(*ASxT*), et (*ASxE*)], et ne les pas pour le

traitement irrigué (*T*) et les interactions [(*TxE*), et (*ASxTx**C*)] (Volet 3 Tableau 16). Ainsi que le Poids de mille grains des céréales est hautement significatif selon les tests statistiques de l'analyse de la variance pour les deux facteurs *AS* et *E* et l'interaction (*ASxE*). Alors qu'il est non significatif pour *T* et les interactions [(*ASxT*) (*TxE*), et (*ASxTx**E*)] (Volet 3 Tableau 16). Dès lors, le PMG₁ est significatif pour [*AS* et *E* (*ASxT*), et (*ASx* *E*)], et ne les pas pour [*T* (*TxE*), et (*ASxTx**E*)] (Volet 3 Tableau 16).

Volet 3 Tableau 15. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des composantes de rendement des associations (*AS*) testées sous l'effet d'apport d'eau (*T*), et l'environnement (*E*) et des interactions [(*AS* x *T*, *AS* x *E*, *T* x *E*) et (*AS* x *T* x *E*)]

Source	ddl	Hc	H _i	NGE	NGP
Association (<i>AS</i>)	1	7442,61***	320,85**	1160,33***	285,18***
Traitement (<i>T</i>)	1	268,38***	1,43 ^{ns}	126,75***	1,68 ^{ns}
Environnement (<i>E</i>)	1	4971,50***	337,61**	1083***	212,52***
<i>AS</i> x <i>T</i>	1	8,58 ^{ns}	314,67*	14,08 ^{ns}	0,02 ^{ns}
<i>AS</i> x <i>E</i>	1	5369,98***	0,31 ^{ns}	901,33***	221,02***
<i>T</i> x <i>E</i>	1	202,95**	9,45 ^{ns}	2,08 ^{ns}	2,52*
<i>AS</i> x <i>T</i> x <i>E</i>	1	383,63***	44,27 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Résidus	32	636,29	1204,39	234,66	17,33
Total corrigé	47	23500,45	2700,18	4008,00	752,31

H=hauteur des plants (cm), NGE = nombre de grains par épi, NGP = nombre de grains par plant ; ns, * et **: effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

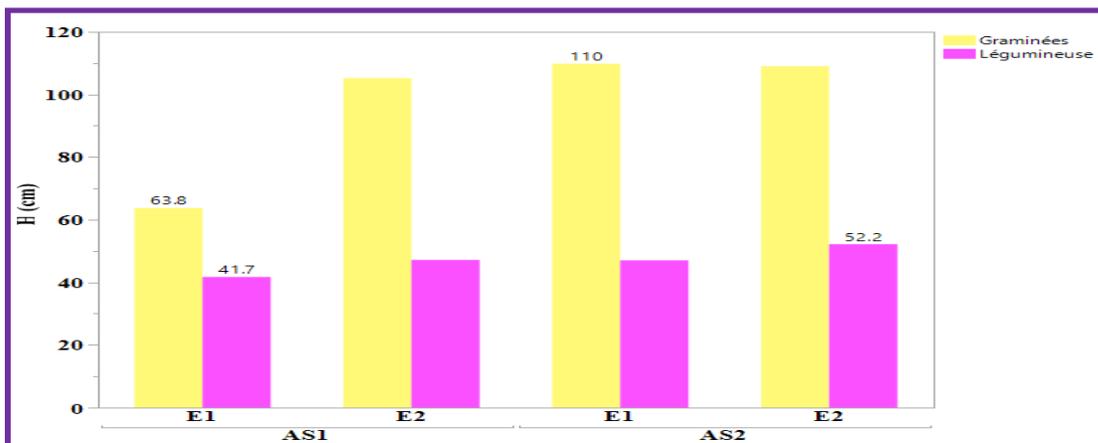
Volet 3 Tableau 16. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des composantes de rendement des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), et l'environnement (E) et des interactions [(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)]

Source	ddl	PE	PG	PMG _c	PMG _l
Association (AS)	1	76,15 ^{***}	62,99 ^{***}	197,8 ^{***}	6417,88 ^{***}
Traitement (T)	1	8,89 ^{***}	0,004 ^{ns}	9,81 ^{ns}	30,28 ^{ns}
Environnement (E)	1	6,84 ^{***}	1,13 ^{***}	94,86 ^{***}	2936,09 ^{***}
AS x T	1	5,95 ^{***}	0,40 ^{**}	12,66 ^{ns}	303,66 ^{**}
AS x E	1	24,59 ^{***}	1,29 ^{***}	15,64 [*]	3399,49 ^{***}
T x E	1	0,24 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,23 ^{ns}	51,15 ^{ns}
AS x T x E	1	1,42 ^{**}	0,04 ^{ns}	3,03 ^{ns}	4,49 ^{ns}
Résidus	32	5,97	1,44	107,92	664,49
Total corrigé	47	131,28	70,19	478,17	14832,98

PE= poids des épis (g), PG= poids des gousses (g), PMG= poids de 1000 grains (g); ns, * et ** : effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

1.1. La hauteur (Hc, HI)

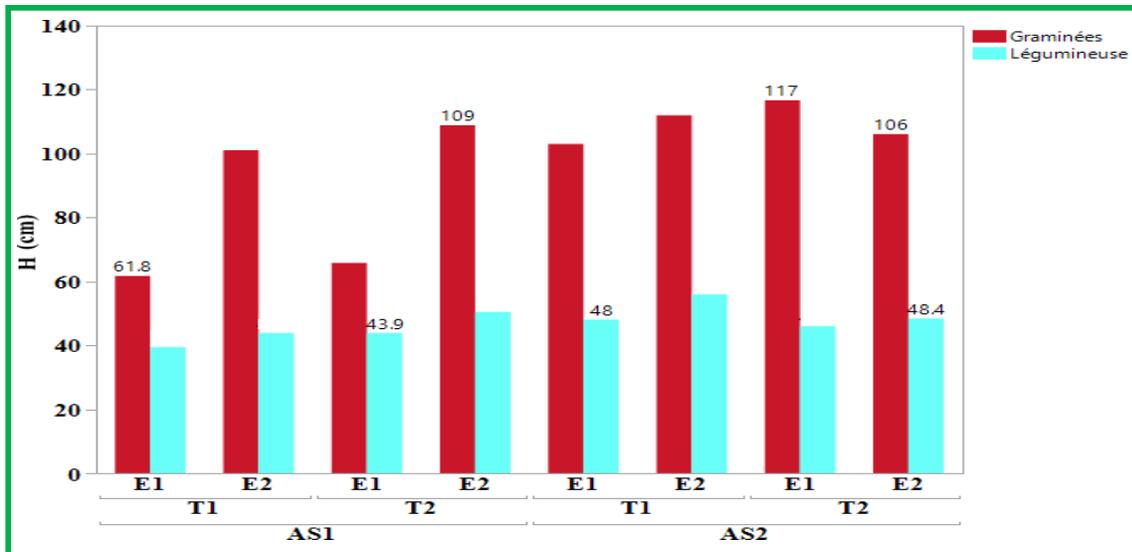
Les valeurs moyennes de la hauteur des plants des cultures testés sous l'effet (ASxE) sont au tour de (63,8 à 110 cm) pour l'Orge et le Triticale, alors que la Vesce enregistre des valeurs supérieures à 40 cm (Volet 3 Figure 22). Néanmoins, l'AS2 signale les grandes valeurs, que ce soit pour le Triticale (*Triticosecale*) (110 cm) sous E1, ou encore pour la Vesce (*Vicia sativa*) (52,2 cm) sous l'effet des conditions de l'environnement E2 (Volet 3 Figure 22).



Volet 3 Figure 22. Valeurs moyennes du Hauteur du plant sous l'effet significatif (ASxE)

Sous l'interaction (ASxTxExE), le mélange (*Triticale x Vesce*) annonce des valeurs remarquables sous l'apport d'eau pluviale ou irriguer, et sous l'effet des deux environnements sous l'ordre de [AS2 : T2E1>T1E2>T2E2>T1E1] du Triticale (*Triticosecale*), variété Juanillo, pour la légumineuse l'ordre est décrit : [AS2 : T1E2>T2E2>T2E1>T1E1] (Volet 3 Figure 23).

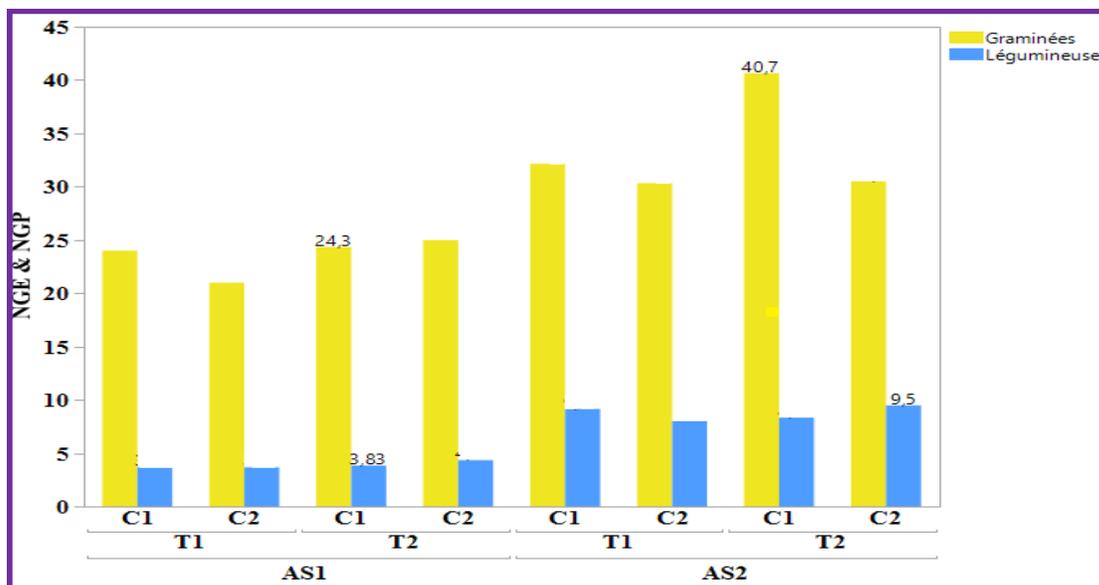
Cependant, le second mélange (*Fouara x Vesce commune*) est décrit par [*Orge* (*Fouara*): $T2E2 > T1E2 > T2E1 > T1E1$], la Vesce est organisée sous la forme [*Vesce* : $T2E2 > T2E2 > T1E2 > T1E1$] (Volet 3 Figure 23).



Volet 3 Figure 23. Variation de la hauteur du chaume sous l'effet significatif ($AS \times T \times E$)

1.2. Nombres de grains par épi et de gousses par plant (NGE, NGP)

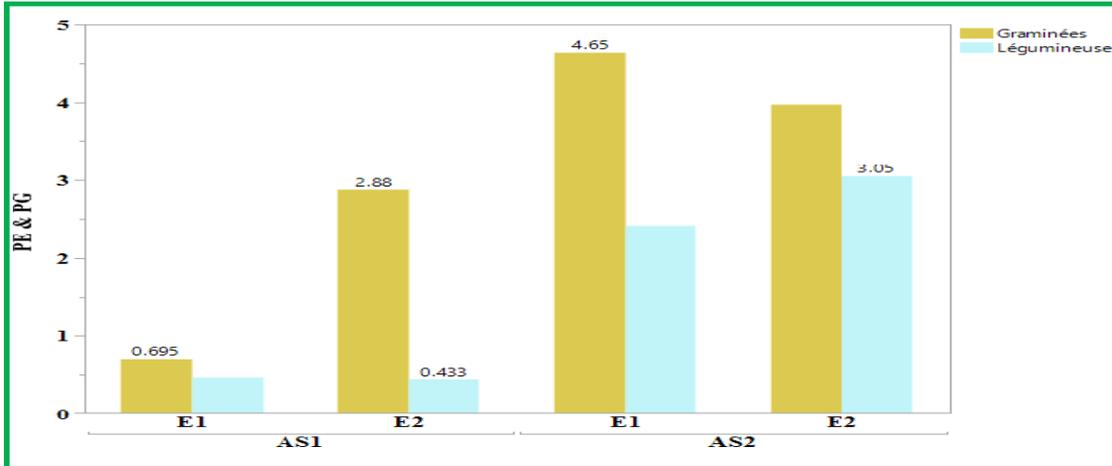
La fertilité de l'épi est décrite pour le Triticale par [$AS2 \times T2 \times E2 = 36,3$], et [$AS2 \times T2 \times E1 = 34,8$]. Tandis que, la Vesce commune sous AS2, le NGP est décrit par [$AS2 \times T2 \times E1 = 13,5$], et [$AS2 \times T1 \times E1 = 12,5$] (Volet 3 Figure 24).



Volet 3 Figure 24. Valeurs moyennes du NGE et NGP sous l'effet significatif ($AS \times T \times E$)

1.3. Le poids des épis et des gousses (PE et PG, g)

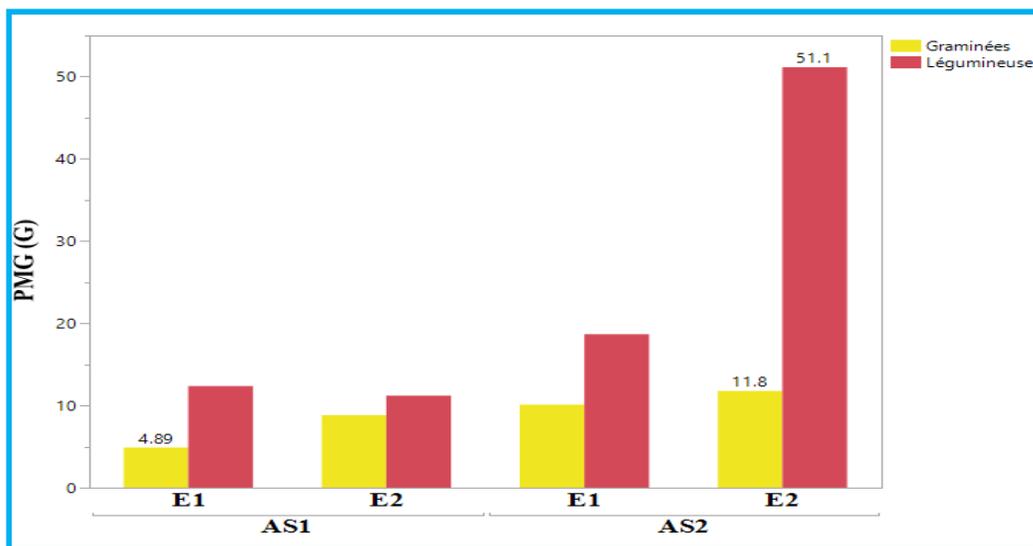
Le poids des épis et des gousses sous l'effet de l'interaction ($AS \times E$) est de PE= 4,65 g pour Juanillo, 0,69g pour l'orge Fouara, et une différence de 2,62g pour la Vesce commune entre les deux associations (Volet 3 Figure 25).



Volet 3 Figure 25. Valeurs moyennes des PE et PG sous l'effet significatif $AS \times E$

1.4. Poids de mille grains des graminées et de la légumineuse (PMGg et PMGl, g)

Les valeurs moyennes du PMG des céréales et de la légumineuse sous l'effet de l'interaction ($AS \times E$) sont en figure (Volet 3 Figure 26). L'AS2 en première position avec un PMG= 11.8g (Triticale), et 51,1g pour la Vesce commune sous l'effet des conditions de l'environnement E2. Les valeurs se réduisent sous AS1 (Volet 3 Figure 26).

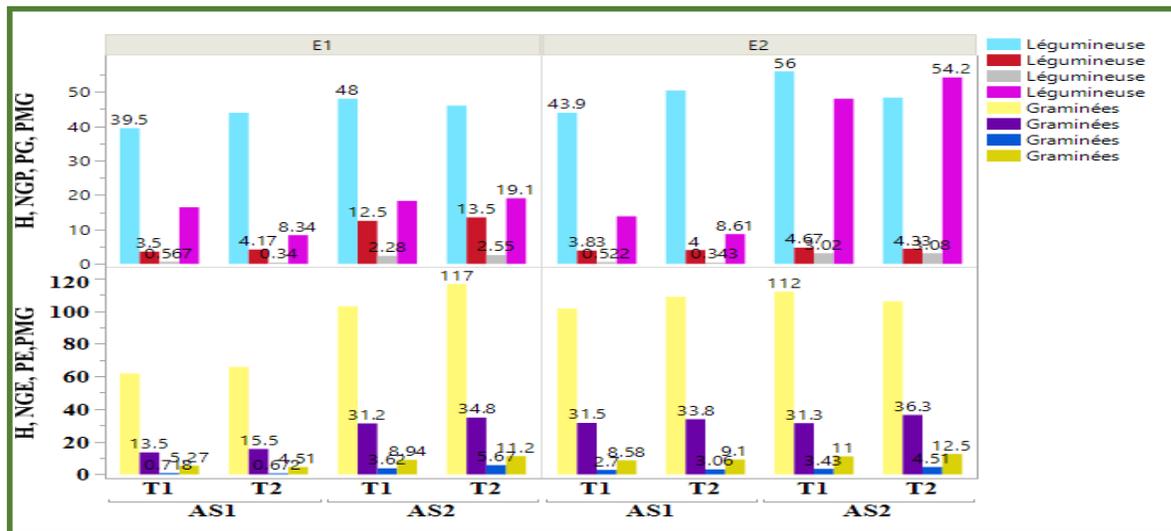


Volet 3 Figure 26. Valeurs moyennes du PMG des Associations sous l'effet ($AS \times E$)

2. Synthèse de la réponse des associations végétales pour les composantes de rendement

Triticale (*Triticosecale*), variété Juanillo (*AS2*) enregistre une hauteur de plant de 117 cm en *T2* dans les conditions de l'environnement (*E1*). Alors que, la vesce commune (*Vicia sativa*) (*AS2*), enregistre 48 cm sous le Pluviale. Tandis que, la valeur la plus élevée de la légumineuse est indiquée sous les conditions de l'environnement *E2*, et sous l'effet de traitement conduit en pluviale (56 cm) (Volet 3 Figure 27). Toutefois, (*Triticosecale*, variété Juanillo) (*AS2*) en irrigué enregistre une moyenne de (NGE) le plus élevé, de l'ordre de 36,3 grains sous les conditions de l'environnement *E2*. En parallèle et sur les mêmes conditions environnementales, *Vicia sativa* en combinaison avec *Triticosecale* enregistre le nombre le plus élevé en pluviale (4, 67) (Volet 3 Figure 27).

Aux conditions de l'environnement *E1*, et sous l'effet du traitement conduit en irrigué (*T2*), le poids le plus élevé d'épi ou bien de la gousse est dénoncé par l'Association *AS2* avec (5, 67 g pour la céréale et 2,55g pour *Vicia Sativa*). En outre, et sous conditions de l'environnement *E2T2*, la valeur du PE est diminuée de 1,16 g. Tandis que, pour le PG en remarque une légère augmentation de 0,53 g (Volet 3 Figure 27). Pour le PMG, la Vesce en *AS2* porte une valeur significative élevée de 54,2 g sous l'effet (*T2 x E2*), soit une différence de 35,1 g par rapport à celle enregistrée sous l'effet de l'environnement *E1*. Cependant, la graminée en Association *AS2*, relève 12,5 g (*E2T2*), et (11,2g) sous *E1T2* (Volet 3 Figure 27).



Volet 3 Figure 27. Valeurs des composantes du rendement sous l'effet de l'interaction (*ASxTxE*)

Les moyennes des moindres carrés des composantes du rendement relatif à *E2* indiquent que l'Association (*Triticale x Vesce*) se montre plus performante relativement à l'AS1 (Volet 3 Tableaux 17 et 18).

