

ÉVOLUTION DU RENDEMENT A L'EAU DU RIZ SOUMIS AU STRESS HYDRIQUE PENDANT LES STADES CRITIQUES DE SON DEVEVELOPPEMENT A L'AIDE DU MODELE INFORMATIQUE DE LA FAO AQUACROP

EVOLUTION OF WATER YIELD OF RICE SUBJECT TO WATER STRESS DURING CRITICAL STAGES OF ITS DEVELOPMENT USING THE FAO AQUACROP COMPUTER MODEL

MOUSSA CAMARA¹, LASSINE SOUMANO², NIAMOY YARO³

¹Institut d'Economie Rural (IER), CRA de Niono - kaba_f@yahoo.fr.

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou lsno2002@yahoo.fr

³Institut d'Economie Rural (IER), Coordinatrice Scientifique Des Cultures Irriguées, - niamoye.yaro@gmail.com

Résumé

L'Office du Niger représente l'un des plus grands aménagements hydro-agricoles de l'Afrique de l'ouest. Le fonctionnement optimum de ces infrastructures exigent d'énormes quantités d'eau. Aquacrop a été utilisé pour prédire les incidences du stress hydrique provoqué sur le rendement paddy, de matières sèches ou de la biomasse aérienne et du grain de riz à l'aide des données collectées sur l'expérimentation. Le dispositif expérimental a été en bloc de Fischer sur une superficie totale de 240m², avec cinq traitements et quatre répétitions pendant la saison agricole 2019-2020. La dose d'irrigation des parcelles a été dérivée de la dose officielle de l'Office du Niger qui est de 12 000 m³/ha. Les