Volet 3 Tableau 17. Moyennes des moindres carrées des composantes de rendement relatives à la réponse des céréales, évaluées sous l'effet (T1, T2; E1, E2) en AS1, AS2

Paramètres mesurés	Cultures	T1	T2	E1	E2
H (cm)	VxFou	81,73	87,30	63,76	105,27
	VxJua	107,48	111,36	109,82	109,02
NGE	VxFou	22,5	24,66	14,5	32,66
	VxJua	31,25	35,58	33	33,83
PE (g)	VxFou	1,71	1,86	2,16	3,06
	VxJua	3,52	5,09	3,17	3,78
PMG (g)	VxFou	6,92	6,80	4,88	8,84
	VxJua	9,95	11,89	10,08	11,75

H= Hauteur du plant (cm); NGE= Nombre de grains par épi; PE= Poids des épis (g); PMG= Poids de 1000 grains (g); VxFou= AS1, VxJua= AS2; T1= pluvial; T2= Irrigué

Volet 3 Tableau 18. Moyennes des moindres carrées des composantes de rendement relatives à la réponse de la légumineuse *Vicia Sativa*, évaluées sous l'effet (T1, T2; E1, E2) en AS1 et AS2

Paramètres mesurés	Cultures	T1	T2	E1	E2
H (cm)	VxFou	41,71	47,18	41,71	47,18
	VxJua	52,01	47,23	47,05	52,19
NGP	VxFou	3,66	4,08	3,83	3,91
	VxJua	8,58	8,91	13	4,5
PG (g)	VxFou	0,54	0,34	0,45	0,43
	VxJua	2,65	2,81	2,41	3,05
PMG (g)	VxFou	15,09	8,47	12,37	11,18
	VxJua	33,18	36,63	18,67	51,14

Les paramètres physiologiques

1. Teneurs relatives en eau et en chlorophylles des graminées et de la légumineuse

L'analyse de la variance de la teneur en eau (TRE) des graminées révèle un effet significatif de l'AS, E, et l'interaction (ASxT), ne les pas pour T, et les interactions [(ASxE) (TxE), et (ASxTxE)] (Volet 3 Tableau 19). Tandis que la teneur en chlorophylle de type a présenté un effet significatif pour AS, T, et les interactions [(ASxT) (ASxE) (TxE), et (ASxTxE)], un effet non significatif est déterminé par le facteur environnement (E) pour les céréales (Volet 3 Tableau 19). La chl_b de la graminée indique un effet significatif sur l'ensemble des facteurs testés AS, T, et E, et les interactions [(ASxT) (ASxE) (TxE), et (ASxTxE)] (Volet 3 Tableau 19). Alors que le taux

chlorophyllien des graminées est significatif pour toutes les sources [*AS*, *T*, *E*, (*ASxT*) (*ASxE*) (*TxE*), et (*ASxTxE*)] (Volet 3 Tableau 19)

Volet 3 Tableau 19. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres physiologiques des associations (*AS*) testées sous l'effet d'apport d'eau (*T*), et l'environnement (*E*) et des interactions [*(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)*]

Source	ddl	TRE	Chl a	Chl b	Chl (a+b)
Association (<i>AS</i>)	1	2004,02 ^{***}	46,29 ^{***}	215,68 ^{***}	1378,27 ^{***}
Traitement (<i>T</i>)	1	167,66 ^{ns}	55,16 ^{***}	209,96 ^{***}	208,20 ^{***}
Environnement (<i>E</i>)	1	1669,58 ^{**}	2,03 ^{ns}	378,95 ^{***}	4661,61 ^{***}
<i>AS x T</i>	1	447,80 [*]	284,11 ^{***}	67,0 ^{**}	1196,9 ^{***}
<i>AS x E</i>	1	170,21 ^{ns}	421,26 ^{***}	140,11 ^{***}	829,58 ^{***}
<i>T x E</i>	1	88,26 ^{ns}	98,38 ^{***}	229,46 ^{***}	13,45 [*]
<i>AS x T x E</i>	1	39,51 ^{ns}	63,94 ^{***}	100,6 ^{***}	90,17 ^{***}
Résidu	32	3392,33	65,19	122,79	79,54
Total corrigé	47	9262,11	1102,52	1492,08	8604,83

TRE= teneur relative en eau (%), Chl= teneur chlorophyllienne (SPAD), ns, * et ** : effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

Par ailleurs, la TRE de la légumineuse mentionne un effet significatif des facteurs *AS*, *T*, et *E*, et l'interaction (*ASxE*), aucun effet na signalé pour les interactions [*(ASxT) (TxE), et (ASxTxE)*] (Volet 3 Tableau 20). Toutefois, l'analyse de la variance de la teneur en chla sur la légumineuse, indique un effet significatif pour *E*, et l'interaction [*(ASxT), et (TxE)*], ne les pas pour *AS*, *T* et les interactions [*(ASxE), et (ASxTxE)*] (Volet 3 Tableau 20). D'autre part, la teneur en chl b de la Vesce montre un effet significatif pour *AS*, et *T*, et aussi pour les interactions [*(ASxE) (TxE), et (ASxTxE)*], ne les pas pour *E*, et (*ASxT*) (Volet 3 Tableau 20). Alors qu'il ne présente aucun effet sur [*T, et (TxE)*] pour la légumineuse (Volet 3 Tableau 20).

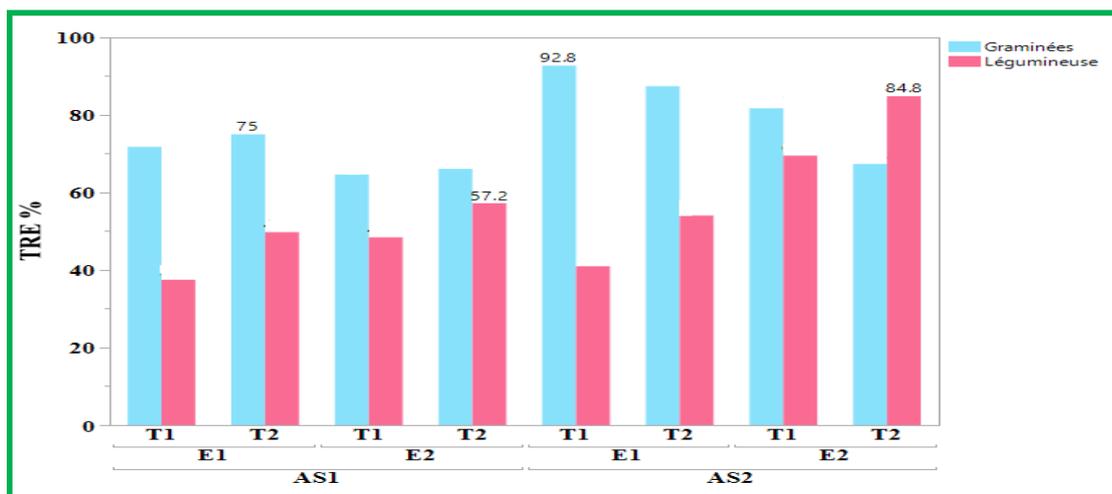
Volet 3 Tableau 20. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres physiologiques de *Vicia Sativa* en association (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), et l'environnement (E) et des interactions [$AS \times T$, $AS \times E$, $T \times E$] et [$AS \times T \times E$]

SOURCE	Ddl	TRE	Chl a	Chl b	Chl (a+b)
Association (AS)	1	2394,32***	8,3 ^{ns}	73,18**	101,67**
Traitement (T)	1	1838,8**	4,51 ^{ns}	337,23***	4,36 ^{ns}
Environnement (E)	1	4529,71***	116,2***	8,97 ^{ns}	1835,95***
AS x T	1	41,05 ^{ns}	88,12***	0,62 ^{ns}	90,03**
AS x E	1	1254,91**	3,91 ^{ns}	106,41***	276,28***
T x E	1	1,15 ^{ns}	17,35*	293,98***	9,59 ^{ns}
AS x T x E	1	24,49 ^{ns}	12,71 ^{ns}	182,63***	123,52**
Résidu	32	3745,32	112,92	167,14	225,58
Total corrigé	47	16179,75	409,00	1246,58	2856,80

TRE= teneur relative en eau en %, Chl= teneur chlorophyllienne en SPAD, ns, * et ** : effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

1.1. La teneur relative en eau (TRE%)

L'effet de $AS \times T \times E$ révèle que TRE est de 92,8% lorsque le *Triticosecale* est conduit en pluviale sous E1, alors que la Vesce affiche 84,8% sous T2 en E2. Sous AS1, Fouara sous T2, sa TRE est de 75% sous E1. Alors que la Vesce sous AS1 de 57,2% en ($T2 \times E2$) (Volet 3 Figure 29).



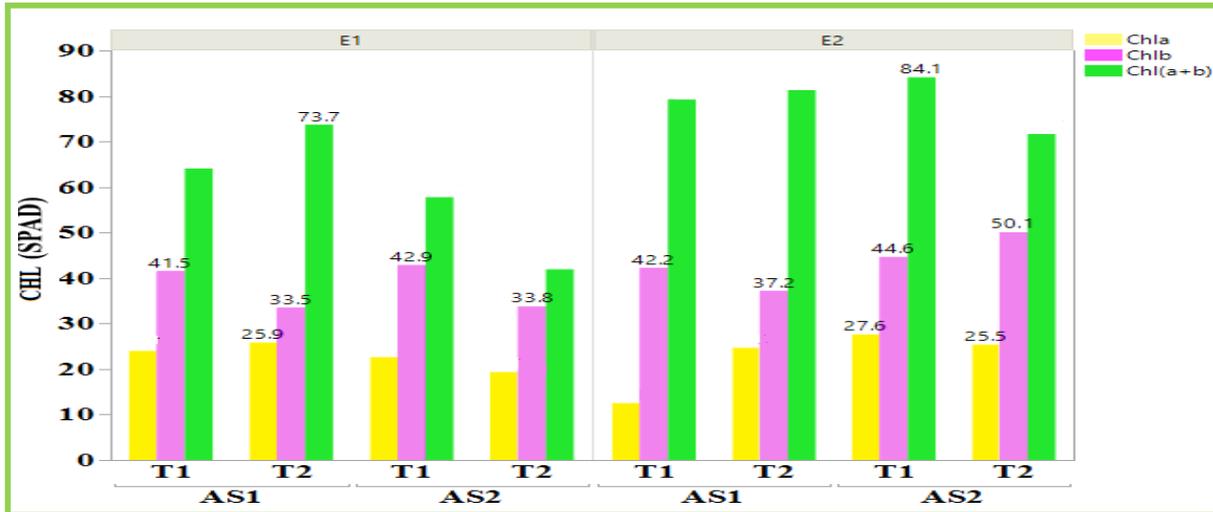
Volet 3 Figure 28. Valeur de la TRE% sous l'effet de l'interaction ($AS \times T \times E$)

1.2. La teneur en chlorophylle (SPAD)

1.2.1. La chlorophylle chez les céréales

L'analyse des résultats décrit que l'association, le traitement hydrique et les conditions de

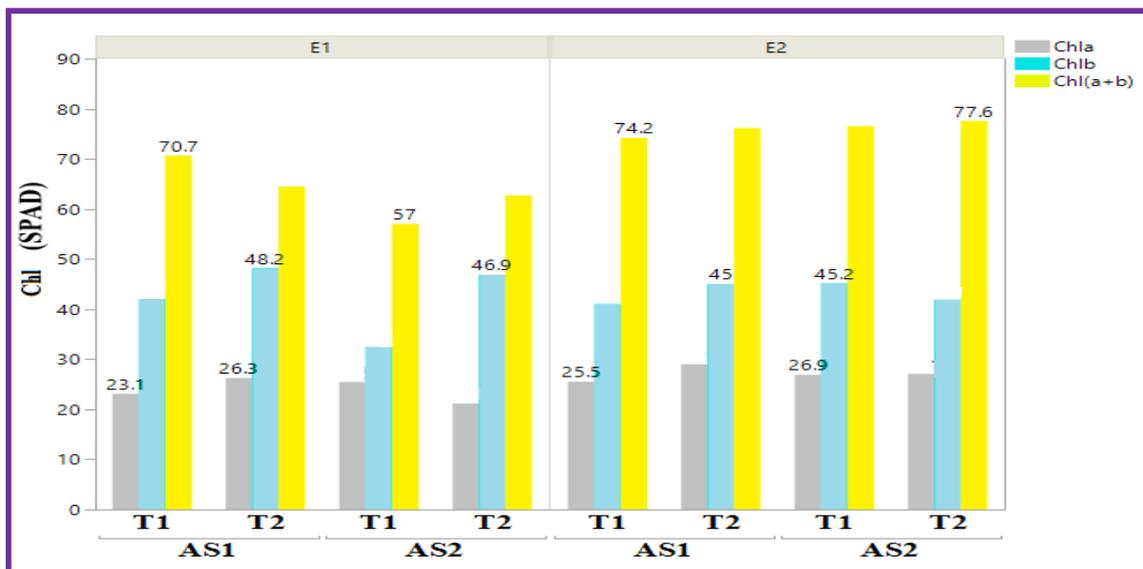
l'environnement proclament une variabilité pour (*Chla*, *chlb*, et *chl(a+b)*). Les teneurs varient en fonction de l'association, pour les graminées [(*Chla*, *SPAD*) (27,6 *Triticale* (T2E2), et 25,9 *Orge* (T2E1)], [(*Chlb*, *SPAD*), (50,1 *Triticale* (T2E2), et 42,9 *Orge* (T1E1)] et [(*chl(a+b)*, *SPAD*) (84,1 *Triticale* (T1E2), et 73,7 *Orge* (T2E1)] (Volet 3 Figure 30).



Volet 3 Figure 29. Effet de l'AS, T, et E sur la chlorophylle des graminées

1.2.2. La chlorophylle chez la légumineuse

Pour *Vicia Sativa*, teneurs en chlorophylle en association avec le Triticale (AS2) sont [(*chla*= 27,1SPAD et *chl(a+b)* = 77,6 SPAD sous (T2xE2), et *chlb* en association avec Fouara (*chlb*= 48,2 SPAD) sous (T2xE1)] (Volet 3 Figure 31). En pluvial, AS1 et AS2 se manifestent par une diminution de la teneur en Chlorophylle.



Volet 3 Figure 30. Effet de l'AS, T, et E sur la chlorophylle de la légumineuse.

2. Synthèse des paramètres physiologiques caractéristiques des associations végétales

Les résultats des valeurs observées des moyennes des moindres carrées indiquent les meilleures valeurs avec [(%TRE= 90,1 de la graminée en *AS2E1*, et 77,17 en *AS2E2* pour la légumineuse); (Chla : 26,55 SPAD graminées en *AS2E2*, et 27,24 SPAD légumineuse en *AS1E2*) ; (Chlb : 47,36 SPAD graminées en *AS2E1*, et 45,11 SPAD légumineuse en *AS1E1*); (CHL(a+b) : 80,29 SPAD graminées en *AS2E2*, et 77,04 SPAD légumineuse en *AS2E2*)] (Volet 3 Tableaux 21 et 22).

Volet 3 Tableau 21. Moyennes des moindres carrées des paramètres physiologiques exprimant la réponse des *graminées*, évaluées sous l'effet (*T1, T2; E1, E2*) en *AS1, AS2*

Paramètres mesurés	Cultures	T1	T2	E1	E2
TRE (%)	<i>VxFou</i>	68,21	70,58	73,41	65,38
	<i>VxJua</i>	87,24	77,39	90,10	74,54
Chl a (SPAD)	<i>VxFou</i>	18,32	25,33	24,99	18,66
	<i>VxJua</i>	25,15	22,43	21,03	26,55
Chl b (SPAD)	<i>VxFou</i>	41,88	35,33	37,50	39,71
	<i>VxJua</i>	43,75	41,93	38,33	47,36
Chl (a+b) (SPAD)	<i>VxFou</i>	71,68	77,5	68,89	80,29
	<i>VxJua</i>	70,95	56,8	49,86	77,88

TRE=Teneur relative en eau (%), Chl= teneur chlorophyllienne (SPAD); *VxFou*= *AS1*; *VxJua*= *AS2*; T1= pluvial ; T2= Irrigué

Volet 3 Tableau 22. Moyennes des moindres carrées des paramètres physiologiques exprimant la réponse de *Vicia Sativa*, évaluée sous l'effet (*T1, T2; E1, E2*) en *AS1, AS2*

Paramètres mesurés	Cultures	T1	T2	E1	E2
TRE (%)	<i>VxFou</i>	42,95	53,48	43,61	52,82
	<i>VxJua</i>	55,23	69,46	47,51	77,17
Chl a (SPAD)	<i>VxFou</i>	24,31	27,63	24,7	27,24
	<i>VxJua</i>	26,19	24,09	23,3	26,98
Chl b (SPAD)	<i>VxFou</i>	41,51	46,59	45,11	42,99
	<i>VxJua</i>	38,82	44,35	39,66	43,50
Chl (a+b) (SPAD)	<i>VxFou</i>	72,43	70,30	67,58	75,15
	<i>VxJua</i>	66,78	70,13	59,87	77,04

La productivité des Associations

1. Biomasse aérienne

L'analyse statistique de la variance du paramètre biomasse aérienne (*BIO*) des céréales aussi de la vesce, indique un effet significatif des facteurs (*AS*, *T*, *E*), et des interactions [*(ASxT)*, et *(TxE)*]. Néanmoins, un effet non significatif est apparu aux interactions [*(ASxE)*, et *(ASxTxE)*] (Tableaux 23 et 24).

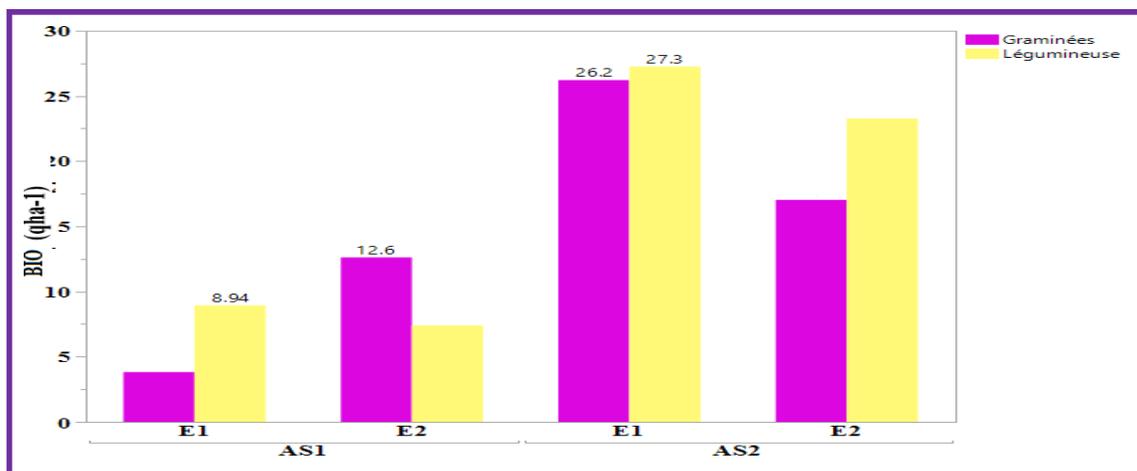
Tableau 23. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres de production des graminées en association (*AS*) testées sous l'effet d'apport d'eau (*T*), l'environnement (*E*) et des interactions [*(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)*]

Source	ddl	BIO	RDT	IR
Association (<i>AS</i>)	1	3507,72***	2478,53***	0,85***
Traitement (<i>T</i>)	1	63,22*	26,04**	0,10*
Environnement (<i>E</i>)	1	91,82**	650,77***	1,02***
<i>AS x T</i>	1	56,05*	37,03**	0,02 ^{ns}
<i>AS x E</i>	1	17,82 ^{ns}	618,77***	0,34**
<i>T x E</i>	1	112,39**	26,19**	0,24**
<i>AS x T x E</i>	1	2,09 ^{ns}	27,09**	0,04 ^{ns}
Résidu	32	197,34	137,27	0,68
Total corrigé	47	6894,12	4238,71	3,73

Volet 3 Tableau 24. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance des paramètres de production de *Vicia Sativa* en association (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), l'environnement (E) et des interactions [(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)]

Source	ddl	BIO	RDT	IR
Association (AS)	1	3507,72***	2478,53***	2,31***
Traitement (T)	1	63,22*	26,04**	0,0006 ^{ns}
Environnement (E)	1	91,82**	650,77***	0,68***
AS x T	1	56,05*	37,03**	0,0001 ^{ns}
AS x E	1	17,82 ^{ns}	618,77***	0,77***
T x E	1	112,39**	26,19**	0,009 ^{ns}
AS x T x E	1	2,09 ^{ns}	27,09**	0,01 ^{ns}
Résidu	32	356,47	66,46	0,15
Total corrigé	47	4625,39	4040,28	4,05

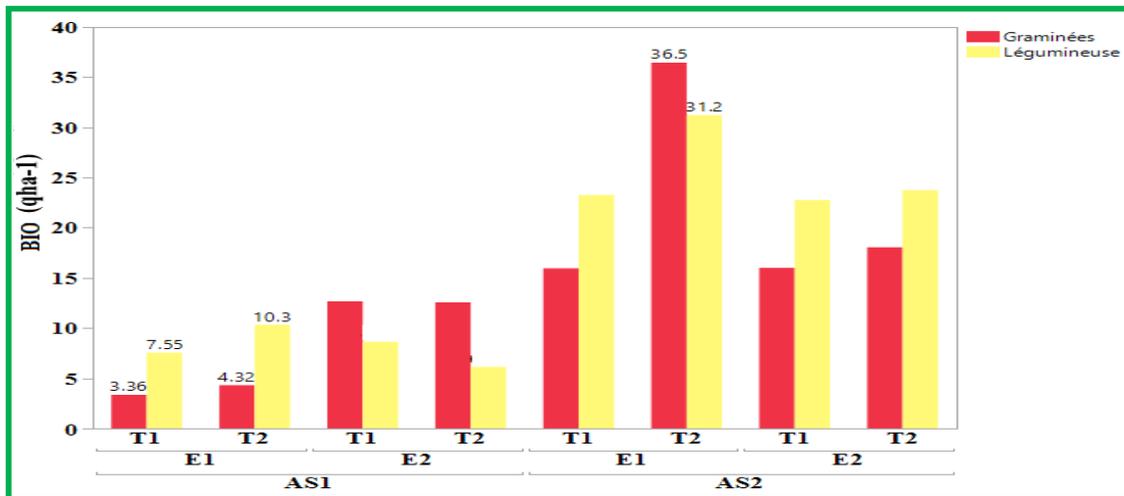
L'influence de l'environnement sur les cultures fourragères apparait sur la quantité de la biomasse des deux associations (Triticale x Vesce) et (Orge x Vesce), il est bien clair que l'AS2 sous l'effet de l'E1 donne des grandes quantités [(BIO, qha⁻¹) = [26,2 (Triticale) et 27,3 (Vesce)]] (Volet 3 Figure 32). Cependant, l'association AS1 enregistre les meilleurs rendements en biomasse sous E2 pour la graminée (12,6 qha⁻¹), tandis que la légumineuse indique sa grande quantité sous E1 (8,94 qha⁻¹) (Volet 3 Figure 32).



Volet 3 Figure 31. Variation de la biomasse aérienne sous l'interaction (ASxE)

La variation de la biomasse aérienne sous l'interaction (ASxTxExE) dégage l'AS2 comme la supérieure en productivité avec [AS2xT2xE1 = 36,5 qha⁻¹ Triticosecale, et 31,2 qha⁻¹ Vicia sativa] (Volet 3 Figure 33). Autrement, l'AS1 produit la faible quantité sous (AS1xT2xE1), mais

seulement la Vesce a enregistré un rendement en biomasse supérieur à la graminée, ($10,3 \text{ qha}^{-1}$) légumineuse contre ($4,32 \text{ qha}^{-1}$) graminée, soit une différence de ($2,75$ et $0,98 \text{ qha}^{-1}$) légumineuse et graminée respectivement mais sous les conditions du pluvial (Volet 3 Figure 33).

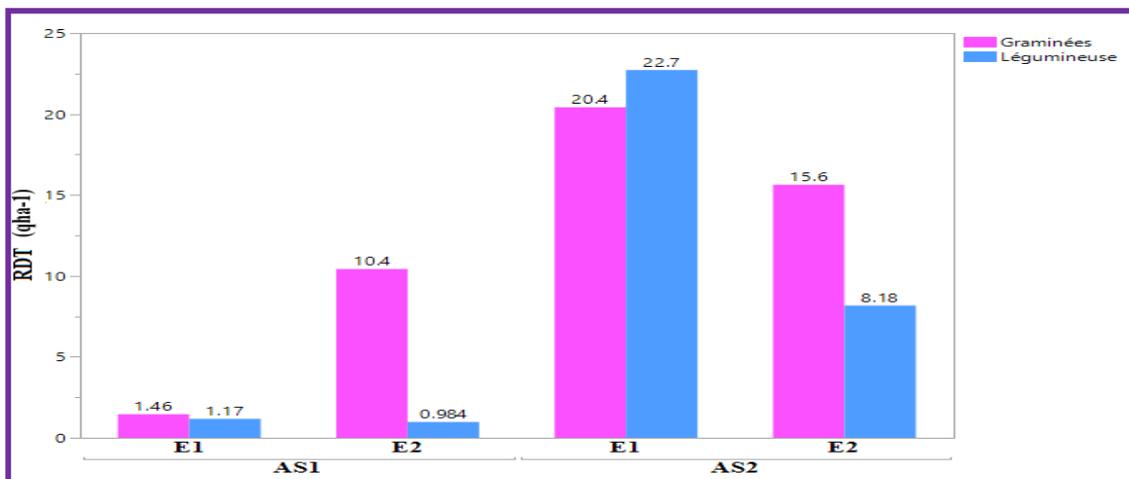


Volet 3 Figure 32. Variation de la biomasse aérienne sous l'interaction ($AS \times T \times E$)

2. Rendement en grains et en gousses

L'analyse statistique de la variance du paramètre de production rendement en grains ou gousses a révélé un effet significatif pour l'Association (AS), le Traitement (T), l'Environnement (E), et les interactions [$(AS \times T)$ ($AS \times E$) ($T \times E$), et ($AS \times T \times E$)] pour les deux espèces graminées et la légumineuse (Volet 3 Tableaux 23 et 24).

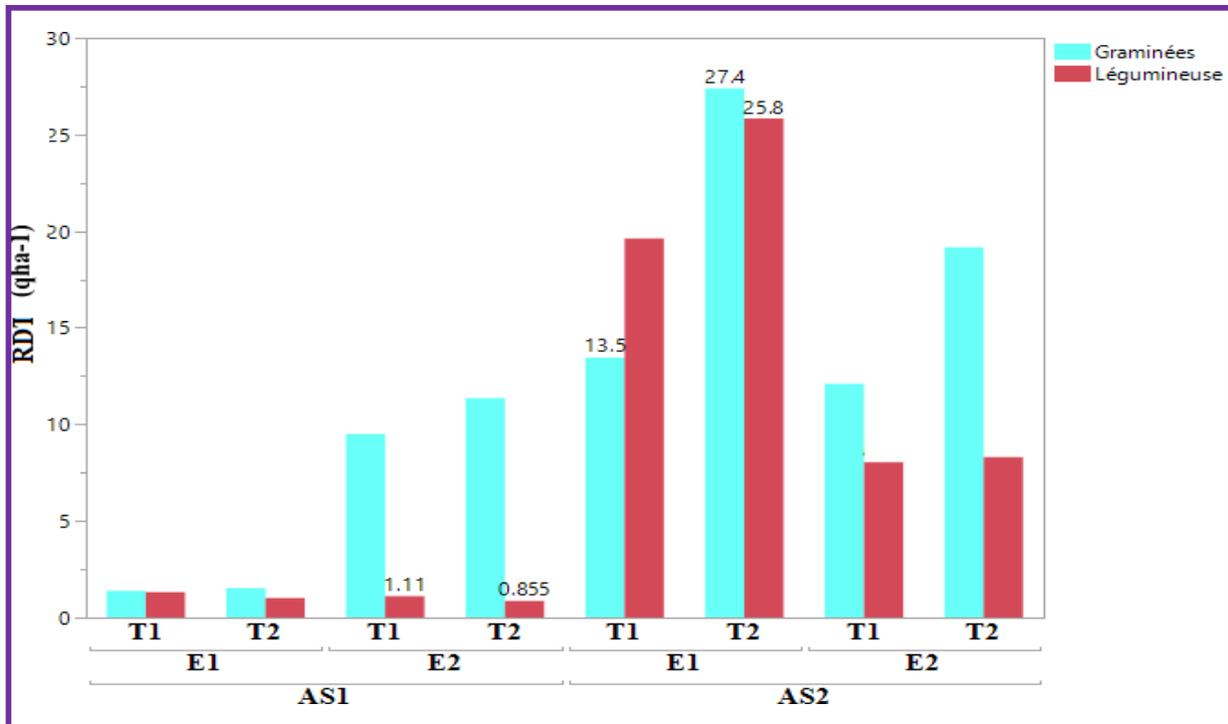
La légumineuse en AS2 donne un rendement en gousses supérieur au rendement en grains sous l'effet des conditions de l'environnement E1 ($22,7$ contre $20,4 \text{ qha}^{-1}$) et la différence reste acceptable (Volet 3 Figure 34).



Volet 3 Figure 33. Variation du rendement en grains et en gousses sous l'interaction ($AS \times E$)

Toutefois, l'AS1 se montre différente car l'Orge enregistre un rendement en grains 10 fois supérieur au rendement en gousses réalisé par la Vesce (Volet 3 Figure 34).

Sous apports en eau, les associations annoncent des rendements en grains ou en gousses meilleurs (Volet 3 Figure 35). Ainsi, sous l'interaction ($AS \times Tx E$) l'AS2 déclare des valeurs élevées en grains (27,4 qha⁻¹) ou en gousses (25,8 qha⁻¹) conduit en irrigué (T2) et E1. Les faibles rendements sont ceux indiqués par l'AS1 sous le pluviale (T1) et l'environnement E1 (Volet 3 Figure 35).

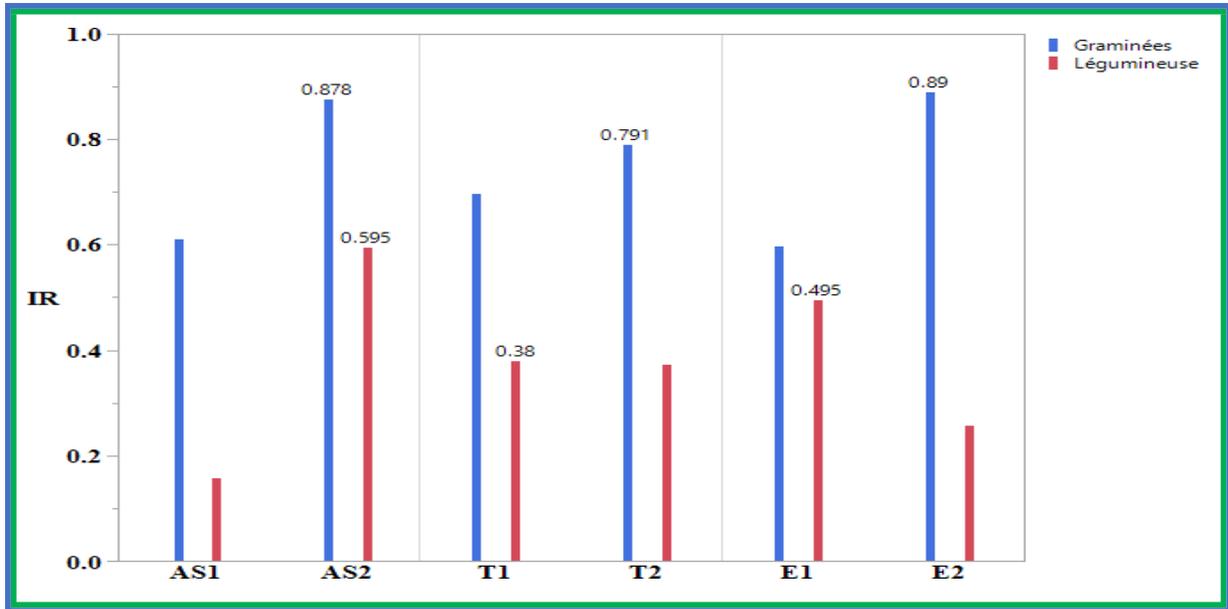


Volet 3 Figure 34. Variation du rendement en grains et en gousses sous l'interaction ($AS \times Tx E$)

3. Indice de récolte

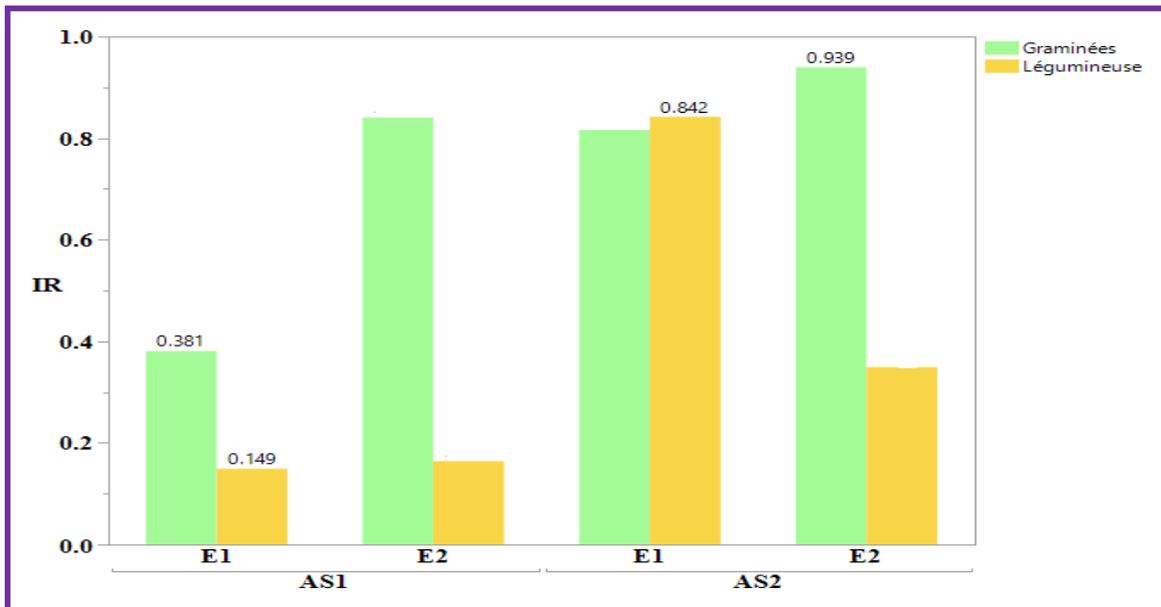
L'indice de récolte des graminées est significatif au niveau du [$AS, T, E (AS \times E), et (Tx E)$], et ne les pas pour [$AS, T, et (AS \times Tx E)$] (Volet 3 Tableau 23). Par contre, l'IR de la légumineuse a un effet significatif pour les facteurs $AS, E.$ et l'interaction ($AS \times E$), aucun effet n'est signalé pour [$T, (AS \times T) (Tx E), et (AS \times Tx E)$]. (Volet 3 Tableau 24).

Les valeurs de l'indice de récolte sous l'effet des AS, T, E, indiquent que $AS2 > AS1$, avec [$AS2 (0,87 T et 0,59 V); T2 (0,79 T) et T1(0,38 V); et E2 (0,89 T) et E1 (0,49 V)$] (Volet 3 Figure 36).



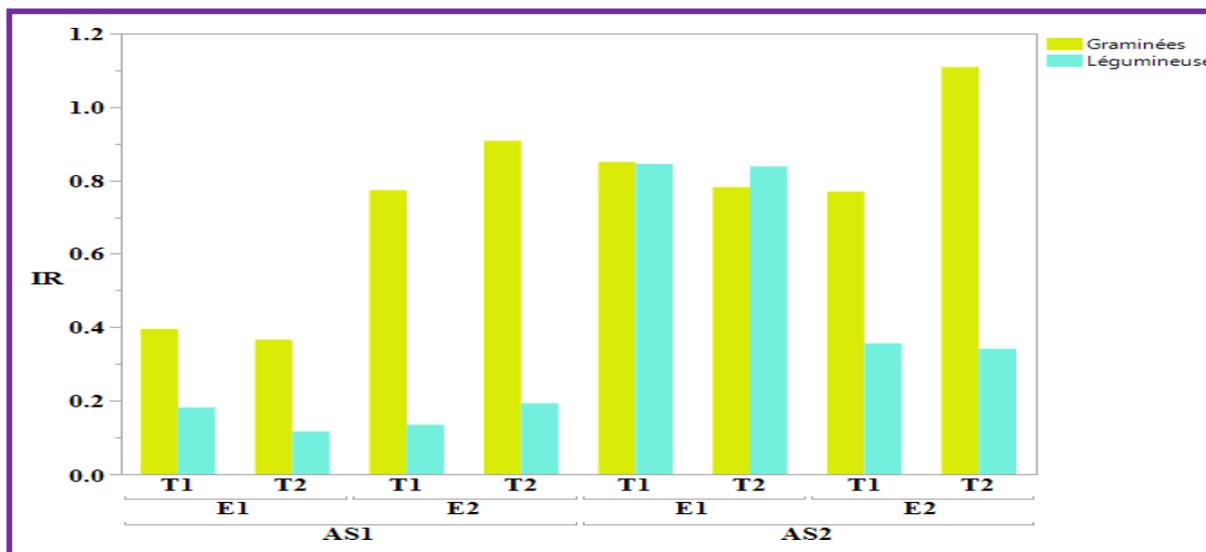
Volet 3 Figure 35. Effet AS, T, et E sur l'indice de récolte

Les valeurs de l'IR sous $AS \times E$ sont décrites par $[AS2E2 > AS1E2 > AS2E1 > AS1E1]$ pour les graminées, pour vicia Sativa, l'ordre suit $[AS2E1 > AS2E2 > AS1E2 > AS1E1]$



Volet 3 Figure 36. Valeurs de l'indice de récolte sous l'interaction ($AS \times E$)

L'évolution de l'IR sous l'interaction ($AS \times T \times E$) révèle pour IR Céréales $[AS2E2T2 > AS1E2T2 > AS2E1T1 > AS2E1T2 > AS1E2T1 > AS2E2T1 > AS1E1T1 > AS1E1T2]$, et $[AS2E1T1 > AS2E1T2 > AS2E2T1 > AS2E2T2 > AS1E2T2 > AS1E1T1 > AS1E2T1 > AS1E1T2]$ pour Vicia Sativa (Volet 3 Figure 38).



Volet 3 Figure 37. Variation de l'indice de récolte sous l'interaction ($ASxTxExE$)

Les meilleures valeurs pour ajuster les moyennes des moindres carrées de l'interaction ($ASxTxExE$), sont ($AS2 : (RDT, qha^{-1}), 22,72 qha^{-1}$ graminée, et légumineuse) en $E1$; (BIO, qha^{-1} , $26,22 qha^{-1}$ graminée, et $27, 25 qha^{-1}$ légumineuse) sur E ; (IR), $0,93$ graminée en $E2$, $0,84$ légumineuse en $E1$] (Volet 3 Tableaux 25 et 26).

Volet 3 Tableau 25. Moyennes des moindres carrées des paramètres de production des graminées sous l'effet (T1, T2, E1, E2)

Paramètres mesurés	Cultures	T1	T2	E1	E2
BIO (qha^{-1})	<i>VxFou</i>	8,01	8,44	3,83	12,62
	<i>VxJua</i>	15,98	27,26	26,22	17,03
RDT (qha^{-1})	<i>VxFou</i>	1,217	0,93	1,16	0,98
	<i>VxJua</i>	13,83	17,06	22,72	8,17
IR	<i>VxFou</i>	0,58	0,63	0,38	0,84
	<i>VxJua</i>	0,81	0,94	0,81	0,93

Volet 3 Tableau 26. Moyennes des moindres carrées des paramètres de production de Vicia Sativa sous l'effet de (T1, T2, E1, E2)

Paramètres mesurés	Cultures	T1	T2	E1	E2
BIO (qha^{-1})	<i>VxFou</i>	8,1	8,23	8,94	7,39
	<i>VxJua</i>	23,03	27,49	27,25	23,27
RDT (qha^{-1})	<i>VxFou</i>	1,21	0,93	1,167	0,98
	<i>VxJua</i>	13,83	17,06	22,72	8,17
IR	<i>VxFou</i>	0,15	0,15	0,14	0,16
	<i>VxJua</i>	0,60	0,59	0,84	0,34

Réponse des Associations à l'Efficienc e de l'Eau

1. Efficacités d'utilisation de l'eau de la biomasse aérienne et de rendement grain

Pour les paramètres définissant l'efficacit e de l'eau, tels que le RDT, et BIO, les tests statistiques de l'EUEBIO des graminées montrent un effet significatif pour l'Association (A), Traitement (T), Environnement (E), et les interactions [(ASxT), (ASxE), (Tx E), (ASxTx E)]. Ainsi, l'EUEBIO de la légumineuse, les résultats statistiques révèlent un effet significatif pour les facteurs AS, et E, avec l'interaction (ASxE), et ne les pas pour [T, (ASxT) (Tx E), et (ASxTx E)] (Volet 3 Tableau 15). D'autre part, un effet est significatif pour AS, T, et les interactions [(ASxT) (ASxE), et (ASxTx E)] sur l'EUERDT des graminées. Cependant, l'effet qui apparaît non significatif sur l'EUERDT des graminées est celui de l'environnement, et l'interaction (Tx E). L'efficacit e d'utilisation d'eau du rendement en gousse de la légumineuse, indique un effet significatif pour les trois facteurs (AS, T, et E), avec l'interaction (ASxE), aucun effet significatif n'est apparu pour [(ASxT) (Tx E), et (ASxTx E)] (Volet 3 Tableau 27). Ces résultats montrent une divergence significative pour ces composantes de l'EUE en raison de l'interaction (ASxE) (Volet 3 Tableau 27).

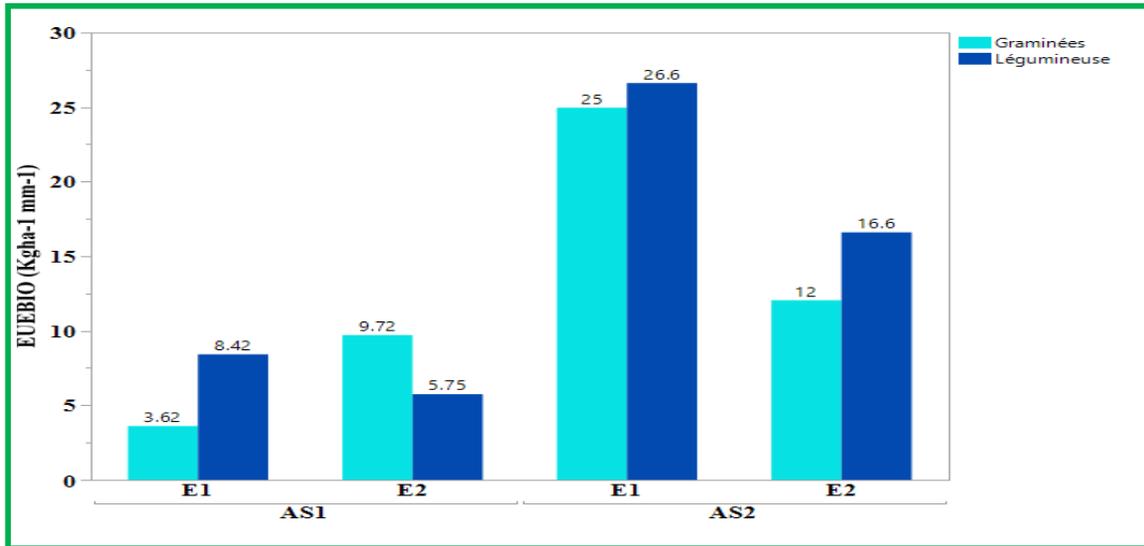
Volet 3 Tableau 27. Carrés moyens des écarts de l'analyse de la variance de l'efficacit e d'utilisation en eau des associations (AS) testées sous l'effet d'apport d'eau (T), l'environnement (E) et des interactions [(AS x T, AS x E, T x E) et (AS x T x E)]

Source	ddl	Graminées		Vicia Sativa	
		EUEBIO	EUERDT	EUEBIO	EUERDT
Association (AS)	1	1680,45***	1328,78***	2532,86***	2052,51***
Traitement (T)	1	82,50***	84,88***	19,38 ^{ns}	7,68*
Environnement (E)	1	139,84***	13,21 ^{ns}	481,46***	842,69***
AS x T	1	113,49***	72,05***	2,54 ^{ns}	1,88 ^{ns}
AS x E	1	1084,61***	702,95***	160,82***	771,36***
T x E	1	142,17***	8,50 ^{ns}	15,54 ^{ns}	0,86 ^{ns}
AS x T x E	1	92,87***	17,07*	5,52 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Résidu	32	132,24	108,83	233,50	53,32
Total corriger	47	5565,85	3310,17	3999,49	3975,19

EUE : efficacit e d'utilisation en eau en $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, ns, * et ** : effets non significatif et significatif à 5% et 1%, respectivement

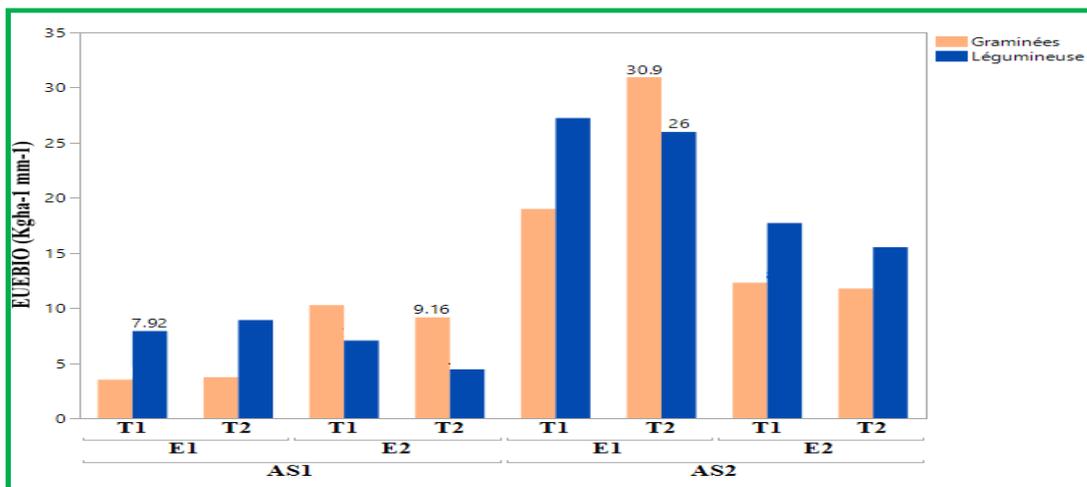
1.1. L'efficacité d'utilisation de l'eau pour la biomasse aérienne

L'analyse de la valorisation de l'EUE relative à la biomasse aérienne produite par les associations testées sous l'effet ($ASx E$), varie de $25 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ pour $AS2E1$ à $3,62 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ pour $AS1E1$ de l'Orge, et de $26,6 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ pour $AS2E1$ à $5,75 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ $AS1E2$ de la Vesce (Volet 3 Figure 39).



Volet 3 Figure 38. Variation de l'EUEBIO sous l'interaction ($ASx E$)

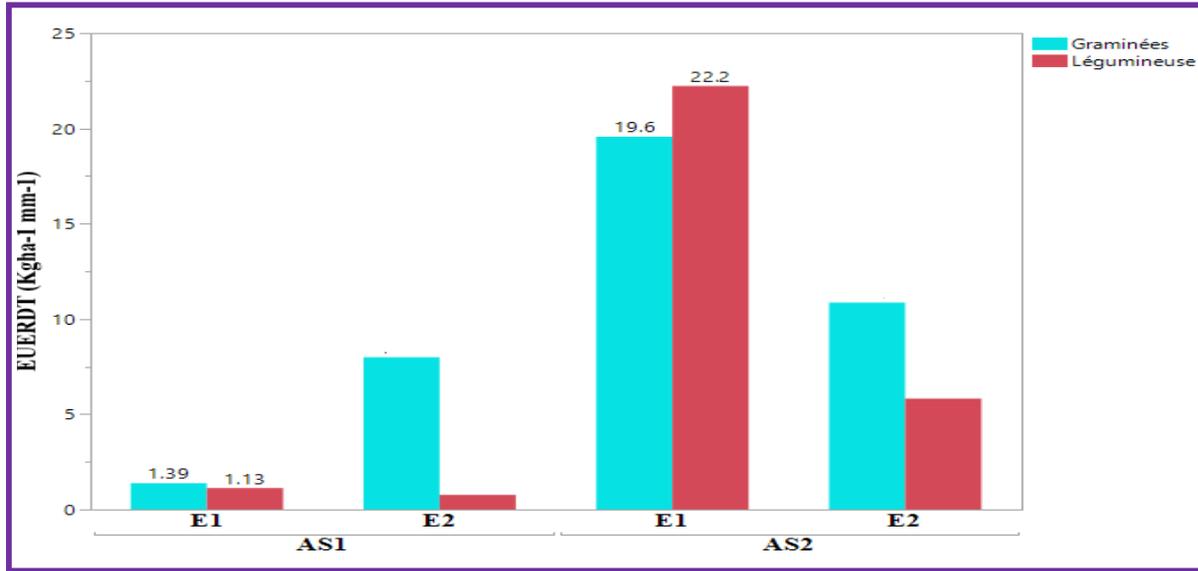
Par ailleurs, sous l'interaction ($ASxTx E$), et sous apport d'eau avec $30,9 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ céréales et $26 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ Vesce T2 valorise l'EUEBIO comparativement au T1 sous condition pluviale. L'EUEBIO est élevé en AS2 sous E1 et E2, et elle se réduit, avec AS1 sous E1 et E2 (Volet 3 Figure 40).



Volet 3 Figure 39. Variation de l'EUEBIO sous l'interaction ($ASxTx E$)

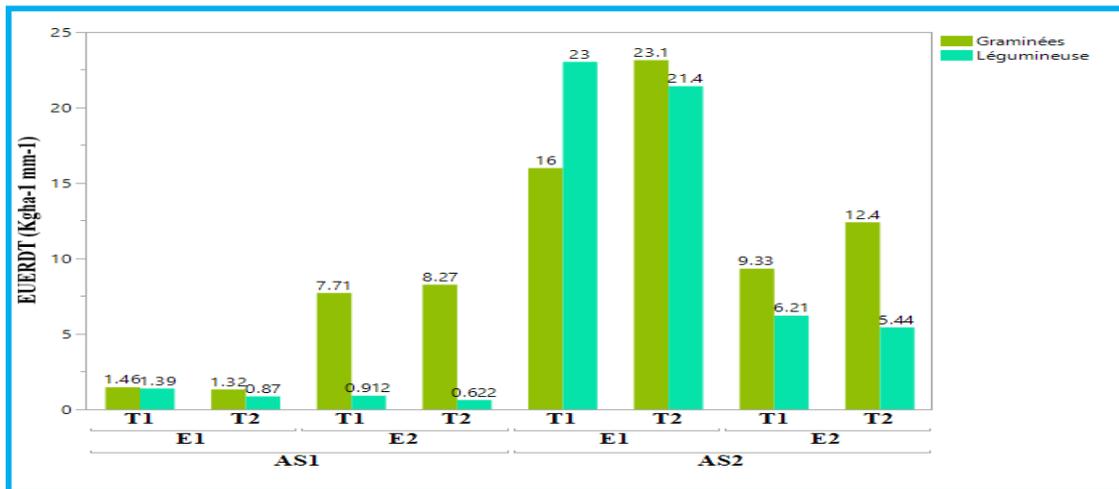
1.2. L'efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement grain

L'EUERDT sous E1 est de valeur [AS2E1 (19,6 kg mm⁻¹ha⁻¹ pour le Triticale et 22,2kg mm⁻¹ha⁻¹ pour la Vesce] (Volet 3 Figure 41). Autrement, et sous les conditions de l'E1, AS1 affiche les faibles valeurs de l'EUERDT que ce soit pour la graminée l'Orge ou la Vesce (Volet 3 Figure 41).



Volet 3 Figure 40. Variation de l'EUERDT sous l'interaction (ASxE)

L'efficacité en utilisation d'eau du rendement en grains et en gousses attester la valorisation en eau de l'AS2 sous les deux régimes hydrique (T1= pluviale et T2= irriguer) sous conditions de l'environnement E1 (Volet 3 Figure 42). L'ordre d'arrangement croissant est décrit par [T=AS1E1T2<AS1E1T1<AS1E2T1<AS1E2T2<AS2E2T1<AS2E2T2<AS2E1T1<AS2E1T2], et [V=AS1E2T2<AS1E1T2<AS1E2T1<AS1E1T1<AS2E2T2<AS2E2T1<AS2E1T2<AS2E1T1]



Volet 3 Figure 41. Variation de l'EUERDT sous l'interaction (ASxTxE)

L'association AS2 valorise mieux l'eau dans l'Environnement E1, avec [(EUEBIO, $kg\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$): 24,96 de la graminée, et 26,6 pour légumineuse); (EUERDT, $kg\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$): 19,56 de la graminée, et 22,22 pour légumineuse)] (Volet 3 Tableau 28 et 29).

Volet 3 Tableau 28. Moyennes des moindres carrées de l'efficacité d'utilisation de l'eau sous l'effet de l'environnement des graminées.

Paramètres mesurés	Cultures	T1	T2	E1	E2
EUEBIO ($kg\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$)	<i>VxFou</i>	6,89	6,44	3,62	9,71
	<i>VxJua</i>	15,65	21,35	24,96	12,04
EUERDT ($kg\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$)	<i>VxFou</i>	4,58	4,795	1,38	7,99
	<i>VxJua</i>	12,65	17,76	19,56	10,86

EUE : efficacité d'utilisation en eau ($kg\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$), VxFou :AS1; VxJua:AS2, T1 : pluvial ; T2 : Irriguer.

Tableau 29. Moyennes des moindres carrées de l'efficacité d'utilisation de l'eau sous l'effet de l'environnement de la légumineuse.

Paramètres mesurés	Cultures	Pluviale T1	Irriguer T2	BBA E1	SÉTIF E2
EUEBIO ($kg\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$)	<i>VxFou</i>	7,48	6,67	8,42	5,74
	<i>VxJua</i>	22,47	20,74	26,60	16,61
EUERDT ($kg\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$)	<i>VxFou</i>	1,15	0,74	1,12	0,76
	<i>VxJua</i>	14,62	13,42	22,22	5,82

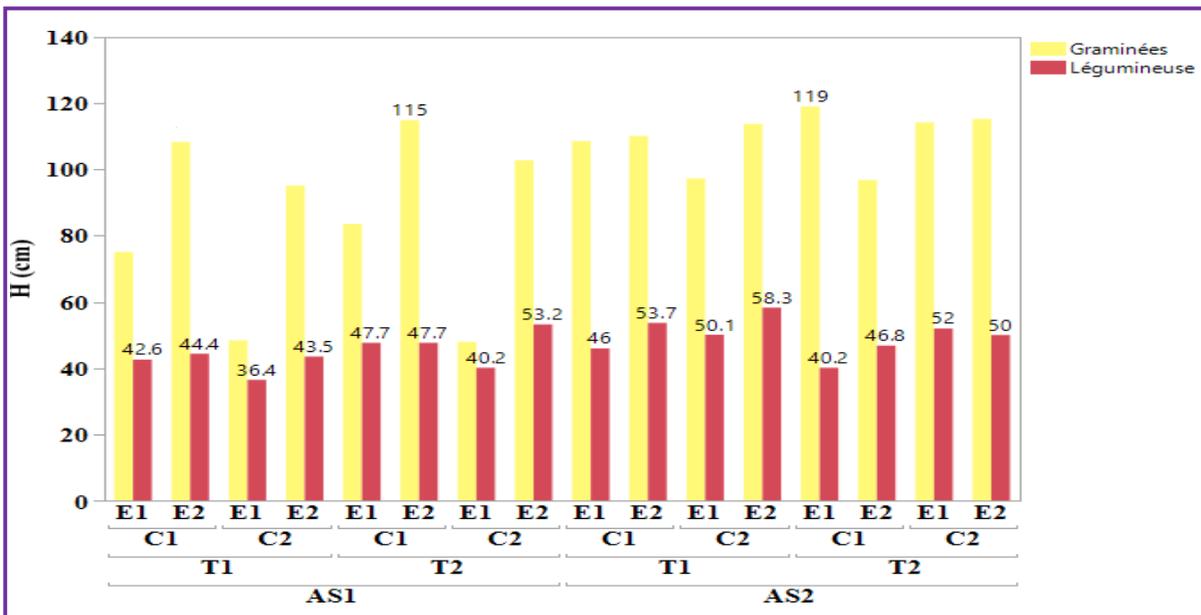
EUE : efficacité d'utilisation en eau ($kg\text{ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$), VxFou :AS1; VxJua:AS2; T1 : pluvial ; T2 : Irriguer.

Effet Interaction ASxTxCxE

Les composantes de rendement des Associations végétales

1. La hauteur (Hg, Hl)

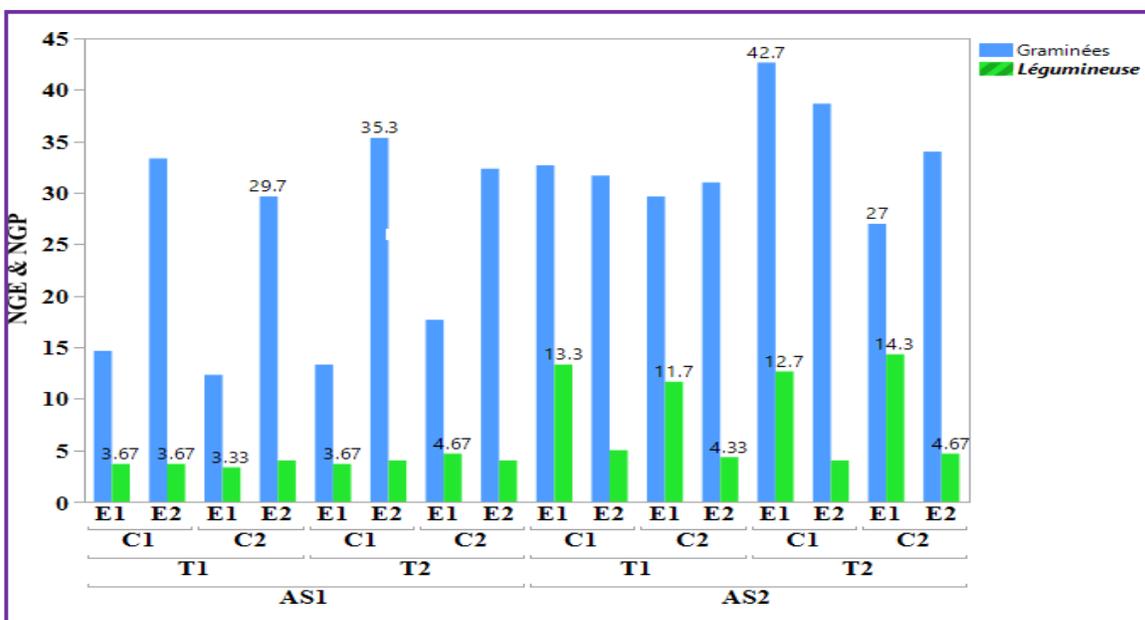
Sous l'effet de l'interaction ASxTxCxE, le mélange (Triticale x Vesce) se manifeste avec les meilleures valeurs sous l'effet du traitement conduit en irriguer, durant la première saison, et sous conditions de l'environnement E1 (Volet 3 Figure 43). La hauteur de la céréale été de 119cm tandis que la Vesce enregistre une valeur de 40,2cm. Autrement l'association AS1 indique sa valeur la plus élevée sous l'interaction (AS1xT2xC1xE2) (Volet 3 Figure 43).



Volet 3 Figure 42. Variation de la Hauteur sous l'effet de l'interaction $AS \times Tx \times C \times E$

2. Nombres de grains par épi et de gousses par plant (NGE, NGP)

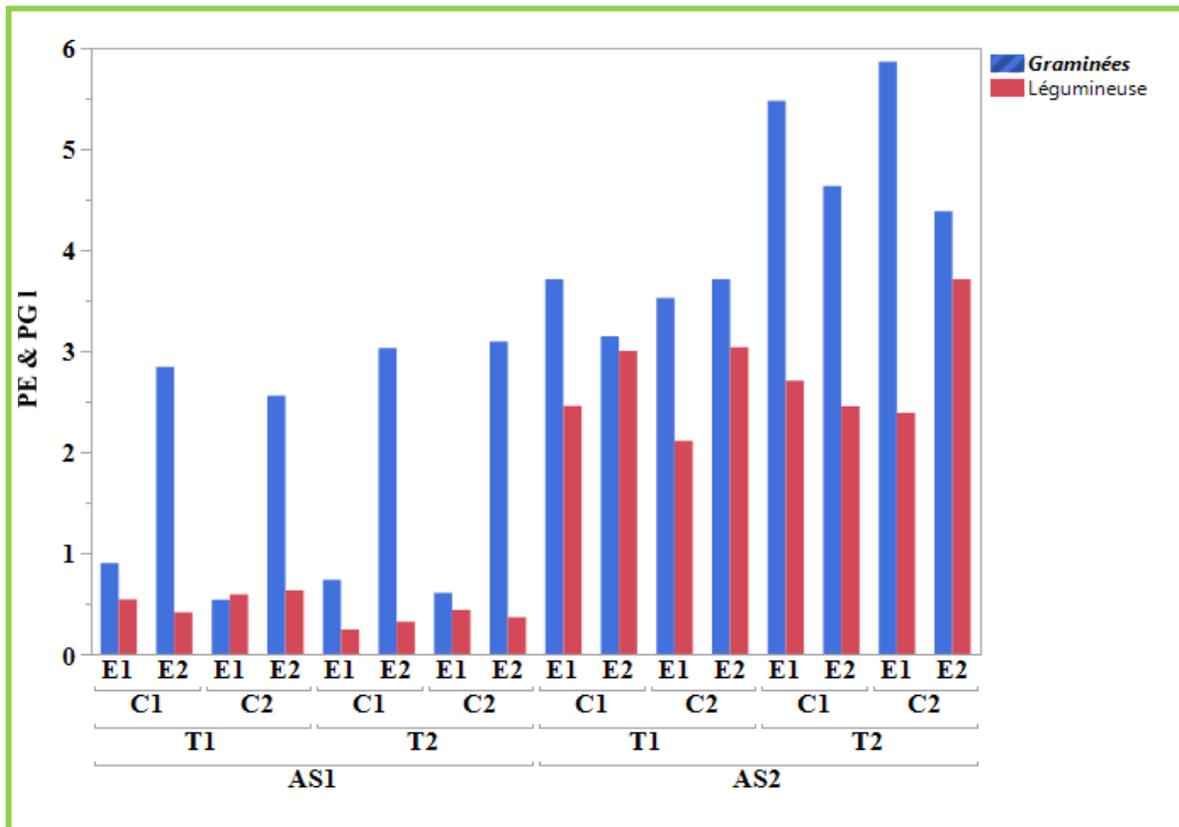
Triticosecale se manifeste par le nombre de grains par épi le plus élevé par rapport à l'orge sous l'interaction $AS \times Tx \times C \times E$, 42,7 contre 35,3 grains par épi respectivement (Volet 3 Figure 44). Toutefois, *Vicia sativa* en mélange avec le Triticale se développe mieux qu'avec l'orge, elle a produit 14,3 gousses en AS2, alors qu'une différence de 9,63 gousses a été calculer au niveau de l'AS1 (Volet 3 Figure 44).



Volet 3 Figure 43. Variation du NGE et NGP sous l'effet de $AS \times Tx \times C \times E$

3. Le poids des épis et des gousses (PE et PG, g)

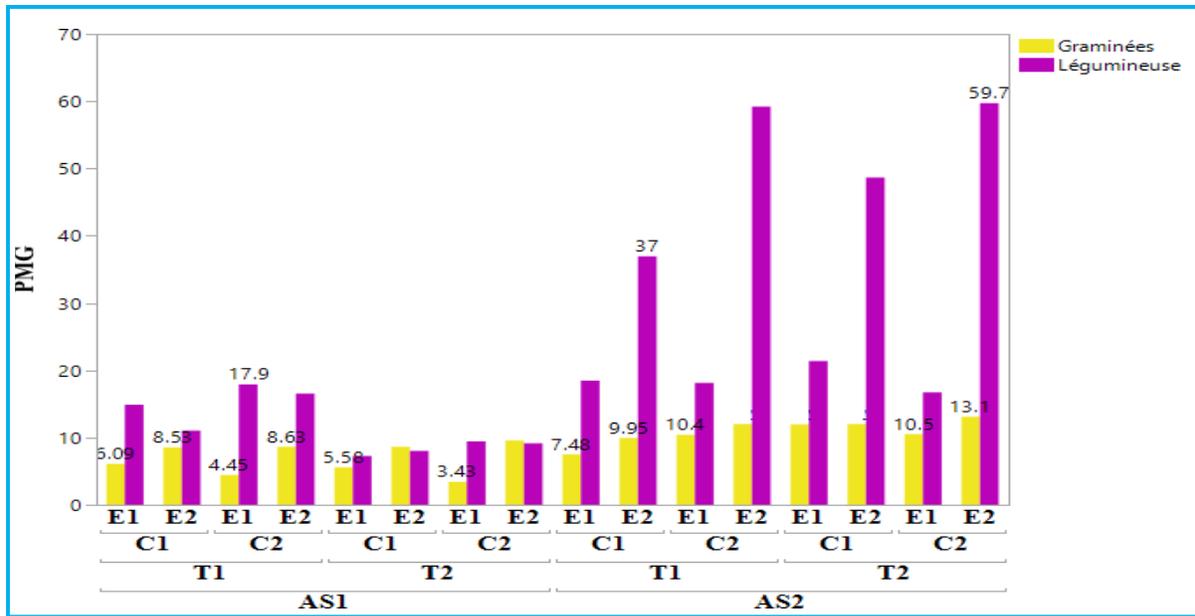
Les valeurs des poids des céréales ou bien de la légumineuse sous l'effet de l'interaction *Association x Traitement x Compagne agricole x Environnement* indiquent une large différence, sous l'effet de la meme interaction ($T2 \times C2 \times E1$), Junillo affiche un poids de 5,87g, alors que Fouara enregistre 0,60g seulement (Volet 3 Figure 45). Cepondant, et sous ($T2 \times C2 \times E2$) la légumineuse *Vicia sativa* calcule une différence de 3,31g entre AS2 et AS1 (Volet 3 Figure 45).



Volet 3 Figure 44. Variation du PE et PG sous l'effet de $AS \times T \times C \times E$

4. Poids de mille grains des graminées et de la légumineuse (PMGg et PMG1, g)

Les conditions de l'E2 apparis meilleur pour le developpement du Juanillo au niveau du PMG, avec des valeurs été entre 37g et 59,7g, la meme observation pour la Vesce commune (9,95g à 13,1g) (Volet 3 Figure 46). Cepondant, l'Orge enregistre un PMG de 17,9g sous l'effet de l'interaction ($T1 \times C2 \times E1$)

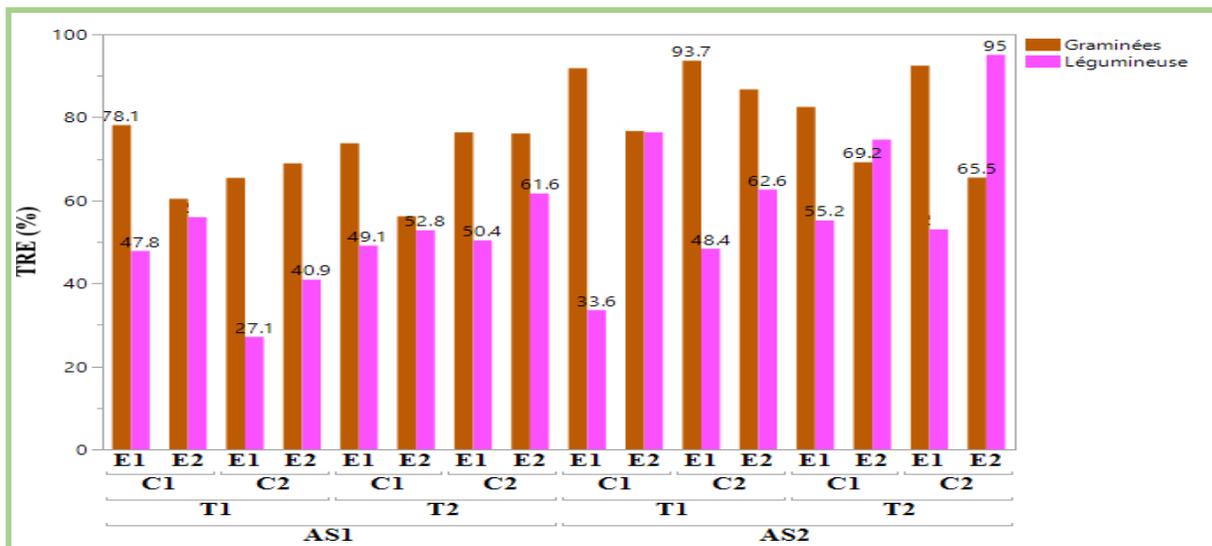


Volet 3 Figure 45. Variation du PMG sous l'effet de $AS \times Tx \times C \times E$

Les paramètres physiologiques mesurés chez les Associations

1. La teneur relative en eau (TRE%)

Vicia sativa en association avec le Triticale se distingue par le % le plus élevé de la TRE (95%) sous l'effet ($T2 \times C2 \times E2$), puis Juanillo (93,7% $T1 \times C2 \times E1$) et Fouara avec 78,1% sous l'effet de l'interaction ($T1 \times C1 \times E1$) (Volet 3 Figure 47).

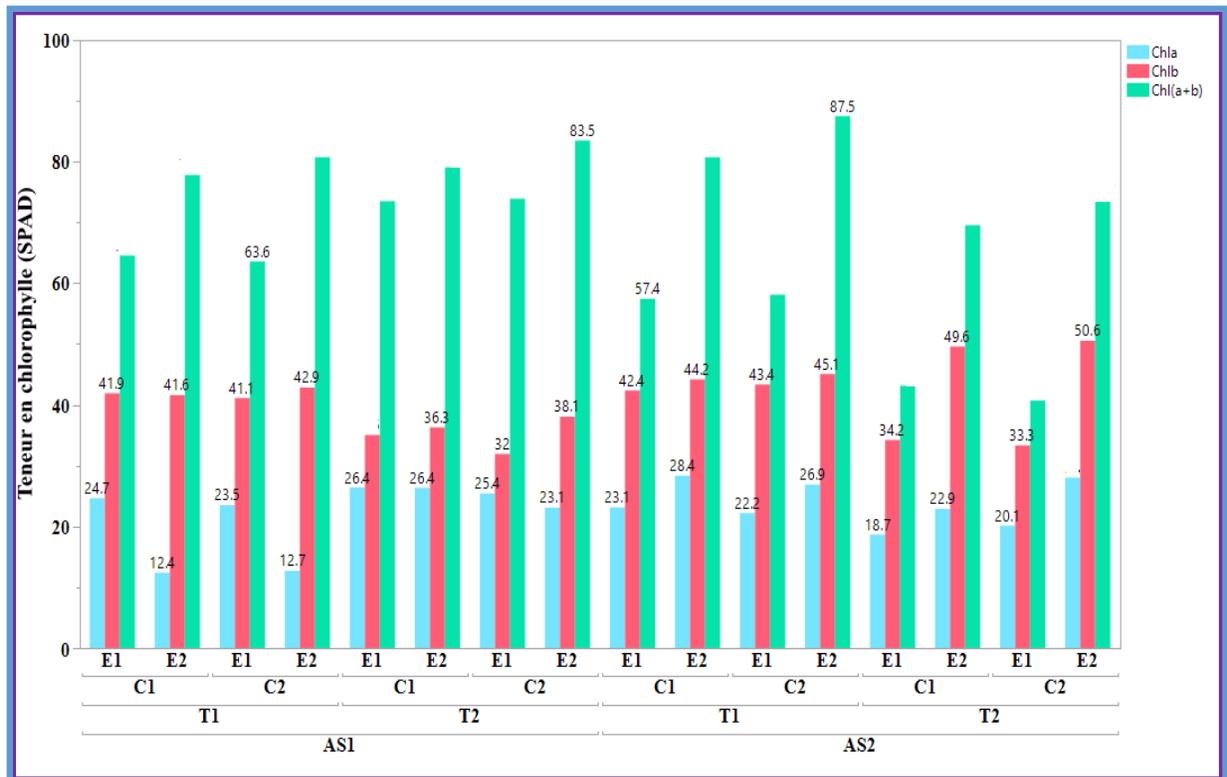


Volet 3 Figure 46. Variation du pourcentage de la TRE sous l'effet de $AS \times Tx \times C \times E$

2. La teneur en chlorophylle (SPAD)

2.1. La chlorophylle chez les céréales

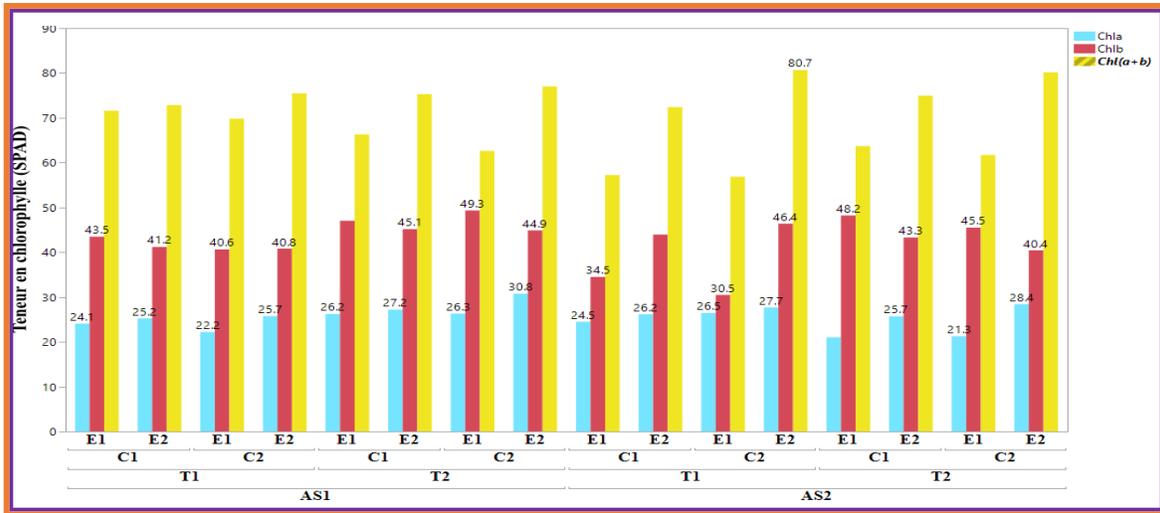
Le taux chlorophyllien de type (a + b) chez les céréales est estimé à 87,5 SPAD Triticale sous ($T1 \times C2 \times E2$) et 83,5 SPAD Fouara sous l'interaction ($T2 \times C2 \times E2$), il est entre 34,2 et 50,6 SPAD pour le type b du Juanillo, alors que le Chl a enregistre des valeurs allant de 12,4 à 28,4 SPAD (Volet 3 Figure 48).



Volet 3 Figure 47. Variation de la teneur en chlorophylle des graminées sous l'effet $AS \times T \times C \times E$

2.2. La chlorophylle chez la légumineuse

La légumineuse *Vicia sativa* en association avec Fouara révèle des teneurs en chlorophylle de type a et b plus hautes [(chl_a, SPAD= 30,4 ($T2 \times C2 \times E2$), et (chl_b, SPAD = 49,3 ($T2 \times C2 \times E1$)] (Volet 3 Figure 49). Tandis qu'avec *Triticosecalle*, la vesce commune s'impose avec une valeur supérieure a 80 SPAD sous l'effet de l'interaction du pluviale en 2019/2020 et sous conditions de l'environnement de Sétif (Volet 3 Figure 49).

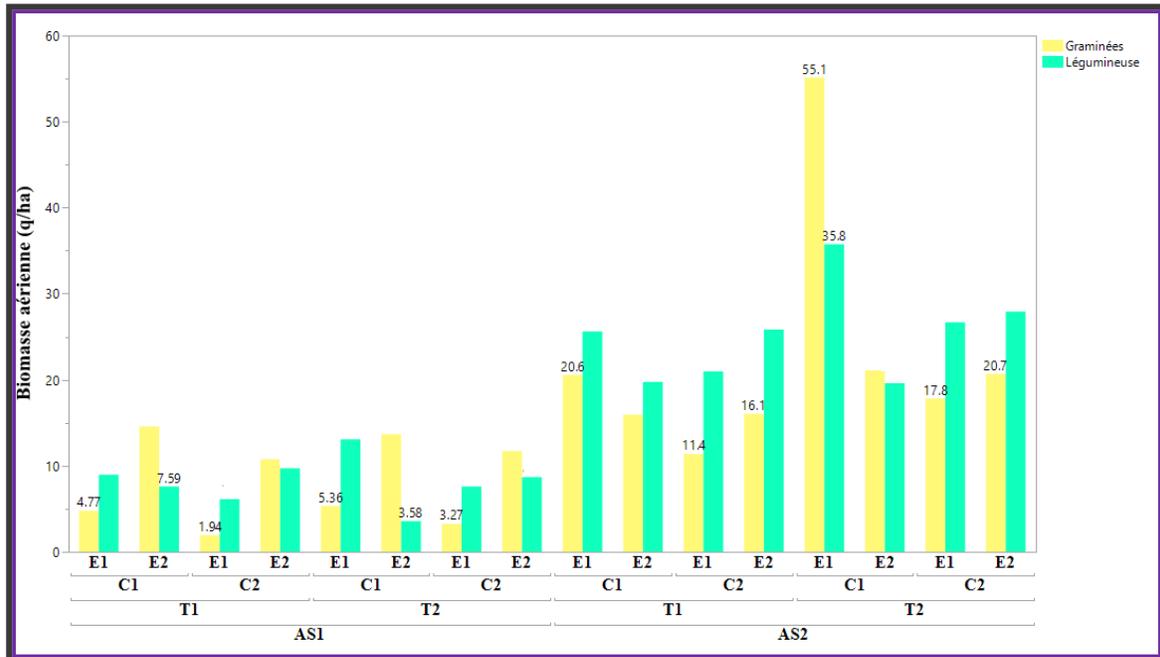


Volet 3 Figure 48. Variation de la teneur en chlorophylle de la légumineuse sous $ASxTxCxE$

La productivité des Associations

1. Biomasse aérienne

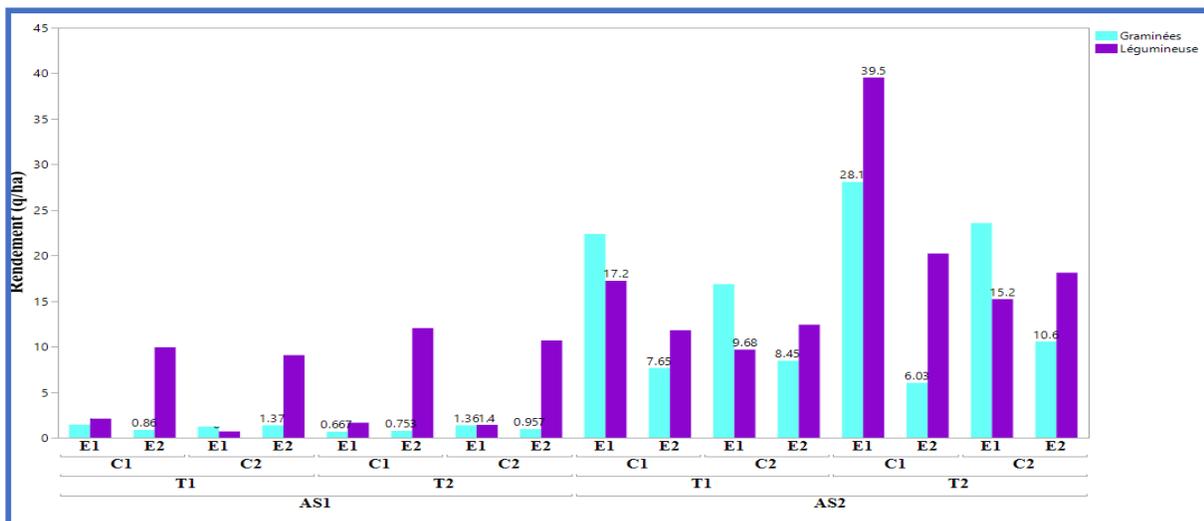
La biomasse aérienne sous l'effet de l'interaction ($ASxTxCxE$) désigne l'association AS2 la plus productrice sous le traitement conduit en irriguer (T2), sous condition de la saison agricole (C1), et dans l'environnement E1 avec 55,1 q/ha enregistré par Juanillo et 35,8 q/ha de la part de la légumineuse (Volet 3 Figure 50).



Volet 3 Figure 49. Variation de la Biomasse aérienne sous l'effet de $ASxTxCxE$

2. Rendement en grains et en gesses

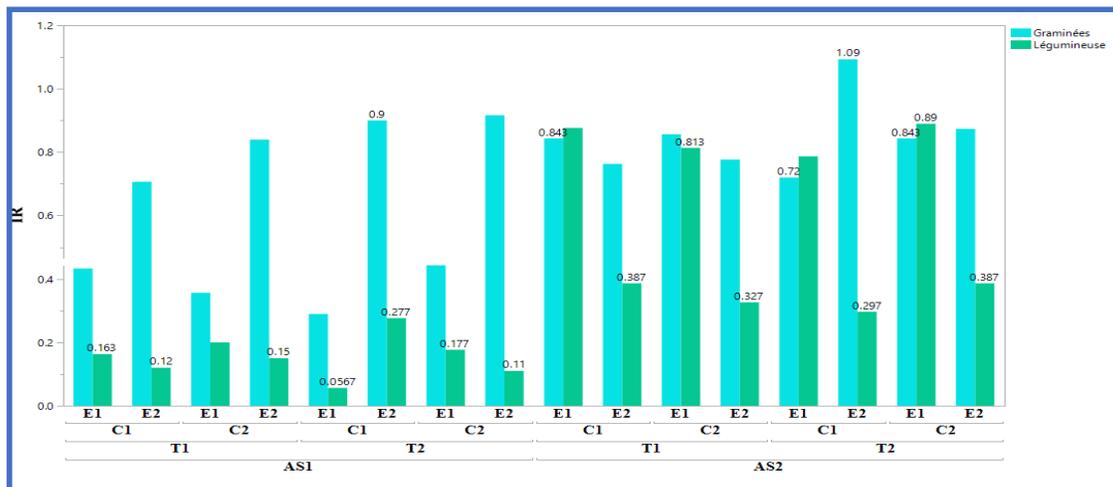
La meilleure interaction pour le rendement en grains et en gousse du mélange (*Juanillo x Vicia sativa*) est celui (T2xC1xE1) ou la légumineuse a produit 39,5 q/ha, et la céréale 28,5q/ha (Volet 3 Figure 51). Sous la même interaction Fouara donne un rendement en grains de 0,66q/ha, tandis que la vesce commune dépasse la céréale de 0,99q/ha (Volet 3 Figure 51).



Volet 3 Figure 50. Variation du rendement en grains et en gesses sous l'effet de $ASxTxCx E$

3. Indice de récolte

L'IR est mentionner par la préférable valeur pour les céréales sous l'effet ($T2xC1xE2$) avec (1,09 et 0,9) Juanillo et Fouara respectivement (Volet 3 Figure 52). Différemment, la Vesce indique des valeurs d'IR de 0,89 sous ($T2xC2xE1$) en AS2, et 0,27 sous ($T2xC1xE2$) en AS1 (Volet 3 Figure 52).

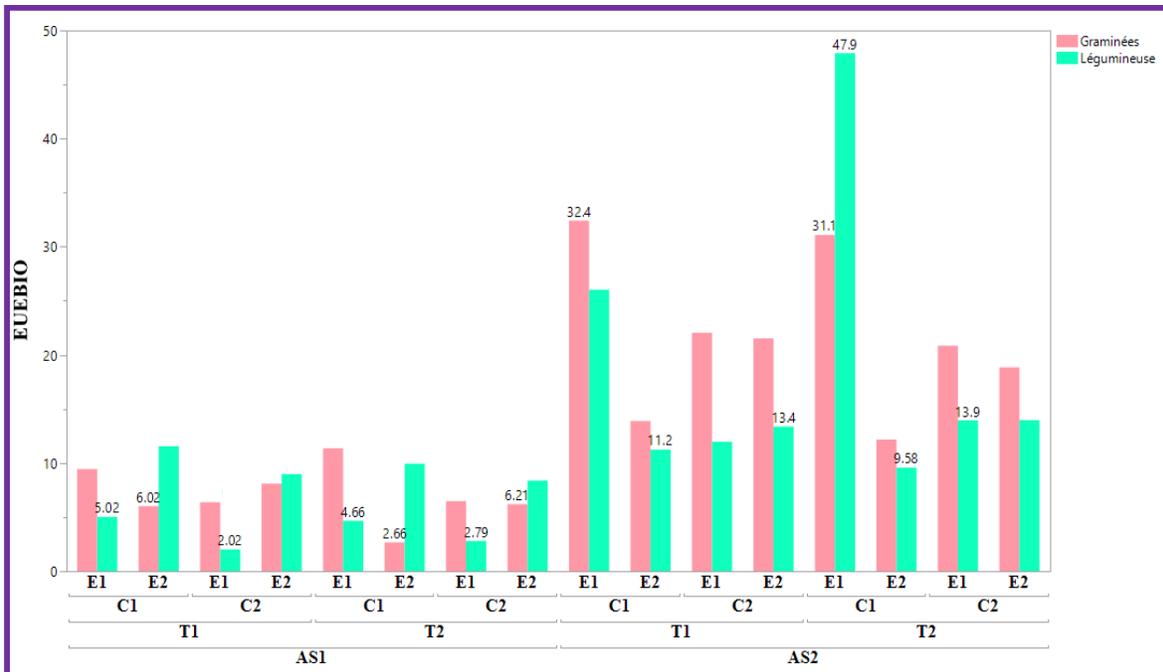


Volet 3 Figure 51. Variation de IR sous l'effet de $ASxTxCx E$

La réponse des Associations à l'Efficiace de l'Eau

1. L'efficiace d'utilisation de l'eau pour la biomasse aérienne

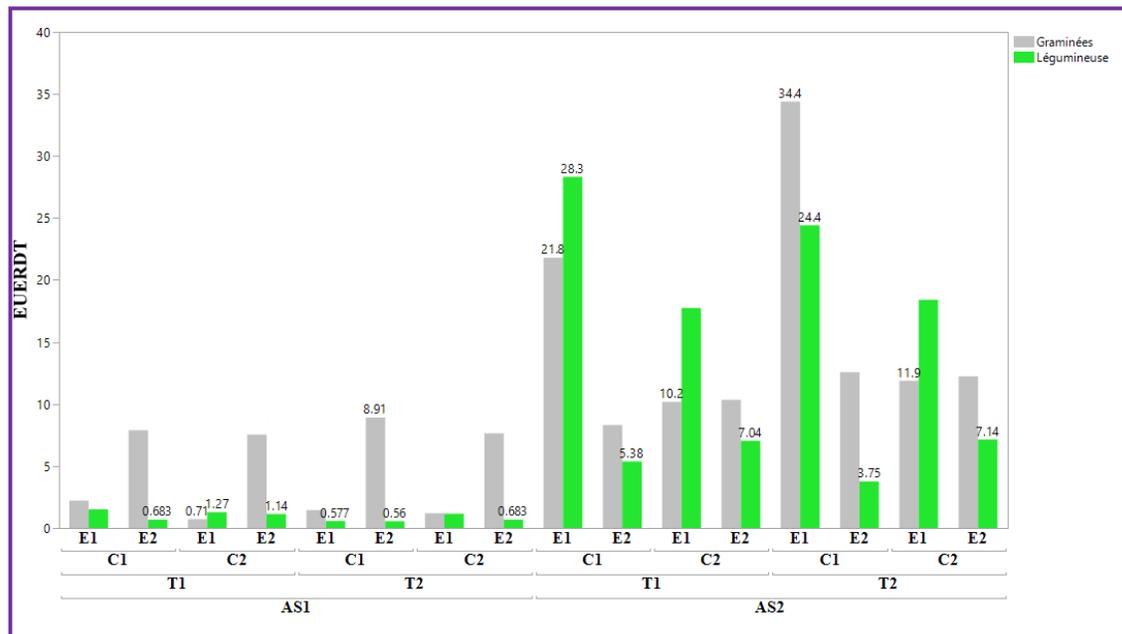
La variation de l'EUEBIO enregistré par les associations testées sous l'effet de l'interaction ($ASxTxCxE$), varie de $47,9 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ($T2xC1xE1$) à $2,02 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ($T1xC2xE1$) de la Vesce, et de $32,4 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ Triticale ($T1xC1xE1$) à $2,66 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ Orge ($T2xC1xE2$) (Volet 3 Figure 53).



Volet 3 Figure 52. EUEBIO sous l'effet de $ASxTxCxE$

2. L'efficiace d'utilisation de l'eau pour le rendement grain

Sous $ASxTxCxE$ les rendements en grains des associations (*Triticale x Vicia sativa*) et (*Fouara x Vicia sativa*) observés sont décrit comme suit : le Triticale (AS2) valorise mieux l'eau sous l'effet ($T2xC1xE1$), avec $34,4 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ et $24,4 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ par la légumineuse, ainsi que la Vesce indique sa meilleur valorisation ($28,3 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$) sous l'effet de l'interaction ($T1xC1xE1$) ou Juanillo enregistre moins (Volet 3 Figure 54). Toutefois, l'Orge évalue son EUEBIO de $0,71 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ($T1xC2xE1$) à $8,91 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ($T2xC1xE2$), la vesce commune note une valorisation allant de $0,56 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ($T2xC1xE2$) à $1,27 \text{ kgha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ($T1xC2xE1$) (Volet 3 Figure 54).



Volet 3 Figure 53. EUERDT sous l'effet $AS \times Tx \times Cx E$

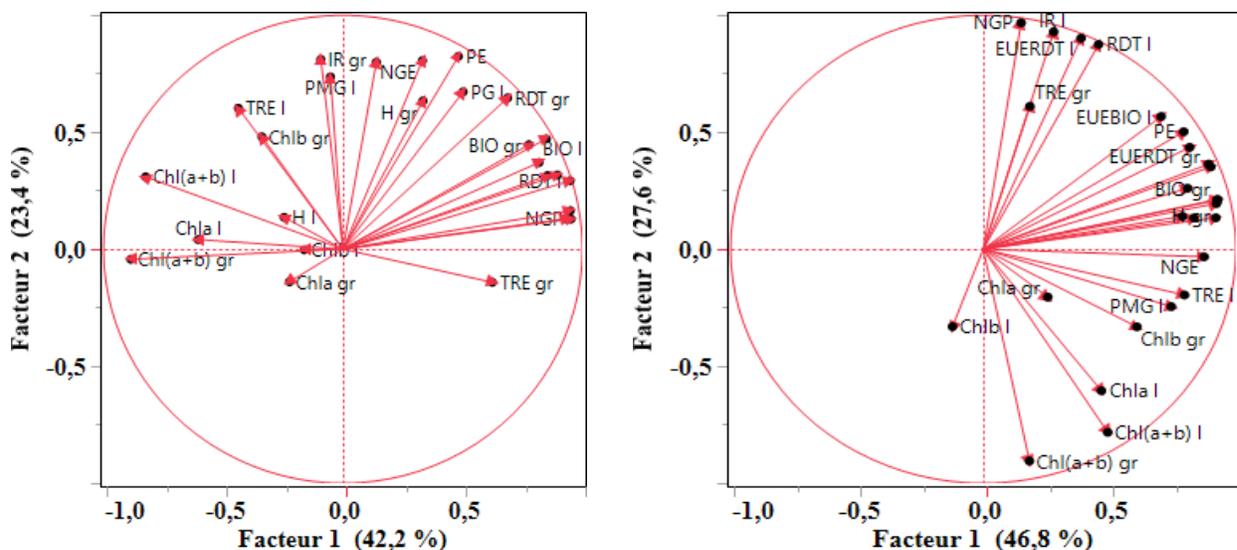
2. Analyse factorielle d'ACP des facteurs mesurés

2.1. Sous l'effet Campagne agricole

L'analyse factorielle des principales composantes au cours de la campagne agricole C1 révèle une forte corrélation positive entre les paramètres des graminées [H , NGE , PE , IR , $Chlb$] et de la légumineuse vicia Sativa [PG , PMG , TRE], avec le facteur F2 23.4% de l'information. Cependant, sur l'axe principale de l'ACP, F1 explique 42.2% de l'information, une forte corrélation positive entre les paramètres des graminées et de la légumineuse, les paramètres [BIO , RDT , $EUERDT$, $EUEBIO$, TRE_{gr} , NGP , PG , IRI], avec le facteur F1 (42.2%). Une forte corrélation négative s'affiche entre [$Chl(a+b)gr$ (-0,82) et F1] (Volet 3 Figure 56a).

Ainsi, les résultats de la campagne (C1) indiquent que l'information est expliquée à 42.2% et 23.4% par [F1(Axe1), F2(Axe2)], d'où apparaît 65.6 de la variation globale. En revanche, le plan formé par les deux dimensions (F1, F2) appréhende de manière appréciable l'interprétation des réponses des espèces et des relations entre les variables mesurés sous l'effet de la saison agricole. Il est intéressant de noter que le premier axe (F1) est déterminé par la productivité de l'eau chez les la légumineuse (*Vicia Sativa*) et chez la céréale, surtout du côté positif. Par contre le second Axe (F2) se distingue par les composantes de rendement (Volet 3 Figure 56a).

La seconde campagne(C2) (Volet 3 Figure 56b) se distingue par une analyse factorielle de l'ACP accusant de fortes corrélations entre les paramètres des céréales [H, BIO, EUERDT, PE, NGE, Chlb] et de la légumineuse [EUEBIO, EUEBIO, RDT, TRE, TRE, PMG], avec F1 (46.8%). D'autre part, une forte corrélation positive avec F2 (27.6%) des paramètres des graminées [TRE, NGE] et de la légumineuse [NGP, RDT, IR, EUERDT, et EUEBIO], mais une corrélation négative avec *Chl(a+b)* des deux espèces et *Chla* de la légumineuse (Volet 3 Figure 56). Ainsi, 74.0% de l'information sur la variabilité entre les espèces graminées et légumineuse à travers les variables mesurées. Ainsi, au cours de la saison agricole (C2), l'axe(F1) pour les graminées (Composantes de RDT, EUERDT), *Vicia sativa* (EUERDT, EUEBIO, RDT, TRE).

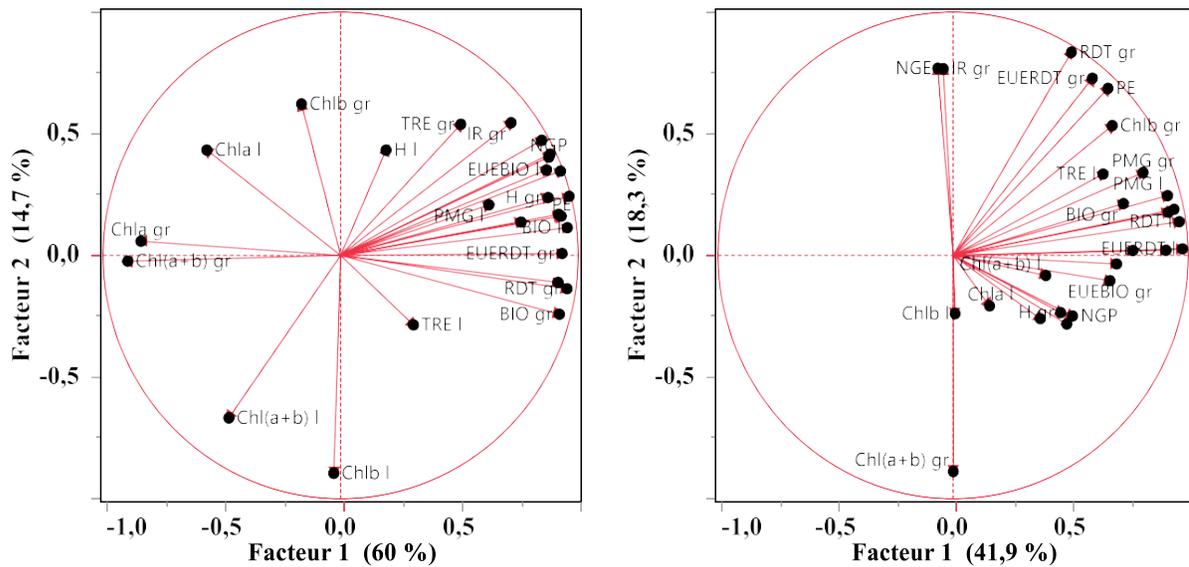


Volet 3 Figure 54. Représentation graphiques des paramètres mesurés chez les graminées et *Vicia Sativa*

2.2. Sous l'effet Environnement

Il apparaît que les paramètres mesurés chez les graminées et chez la légumineuse, sous l'environnement E1, sont positivement et fortement corrélés avec F1, à l'exception de la teneur en chlorophylle, paramètre physiologique qui apparaît négativement corrélés avec F1(60.0%) [(Chla (- 0,84), Chl(a+b) (- 0,89)] des graminées, et pour *Vicia Sativa* [(Chla (-0,56), chl(a+b) (- 0,47)]. L'axe F2(14.7%) présente une forte corrélation positive avec les indices de récolte des deux espèces (Volet 3 Figure 57a). De faibles corrélations apparaissent sur le cercle de l'ACP, l'axe F1 indique les paramètres de la légumineuse [H, TRE]. Sur l'axe F2, apparaissent les graminées avec [H, NGE, PMG, EUERDT, Chla] et *Vicia Sativa* avec [PMG, BIO, RDT et EUEBIO] de la légumineuse (Volet 3 Figure 57a). Les paramètres mesurés sont moins dispersés dans l'ACP de

l'Environnement E2 (Volet 3 Figure 57b). Le F1 contient la majorité des paramètres graminée et légumineux qui sont positivement corrélés, à l'exception de deux paramètres [(NGE) (-0,065) et IR des graminées (-0,041), corrélés faiblement et négativement (Volet 3 Figure 57b). Seuls quatre des 13 phénotypes des graminées mesurées sont négativement et faiblement corrélés avec F2 [(H=-0,23; EUEBIO= -0,10, TRE= -0,25; et Chla= -0,03)], alors que la légumineuse présente des corrélations faibles et négatives pour les caractères mesurés [(H=-0,28, NGP= -0,24; chla= -0,20; chlb= -0,23; et la chlorophylle (a+b)= -0,08 (Volet 3 Figure 57b).

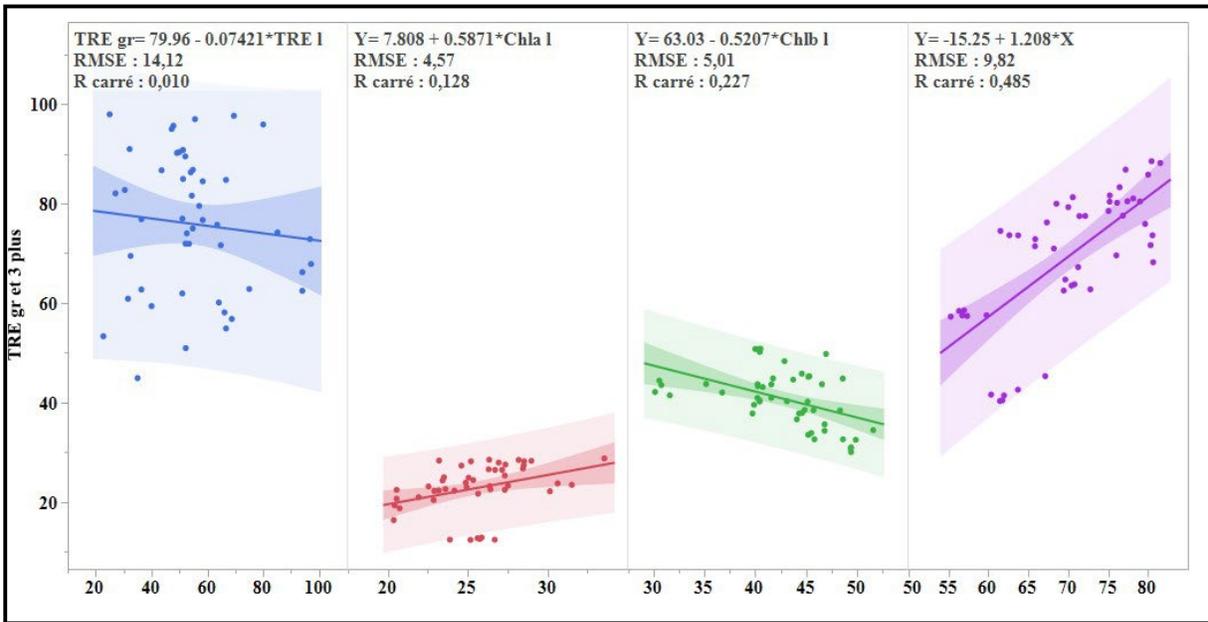


Volet 3 Figure 55. Représentation graphique des paramètres mesurés chez les graminées et Vicia Sativa

3. Régressions linéaires des paramètres mesurés

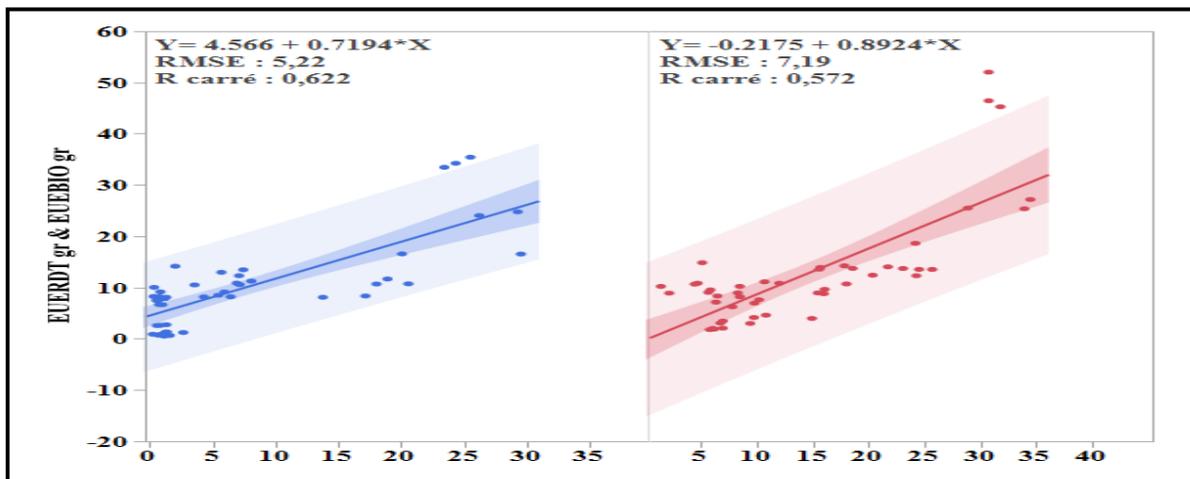
Une grande dispersion des pourcentages de la teneur relative en eau est indiquée par l'erreur quadratique moyenne élevée (14,12), suivie par une faible corrélation entre TRE des graminées et celle de Vicia Sativa, avec $TRE_{gr} = - 0,074TRE_I + 79,96$ (Volet 3 Figure 59). Pour la chl,

$Chl(a+b)_{gr} = 1,21Chl(a+b)_I - 15,25$, pour les chlorophylles totales, les valeurs des chlorophylles totales sont moins disperser un RMSE de 9,82, et une bonnes corrélations $r^2 = 0,48$ (Volet 3 Figure 59).



Volet 3 Figure 56. Régression linéaire des paramètres physiologiques

La figure 60 montre la présence d'une corrélation appropriée pour les deux paramètres biomasse et rendement ($r = 0,57$ et $r = 0,62$). Le RMSE confirme une dispersion raisonnable, tout comme les équations de régression positives.



Volet 3 Figure 57. Régression linéaire de l'efficacité en utilisation d'eau RDT et BIO

4. Classification ascendante hiérarchique des facteurs sur les variables mesurées (CAH)

Nous avons choisi le CAH pour étudier les différentes modalités et similitudes des facteurs en relation avec les variables étudiées (Volet 3 Figure 61).

La figure 61 est interprétée sur la base d'une similarité de 50 % sur deux années d'études. Nous avons découvert huit groupes.

Cluster 1 : il délimite leurs supériorités en mesure des variables étudiées, il est composé de : *ASITIC1E1* ; *ASIT2C1E1* ; *ASIT2C2E1* ; et *ASITIC2E1*.

Cluster 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; et 6, sont formées par deux interactions qui sont :

Cluster 2 : *ASITIC1E2* ; et *ASITIC2E2* ;

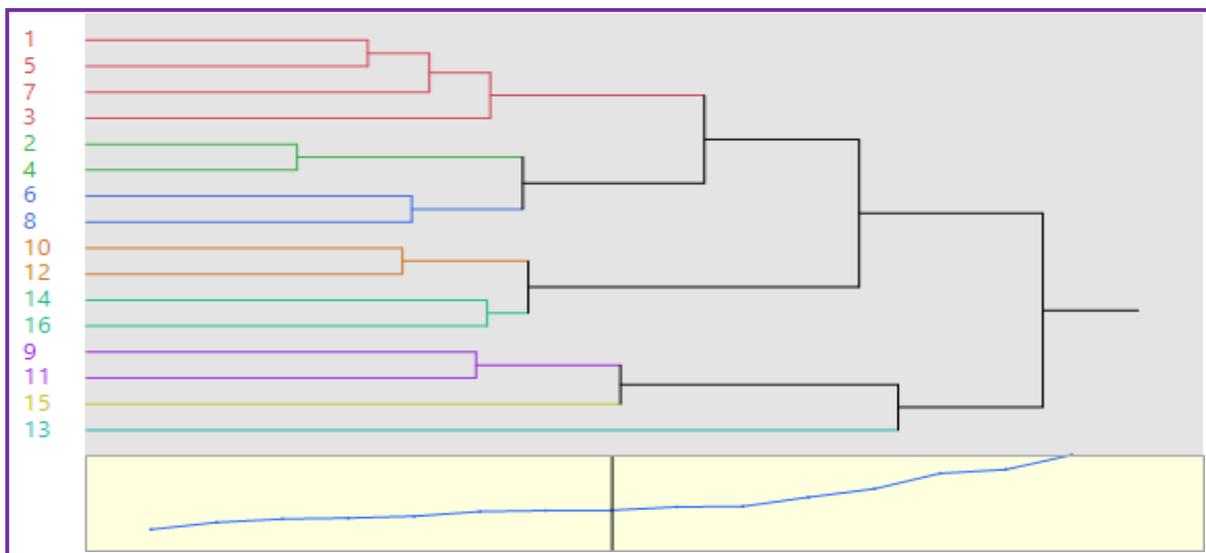
Cluster 3 : *ASIT2C1E2* ; et *ASIT2C2E2* ;

Cluster 4 : *AS2TIC1E2* ; et *AS2TIC2E2* ;

Cluster 5 : *AS2T2C1E2* ; et *AS2T2C2E2* ;

Cluster 6 : *AS2TIC1E1* ; et *AS2TIC2E1*.

Clusters 7 : (*AS2T2C2E1*) et *8* : (*AS2T2C1E1*), sont formées exclusivement par une seule interaction, marquant sont divergences par un fort taux des paramètres étudiés. (Volet 3 Figure 61).



Volet 3 Figure 58. Classification ascendante hiérarchique des facteurs sur les variables mesurées

L'analyse des résultats des essais réalisés sur les associations [*AS1* (*Orge (Fouara) x Vesce (Vesce commune)*) et *AS2* (*Triticale (Juanilo) x Vesce (Vesce commune)*)], révèlent la divergence significative pour *AS1* et *AS2* pour les variables mesurées sous les facteurs étudiés et les différentes interactions. La même suggestion a été communiquée par (Ouknider et Jacquard, 1986). En effet, les auteurs indiquent que les états de croissance et de développement du Triticale s'améliorent par son association à *Vicia Sativa*. L'association réalise plus de biomasse aérienne confirmée par l'effet significatif sous l'influence de l'AS. Ces résultats coïncident avec nombreux travaux sur les

associations (Fauconnier, 1982; Hayne, 1980; Beji, et Khemir, 2012).

La production des associations (*Triticale x Légumineuse*) est d'autant plus importante que la part de la légumineuse est élevée au semis, ceci a été observé aussi dans les expérimentations de l'équipe de Esmeralda. et *al.*, (2013). Chez les témoins (Yucel et Avci., 2009), la faiblesse des valeurs nutritives de la vesce des mélanges contenant des taux élevés de vesce, aussi il montre que le fourrage vesce a plus de valeur que celui de la vigne. Une augmentation est marquée pour les paramètres mesurées de l'association (*Triticale x Vesce*) durant les deux campagnes agricoles (C1= 2018/2019, et C2= 2019/2020) et pour E1 et E2, nos résultats coïncident avec ceux de (Hechemi, 1999), qui confirme que la meilleure association est celle du (*Triticosecale x Vicia sativa*), où la céréale s'adapte bien aux situations d'excès en eau ainsi que le type du sol, il est résistant et mieux adapté aux maladies et au froid, et dans ces conditions, la légumineuse prouve un fort développement, relativement à l'association (*Orge x Vesce*), il semble que l'orge pénalise la vesce. Nos résultats se révèlent similaires, donc soutenus par ceux de (Ouknider et Jacquard, 1986), qui ont identifié que l'ajout de Vesce améliore la croissance et le développement du Triticale, et que la biomasse était significativement affectée par le mélange de semis. (Fauconnier, 1982; Hayne, 1980; et Beji et Khemir, 2012). Bachi et *al.*, (2021) communiquent que le triticale et l'orge, récoltés pour l'ensilage (stade pâteux), ont fourni les meilleurs résultats quantitatifs et qualitatifs aussi bien en culture pure qu'en association avec la vesce commune et le pois, déterminés principalement par le grain de céréale.

Conclusion et Perspectives

Conclusion

En environnement semi-aride des Hauts Plateaux Sétifiens, les avènements des risques liés à des périodes occurrentes de déficit climatique et d'inondation sont classés conséquemment dommageables. En effet, ils génèrent des conséquences irréversibles sur les terroirs des agroécosystèmes considérés au préalable vulnérables (Chennafi, 2012). Alors la situation reste complexe, car selon par les scénarios climatiques élaborés par les chercheurs, c'est une zone potentiellement positionnée aux évènements extrêmes qui risquent d'être engendrés par le changement climatique. Dès lors, la gestion particulièrement d'adaptation et aussi de résilience se révèle un outil de protection. D'ailleurs, la région appartient au contexte agroclimatique méditerranéen, donc estimée l'une de celles où le changement climatique est déterminé avec un impact radical (GIEC, 2021). Donc, la gestion de l'agrosystème à travers les pratiques agroenvironnementales s'impose. En revanche, la recherche relative à *la caractérisation de génotypes de blé et cultures Fourragères Conduits en Systèmes d'Adaptation à un Éventuel Changement Climatique en milieu des Hauts Plateaux Sétifiens* se révèle fondamentalement centrée pour contrebalancer, donc pour réguler les effets désastreux. Ainsi, l'esquisse climatique décèle une variabilité interannuelle prononcée de la température moyenne annuelle et de la précipitation. L'approche est aménagée à travers les régimes thermiques et pluviométrique structurés sur une série de données de 119 années d'observations, fournis par *Climatic Research Unit gridded Time Series (CRU TS, 2022)*. Il se profile que sur les deux environnements (E1, E2), la température décroît avec l'altitude. D'ailleurs, la température baisse avec l'altitude et aussi avec la latitude (Wang et al., 2011). C'est ainsi que la décroissance est d'autant plus accélérée sur E2 (Sétif) distingué par une altitude de 1180m, comparativement à E1 (Bordj Bou Arreridj) qui se localise à une altitude de 1090m. En fonction des températures et des précipitations, l'analyse du climat sur la période de 1901-2020, décèle les risques d'un changement climatique. En effet, la température moyenne annuelle semble avoir augmenté. Ainsi, l'analyse des valeurs descriptives du climat au cours de la période décrit en conséquence un gradient thermique spatiotemporel. Alors, pour E1, un gradient thermique temporel $[(\Delta T/\Delta an) = 3.5^{\circ}C]$. Et pour E2, cette variation apparaît inférieure, affichant $[(\Delta T/\Delta an) = 2.5^{\circ}C]$. En grande partie, l'écart s'explique par l'influence de l'altitude. Aussi, la variation spatiotemporelle du gradient pluviométrique reflète le caractère intermittent du cumul annuel sur E1 et E2.

En effet, les indications divulguent $[E1, (\Delta P/\Delta an) = 336.1mm]$ et $[E2, (\Delta P/\Delta an) = 348,0mm]$. Toutefois, pour les deux environnements, la *température et la précipitation* accusent de manière signification et dans l'ordre, *augmentation et une réduction dans le temps*. Ces révélations confirment que les deux environnements affichent une tendance vers une considération de *réchauffement, dit accéléré* tel

qu'il est décrit en zone méditerranéenne (IM, 2020). En effet, les régions d'étude appartiennent au contexte méditerranéen semi-aride, donc elles s'affichent (<<hotspots>>, *point chaud*) décrit selon les normes établies (GIEC, 2014).

En outre, sur E2 et E1, les campagnes relatives aux expérimentations, en l'occurrence 2018/2019 et 2019/2020, aussi apparaissent se distinguer par une *variation graduelle interannuelle de température* de [(0.2°C - 0.4°C, E1) et (0.1°C - 0.4°C, E2)]. Par ailleurs, l'écart entre les cumuls annuels des campagnes agricoles [(C1 > C2), est de 83.2mm pour E1, et pour E2, 49.0mm]. En liaison avec les saisons agricoles, les gradients des cumuls pluviométriques relatifs aux saisons agricoles entre E2 et E1 dévoilent [C1 (101.3mm), C2 (135.53mm)].

Alors les niveaux des gradients décrivent une variabilité plus prononcée sur E1, entre C1 et C2. D'autre part, Il apparaît que l'écart entre E2 et E1 est plus proclamé en année déficitaire en eau. D'ailleurs, l'altitude favorise les précipitations (Douguédroit et Saintignon, 1984, Wang et al., 2011). Toutefois, le cumul pluviométrique moyen reçu au cours de chacune des campagnes des expérimentations reste faible relativement au seuil moyen recommandé en mm (Chennafi, 2016). Les recherches évaluent la région comme l'une des plus susceptibles d'être affectée par le changement climatique. Donc, les conséquences sont les sécheresses intermittentes alternées d'inondations. Ces processus génèrent la dégradation des sols agricoles, la ressource en eau. Aboutissant à des situations irréversibles tendant vers la désertification dont les impacts sont agro socioéconomiques. En effet, elles déstabilisent les sociétés et génèrent des conflits.

En revanche, les pratiques d'adaptation agroenvironnementales y sont recommandées. En effet, l'adaptation est engendrée par la modification des systèmes d'origine naturelle ou humaine, dont le but est de considérer l'impact réel ou prévisible lié au changement climatique, afin de réduire les effets néfastes, et aussi de s'orienter pour en tirer avantage des bénéfiques apportés par le changement climatique (ONUD, 2019). En conséquence, elles sont appréhendées par 3 volets, 1) *Agroclimat et Changement Climatique*, 2) *Caractérisation des Nouveaux Géotypes de Blé Dur (Triticum durum Desf.) Conduits en Milieu Semi-Aride*, et 3) *Associations de cultures*

Conduites en Pluvial et en Apport d'Eau, en Environnement Semi-Aride. Ainsi, les volets sur la matière végétale sont ceux qui se positionnent et s'intègrent dans les pratiques agroenvironnementales. Le premier ensemble est celui où les quatre éléments sont des géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Waha, Bousselem, Boutaleb, et Oued El Bared). Le second ensemble est celui de deux associations de cultures fourragères [(AS1, (Graminées x Légumineuse), (AS2, Céréale x Légumineuse)]. L'AS1 est [(AS1, *Hordeum vulgare* L., géotype Fouara x Vesce (*Vicia sativa* L.)) et [(AS2, Triticale (*Triticosecale*, juanillo x Vesce, *Vicia sativa* L.)]. Le matériel végétal a été soumis à l'effet 1) Géotype, 2) Apport d'eau, 2) Environnement, 3) Saison agricole ; et 4) A l'interférence des effets combinés. Nombreux paramètres sont mesurés pour le matériel végétal, 1) *Les composantes de rendement*, 2) *les paramètres*

physicochimiques, 3) La productivité, et 4) La valorisation de l'eau.

Cette évaluation probablement aide à préconiser un système considéré d'adaptation aux événements liés au changement climatique. Effectivement, la température et la précipitation, sont intégrées dans le système d'adaptation. Comme la prédiction reste limitée, particulièrement pour les phénomènes extrêmes, donc les pratiques agroenvironnementales sont utiles en environnement semi-aride des Hauts Plateaux Sétifiens. L'analyse des résultats révèlent la performance du nouveau génotype de blé dur Boutaleb, par les caractéristiques [(H= 105,9cm ; NE= 267,5 ; NGE=49,0 ; PMG= 63,9g) ; (RDT= 73,9 qha⁻¹ ; BIO= 136,5qha⁻¹) ; (TRE= 82,8%; Chl(a+b)= 123,5SPAD); (PLL= 94.94 qha⁻¹); (EUEBIO= 104,2 kgha⁻¹mm⁻¹)].

L'ensemble des associations se repère par l'AS2 [(AS2, Triticale (*Triticosecale*, juanillo x Vesce, *Vicia sativa* L.)], en se profilant valorisante sous l'effet des facteurs étudiés relativement à l'AS1, avec [AS2 = *Triticale* x *Vesce*] [(H(cm))(119,0; 40.2); (NGE= 42,7; NGP=12,7; (PE= 5,87g; PG= 2,39g); PMG (13,1; 59,7); BIO(55,1; 35,9 qha⁻¹); RDT (39,5; 28,1 qha⁻¹); TRE (93,7; 48,4); Chla (28,4; 26,2SPAD); Chlb (50,6; 40,4SPAD); EUERDT (34,4 kgha⁻¹mm⁻¹; 24,4 kgha⁻¹mm⁻¹); EUEBIO (47,9 kgha⁻¹mm⁻¹; 31,1 kgha⁻¹mm⁻¹)].

Ces résultats décèlent la réponse effective de l'AS2 (Triticale x Vesce) à l'adaptation aux conditions agropédoclimatiques des Hauts Plateaux Sétifiens, comparativement à [AS1, (Orge x Vesce)]. Il est utile de noter que la productivité de l'AS2 en BIO réalisée est estimée à 91.0qha⁻¹ et RDT= 67.6 qha⁻¹ de grain. Et la productivité de l'eau correspondante est dans l'ordre 79.0 kgha⁻¹mm⁻¹ et 58.8 kgha⁻¹mm⁻¹. Ainsi, les résultats révèlent l'intérêt de l'association des cultures. La diversité des résultats obtenus de ces modèles de pratiques culturales, considérés simples, cependant représentent un outil fondamentalement utile à l'élaboration et à la proposition de complémentarités structurées de systèmes de pratiques agroenvironnementales. D'ailleurs, de l'ensemble1, la sélection de génotypes est recommandée, quantifiée en fonction de leur capacité productive, évaluée potentielle par leurs systèmes d'adaptation à 1) la sécheresse, 2) aux risques des effets des excès d'eau, et 3) à la valorisation du milieu amélioré, par des pratiques spécifiques du sol, d'apport d'eau, donc d'aménagements hydroagricoles. D'autre part, des résultats de l'ensemble2, s'affirment les conséquences effectives de la combinaison de l'association végétale par *céréales* x *légumineuse*. D'où une productivité plus conséquente de biomasse aérienne, de grain, avec une effective valorisation de l'eau. Et d'ailleurs, dans le contexte agroenvironnemental, l'intégration des légumineuses représente intérêt déterminant dans les modalités de gestion des systèmes de cultures. En effet, elles améliorent la qualité du sol et assurent une contribution socioéconomique. L'ampleur des risques des effets du changement climatique est évaluée alarmante. Dès lors, les systèmes d'adaptation urgents et raisonnés sous une approche durable, doivent être imposés pour assurer une

éventuelle adaptation et résilience. Donc, les géotypes performants caractérisés par une productivité appréciable sous des conditions agropédoclimatiques considérées vulnérables, constituent la charpente dans un modèle de système d'adaptation aux effets des risques du changement climatique. L'action est insérée dans un aménagement à court et à long terme, donc une agriculture dite durable. En effet, l'action est double, par la productivité dans l'immédiat et donc au préalable sont imposés tel qu'il est décrit en zone méditerranéenne, le contexte climatique des Hauts Plateaux Sétifiens tend vers une considération de *réchauffement, dit accéléré*. D'autre part, à l'intersection de cette variabilité spatiotemporelle, surgissent les impacts des interactions *climat-sol-végétation*. C'est ainsi que dans la *dimension de l'espace Aménagement Hydroagricole*, la performance du matériel végétal se conçoit pour occuper une place prépondérante. Cette détermination se révèle par 1) l'amélioration de la production et par 2) la protection des ressources naturelles. Nombreux auteurs quantifient et se penchent sur l'intérêt de la couverture végétale sur le sol pour la préservation du potentiel de production, particulièrement en milieu semi-aride (Belagrouz et Chennafi, 2016; Prosdocimi, 2016). Effectivement, l'adoption de *pratiques de gestion des sols et des cultures* qui préserve ou améliorent la stabilité structurale du sol est utile pour assurer une agriculture durable régulant les risques de changement climatique (Blanchy et al., 2023).

Perspectives

Dans le cadre de la caractérisation des génotypes de blé et des cultures fourragères pour un système d'adaptation aux alias climatiques, il faut une identification de variétés de blé et de cultures fourragères résistantes aux conditions extrêmes, des recherches peuvent être menées pour identifier des génotypes de blé et de cultures fourragères qui sont plus résistants aux conditions météorologiques telles que les sécheresses prolongées. Ainsi que le développement de méthodes d'amélioration de génotypes adaptés au changement climatique : Des techniques de sélection génétique peuvent être utilisées pour sélectionner des génotypes de blé et de cultures fourragères qui sont plus adaptés aux conditions climatiques changeantes, notamment, les pratiques agricoles durables peuvent être développées pour aider les agriculteurs à produire des cultures plus résistantes tout en minimisant l'impact environnemental.

Cependant, l'intégration de l'analyse génétique et des données climatiques pour prédire l'adaptation future des cultures ou les données génétiques et climatiques peuvent être intégrées pour aider à prédire comment les cultures pourraient s'adapter aux conditions climatiques futures. Cela peut aider à orienter les stratégies de sélection et d'adaptation pour les variétés de blé et de cultures fourragères.

Références Bibliographiques

- Abdelguerfi, A., Laouar, M., et M'hammedi bouzina, M. (2008). Les productions fourragères et pastorales en Algérie : Situation et Possibilités d'Amélioration. Revue semestrielle, Agriculture et développement (INVA, Alger), janvier 2008, N°6: PP 14 -25.
- Albouchi, A., Sebei, H., Mezni, M. Y., et EL Aouni, M. H. (2000). Influence of the duration of deficient water supply on biomass production, transpiration surface and stomatal density of *Acacia cyanophylla*. Annals of INRGREF, 4, pp 61- 138.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Smith, M., Raes, D., et Wright, J. L. (1998). FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. Journal of irrigation and drainage engineering, 131(1), pp 2 -13.
- Austin, M.P. (1999). The potential contribution of vegetation ecology to biodiversity research. Ecography, 22 : pp 465 - 484.
- Bahloul, A. (1989). La fertilisation azotée raisonnée des céréales. (20): PP 15 - 19.
- Bajji, M., Lutts, S., et Kinet, J. M. (2001). Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science, 160(4), pp 669-681.
- Baldy, Ch. (1974). Étude fréquentielle du climat, son influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Doc CCCE, Paris, 152 p.
- Baldy, Ch. (1992). Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés méditerranéens occidentaux in Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Ed INRA, Paris, 397 p.
- Barbottin, A. (2004). Utilisation d'un modèle de culture pour évaluer le comportement des génotypes : Pertinence de l'utilisation d'Azodyn pour analyser la variabilité du rendement et de la teneur en protéines du blé tendre. Life Sciences [q-bio]. INAPG (Agro Paris Tech), 2004. English. ffNNT: ff. ffpastel-00001262f.
- Barrs, H. D. (1968). Effect of cyclic variations in gas exchange under constant environmental conditions on the ratio of transpiration to net photosynthesis. Physiology Plantarum, 21(5), pp 918 - 929.

- Beji. S., et Khemir. E. (2012). Performances de deux associations fourragères, Triticale - bersim et Triticale - vesce, dans un milieu semi-aride de Tunisie.
- Ben Naceur, S., Ghazouani, S., Omran, M. (1999). The determinants of stock market development in the Middle-Eastern and North African region. *Managerial Finance* Vol. 33 N° 07, 2007 pp 477 - 489.
- Bentamallah, S. (1984). Intérêt de l'association Avoine - Sulla en zone subhumide tunisienne. PP 41-51.
- Bernadette, J., Gaëtan, L., François, G., Surault, F., Sampoux, J.P., Maamouri, A., et Fernandez, C. (2020). Les associations graminées - légumineuses prairial. Comment sélectionner des variétés pour accroître leur productivité et faciliter leur conduite ? *Innovations Agronomiques*, INRAE, 2014, 40, pp 61-72. fihal-02630846f.
- Bernardes, ADP, Bélanger, G., Tremblay, G., Papadopoulos, Y., Fillmore, S., Blumling, B., yang H., et Pahl-wostl, C. (2005) Proposal for the integration of irrigation efficiency and agricultural water productivity. *Cahier Options méditerranéennes, Series B, N°57. Water Use Efficiency and Water Productivity*. Bari, Italie, PP 269 – 286.
- Boukhrs, N., (2019). Climate variability and change in Algeria: a review." *Theoretical and Applied Climatology*.
- Boulal, H., Zaghouane, O., El Mourid, M., et Rezgui, S. (2007). Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176.
- Bouzerzour, H., et Monneveux, P. (1993). Analysis of the factors of barley yield stability in the conditions of the eastern Algerian highlands. In: *Drought tolerance of cereals in the Mediterranean zone genetic diversity and varietal improvement*. INRA Ed. Paris. Les colloquies, 64, pp 139-158.
- Ceccarelli, S. & Grando, S. (1991). Selection environment and environmental sensitivity in barley. *Euphytica*, 1919 (57), pp 157- 167.
- Chabane, M., Boussard. J.M. (2012). La production céréalière en Algérie : Des réalités d'aujourd'hui aux perspectives stratégiques de demain. 20 p. fihal-02804678f.

- Chen, Y., Liu, X., Cui, Z., Xu, J., Shi, L., Ding, G. (2020). Effects of nitrogen and water management on growth, yield, and water use efficiency of winter wheat in the North China Plain. *Agronomy Journal*, 112 (1): 248-261.
- Chennafi, H. (2012). Amélioration de la Productivité du Blé en Environnement déficitaire en eau. *Revue Agriculture N°3*. PP 24-27.
- Choismrl, E., et Cloppet, E. (2021). Influence du climat sur la production agricole, agrométéorologie, Encyclopédie, université de France.
- Chourghal, N., Huhard, F., Boukhalifa, H., et Belhamra, M. (2018). Le climat récent observé et les changements climatiques futurs dans la région de Bordj Bou Arreridj, *Courrier du Savoir – N°26*, PP 585-592.
- Chourghal, N., Lhomme, JP., Huard, F., et Aidaoui, A. (2016). Climate change in Algeria and its impact on durum wheat. *Regional environmental change*. Springer Berlin Heidelberg. N° 6, pp1623-1634.
- Clarck, et Mac-Caig, (1982). The water-binding capacity of excised leaves as an indicator of drought resistance in *Triticum* genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 62, 571-576.
- Cooper, P. J. M., & Gregory, P. J. (1987). Soil water management in the rain-fed farming systems of the Mediterranean region. *Soil Use and Management*, 3(2), 57-62.
- Cornaire, B., Phamthi, A. T., Zuily-Fodil, Y., Daniel, C., et Vieira Da Silva, J. B. (1995). Contribution to study on oil palm drought tolerance: Protoplasmic resistance. INRA, *Inter drought*, VI 7.
- Couvreur, F. (1981). Wheat cultivation is reasoned. *Perspectives Agricola's*, 91, P 28 - 32.
- Debaeke, P., Pellerin, M., Scopel, E. (2015). Designing and assessing climate-smart cropping systems in temperate and tropical agriculture. In: *Building tomorrow's research agenda and bridging the science-policy gap*. CIRAD, INRA, IRD, Agropolis International, Wageningen UR, CGIAR, UCDAVIS, FAO, Agreenium, GFAR. Montpellier : CIRAD, pp 47-49. *Climate-Smart Agriculture 2015 : Global Science Conference*. 3, Montpellier, France, 16 mars 2015/18 mars 2015.
- Djermoun, A. (2009). La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue nature et Technologie*. N° 01/Juin 2009. PP 45 à 53.

- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1979). Guidelines for prediction of crop water requirements. United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 24, Rome, Italy, 144 pp.
- DuPont, F. M., & Altenbach, S. B. (2003). Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of cereal science*, 38(2), pp 133-146
- Esmeralda, Y., Aguilar, L., José, L., Bórquez, I., Domínguez, A., Morales-Osorio, A., Gutiérrez-Martínez, G., et Ronquillo, M. (2013). Forage Yield, Chemical Composition and In Vitro Gas Production of Triticale (*X Triticosecale wittmack*) and Barley (*Hordeum vulgare*) associated with Common Vetch (*Vicia sativa*) Preserved as Hay or Silage.
- FAO Stat. (2022). Statistics Data: the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Official website. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- FAO, 2016. The state of food and agriculture 2016. Climate change, agriculture and food security. FAO, Rome.
- FAO, (2017). Climate change and agriculture. Building resilience of agriculture and food systems to climate change. FAO, Rome.
- FAO, (2020). The State of Food Security and Nutrition in the World 2020. Transforming food systems for affordable healthy diets. Rome.
- FAO. (2021). Agriculture Organization, 2016. Livestock Primary. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Farah, A. (2014). Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien. Magistère en écologie et environnement. Université Constantine 1. 127p.
- Fauconnier, D. (1982). Avantage de l'association graminée – légumineuses et principes de fertilisation. *Fourrages*, 89, PP 29-35.
- Felix, G., Duran, J.D., Volko, S., et Boller, T. (2003). Plants have a sensitive perception system for the most conserved domain of bacterial flagellin *The Plant Journal*, 18: pp 265 - 276. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1999.00265.x>
- Gallais, A., et Bannerot, H. (1992). Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection – INRA. Pp 379-391.

- Gate, P. (1995). Écophysiologie du blé. Tec & Doc-Lavoisier.
- Ghennai, A., Zérafa, C., et Benlaribi, M. (2017). Study of the genetic diversity of some varieties of common wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum durum* Desf.) according to the basis of the U.P.O.V. Journal of Applied Biosciences, 113, pp 11246 - 11256.
- Grignac, P. H. (1981). Yield and yield components of winter wheat in the French Mediterranean environment. 66p.
- Guehl, J.M., et Soussana, J.F. (2015). L'adaptation au changement climatique. Pour la science, PP 6 -9. fhal-02630192f.
- Gupta, N.K., Kumar, M., Arya, D., (2021). Water productivity assessment of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different irrigation schedules and nitrogen levels. Legume Research.
- Hamada, Y. (2002). Evaluation of genetic variability and use of tetraploid species of the genus *Triticum* in genetic improvement of tolerance to water deficit in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Magisterial Thesis, I.S.N University of Mentouri. Constantine. Algeria.
- Hannachi, A. (2017). Aptitude à la combinaison, sélection mono et multi caractères et adaptabilité du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Aux conditions semi-arides. Mém. Doctorat. Sci. Agro, Univ. Ferhat ABBAS, Sétif, 218p.
- Hannachi, A. (2018). Aptitude à la combinaison, sélection mono et multicaractères et adaptabilité du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Aux conditions semi-arides. Thèse de Doctorat, université de Ferhat abbés. 260p.
- Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. and Lister, D.H., (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations -the CRU TS 3.10 Dataset, International Journal of Cimatology, 34,623-642. DOI : 10.1002/joc.3711.
- Hayne, R (1980). Competitive aspects of the grass-legume association. Adv. Agron., 33, PP 227-261.
- Henin, S. (2021). Cours de physique du sol. Volume II : L'eau et le sol les propriétés mécaniques la chaleur et le sol. Paris, 14p.

- Hinsinger, P., Brauman, A., Devau, N., Gérard, F., Jourdan, C., Laclau, J.P., Le Cadre, E., Jaillard, B., Plassard, C. (2012). Acquisition of phosphorus and other poorly mobile nutrients by roots. Where do plant nutrition models fail? *Plant and Soil* 348, pp 29 et 61.
- Humpenöder, F., Popp, A., Dietrich, J.P., Klein, D., Lotze-Campen, H., Bonsch, M., Leon Bodirsky, B., Weindl, I., Stevanovic, M., et Müller, C. (2014). Investigating afforestation and bioenergy CCS as climate change mitigation strategies. *Environmental Research Letters*. Environ. Res. Lett. 9 (2014), 064029, 13pp.
- IPCC, (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- IPCC, (2018). Summary for Policymakers. In: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].
- IPES-Food, (2016). *From uniformity to diversity: a paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems*. International Panel of Experts on Sustainable Food systems.
- Justes, E., Thiébeau, P., Cattin, G., Larbre, D., et Nicolardot, B. (2001). Libération d'azote après retournement de luzerne : un effet sur deux campagnes. *Perspectives agricoles*, 264, PP 22-28. Ffhal-02508174f.
- KacI, G. (2018). *Effet de l'association et de la rotation de blé dur (Triticum durum Desf.) / Féverole (Vicia faba L.) sur les cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote et du phosphore*. These doctorat, 160 p, ENSA El-Harrach. Algérie.

- Kogan, F. (2018). Contribution of Remote Sensing to Drought Early Warning, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Environmental Satellite, Data and Information Services (NESDIS), Washington DC, U.S.A.
- Kolbert, E. (2015). La Sixième Extinction : comment l'Homme détruit la vie, Vuibert, 352 p. (ISBN 9782311101171 et 231110117X).
- Kostopoulou, E., et Jones, PD. (2005). Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorol Atmos Phys* 89 : PP 69 - 85.
- Kumar, M., Thind, H.S., Kumar, S. (2021). Estimation of crop water requirements using cropwat model under climate change scenarios. *Water Supply* 21, 1583–1593.
- Lajeunesse, J., et Duynisveld, J. (2015). Dix-huit associations d'une légumineuse avec une graminée évaluée au pâturage pendant trois ans à plusieurs sites. CRAAQ. Journée d'information scientifique sur les bovins laitières et les plantes fourragères.
- Lakhdari, H., Ayad, A. (2009). Les conséquences du changement climatique sur le développement de l'agriculture en Algérie : quelles stratégies d'adaptation face à la rareté de l'eau ? *Revue des sciences économiques de gestion et sciences commerciales* 03/ 2009.
- Lal, (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), pp.5875-5895.
- Lasram, S., Oueslati, S., Valero, A., Marin, S., Ghorbel, A., et Sanchis, S. (2010). Water Activity and Temperature Effects on Fungal Growth and Ochratoxin A Production by Ochratoxigenic *Aspergillus carbonarius* Isolated from Tunisian Grapes. *Journal of food science*. Vol. 75, N° 2.
- Lefebvre, V., Poormohammad K. S., et Durant-Tardif, M. (2009). A focus on natural variation for abiotic constraints response in a model species *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of Molecular Sciences*, 10, pp 3547-3582.
- Lhomme, JP., Mougou, R., et Mansour, M. (2009). Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. *Clim Chang* 96 : pp 549-564.
- Lipper, Thornton, P., Campbell, B.M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., Sen, P.T., Sessa, R., Shula,

- R., Tibu, A., Torquebiau, E.F. and Wheeler, R. (2014). Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4(12), pp.1068-1072.
- Loue A. (1982). Le potassium et les céréales. Dossier K2O N° 02, pp 1- 41.
- Mazour, A. (2019). Climatological characterization of Setif region (northeastern Algeria).
- Mberkani, S. (2012). Morphological characterization of some local populations of common wheat (*Triticum aestivum* L.), from the region of Adrar. Magister thesis. National School of Agronomy. El Harrach. Algeria.
- Meddahi, M., & Zerga, A. (2015). Analyse des tendances climatiques de Bordj Bou Arreridj à l'aide de séries chronologiques. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 84, 359-372.
- Meynard, JM., Cerf, M., Marie-Hélène, L., Jeuffroy, Makowski, D. (2002). Which decision support tools for the environmental management of nitrogen? *Agronomie*, 22 (7-8), pp 817-829.
- Monneveux, Ph. (1991). Which strategy for the genetic improvement of tolerance to water deficit in winter cereals? In: Chalbi Demarly Y. eds. Plant improvement for adaptation to arid environments. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey. INSA-INRA, pp 165 -186.
- Mougou, R., Mansour, M., Iglesias, A., Zitouna Chebbi, R., et Battaglini, A. (2011). Climate change and agricultural vulnerability: a case study of rain-fed wheat in Kairouan, Central Tunisia. *Reg environ Chang* 11 : PP 137-14.
- Mouhouche, B., et Bourahla, A. (2007). Optimisation de l'irrigation d'appoint apportée à différentes phases phénologiques d'une culture de blé dur (*Triticum durum*). *Sciences & Technologie.C,Biotechnologies*,(25), PP 53–58.
- Moussaouali, B., Hamdi Aïssa, B. (2017). Utilisation de traits fonctionnels pour caractériser l'adaptation de *Sulla coronaria* L. aux conditions agroécologiques du Sahara algérien en culture irriguée, *Fourrages*, 232, PP 341-345.
- Nachit, M. (1986). Improvement of durum wheat. In : VARMA Ed. Cereal Improvement Program 1986, ICARDA PUBL.112, Aleppo, pp 78-101.

- Niazi, F.H., Akbar, A., Mahmood, A. (2021). Evaluating irrigation management practices for improving water productivity and crop yield in maize. *J Environ Manage* 295, 113110.
- Olsson, L., Jerneck, A., Thoren, H., Persson, J. and O'Byrne, D. (2015). Why resilience is unappealing to social science: Theoretical and empirical investigations of the scientific use of resilience. *Science advances*, 1(4), e1400217.
- Omnès G. (2020). Changement climatique : ce que les grandes cultures devront affronter ces 30 prochaines années. <https://www.reussir.fr/grandes-cultures/changement-climatique-ce-que-les-grandes-cultures-devront-affronter-dici-30-ans>.
- Ouknider, M., et Jacquard, P. (1986). Production et valeur nutritive de l'association vesce-avoine en zone méditerranéenne. *Fourrages*, 105, PP 39 - 62.
- Padma, R. (2008). Les cultures peuvent-elles résister au changement climatique ? CIMMYT.
- Pousset, J. (2004). Associations de céréales et de légumineuses : quelques éléments importants pour réussir, Document Biodoc N°1, Groupement régional d'agriculture biologique de Basse-Normandie (GRAB), Association d'agriculture écologique de l'Orne (AGRECO) Association nature et Progrès.
- Reddy, K.R., et Hodges, H.F. (2000). *Climate Change and Global Crop Productivity*.
- Reynolds, M. P., Balota, M., Delgado, M. I. B., Amani, I., et Fischer, R. A. (1994). Physiological and morphological characteristics associated with spring wheat yield under warm and irrigated conditions. *Aust. J. Plant. Physiology*, 21, pp 717-730.
- Richards, R. A., Rebetzke, G. J., Condon, A. G., et Van Herwaarden, A. F. (2002). Breeding possibilities for increasing water use efficiency and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.*, 42, pp 111-121.
- Rosenzweig, C. (2014). *Agriculture. Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp.485-533.
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A.C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K.J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N. and Neumann, K., (2014). Assessing agricultural risks of

- climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(9), pp.3268-3273.
- Rosenzweig, C., Hillel, D. (1998), Climate change and the global harvest: potential impacts of the greenhouse effect on agriculture. 1998. 324 p réf 36.
- Samouelian, F., Gaudin, V., Boccara, M. (2009). Génétique moléculaire des plantes. Référence eBook PDF: 02119NUM. Editions Quae. 230 p.
- Scofield, T., Evans, J., Cook, M. G. et Wardlow, I. F. (1988). Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. Aust.J. Plant Physiol., N° 4, pp 785 - 797.
- Sharma, R. C., et Smith, E. L. (1986). Selection for high and low harvest index in three winter wheat. Contribution de l'Oklahoma Agric. Exp. Stn. As Journal, Article N° 02. Pp 35 - 49.
- Subramanian, B., Kudapa, H., Varshney, R.K. et al. (2021). Biotechnology applications for enhancing crop productivity under changing climate: Cereals. Plant Cell Rep 40, 1447–1466.
- Tengberg, A., Fredrix, M., Sieber, S. (2016). National adaptation planning for agriculture: a review of national plans submitted to the UNFCCC. FAO, Rome
- Ventrella, D., Charfeddine, M., Moriondo, M., Rinaldi, M., et Bindi, M. (2012). Agronomic adaptation strategies under climate change for winter durum wheat and tomato in southern Italy: irrigation and nitrogen fertilization. Reg environ Chang 3: pp 204-219.
- Ver Vermeulen, S.J., Campbell, B.M. and Ingram, J.S. (2012). Climate change and food systems. Annual review of environment and resources, 37, pp.195-222.
- Wallace-Wells, D. (2019). The Uninhabitable Earth: Life after Warming. New York, USA: Tim Duggan Books 320 p. ISBN 978-0-525-57670-9. Hardcover edition.
- Yucel, C., et Avcı, M. (2009). Effect of different ratios of common vetch (*vicia sativa* l.) – Triticale (*Triticosecale whatt*) mixtures on forage yields and quality in cukurova plain in turkey. Cukurova Agricultural Research Institute, Adana, Turkey. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 15 (N° 4) 2009, pp 323-332 Agricultural Academy.

Zeghida, A., Amrani, R., Djennadi, F., Ameroun, R., Khldoun, A. A., et Belloucif, M. (2004). Study of the variability of response of durum wheat (*Triticum durum* Desf) seedlings to salinity. Cereal growing. ITGC. 42. Constantine: 5.

Zhang, X., Guo, W., Wang, Y., Gao, X., wang, J. (2019). Effects of drouth stress on growth and development of wheat cultivars with different drouht resistance. Scientific Reports, 9(1): 1-12.

Sites internet

Agronomy journal: <https://doi.org/10.1002/agj2.20032>

Agronomy journal: <https://doi.org/10.1007/s00299-02027515>

Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113110>

<https://doi.org/10.1038/s41598-019-40148-w> <https://doi.org/10.18805/lr.v44i1.13818>

<https://doi.org/10.2166/ws.2021.105>

<https://www.meteo.dz/climatologie/synthese-climatologique/>

Activités scientifiques

Article

Bourahla A., et Chennafi H. (2022). Characterization of modern durum wheat genotypes (*Triticum durum* Desf.) for some morphological, physiological and biochemical parameters under the effect of water treatment (rainfall and irrigation) in semi-arid environments. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 28 (No 3) 2022, pp 443–450. <https://www.agrojournal.org/index.html/> <https://www.agrojournal.org/28/28.html#3>.

Communications

Bourahla A., et Chennafi H. (2018). Systèmes de culture d'adaptation à un éventuel changement climatique en environnement des hauts plateaux sétifiens. Premier colloque international « Sécurité alimentaire et développement durable en milieu semi-aride, Sétif du 8 au 9 décembre 2018. Département des sciences agronomiques.

Bourahla A., et Chennafi H. (2022). Productivité de l'eau chez des géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) En environnement des hauts plateaux Sétifiens. Deuxième journée nationale de la biodiversité. Diversité des ressources végétales locales dans les régions arides et semi-arides : application et perspectives, 23 mai 2022, Université de Ouregla, Thématique : Interactions plantes-milieus.

Bourahla A., et Chennafi H. (2022). Adaptation des nouveaux géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Dans les régions des hauts plateaux sous conditions semi-arides. 1^{er} Séminaire National Amélioration des plantes : Stratégies et Perspectives (AMPSP-1) 05 mai 2022, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila. Département des Sciences de la Nature et de la Vie. Laboratoire des Sciences Naturelles et Matériaux (LSNM). W: ampspmila@gmail.com.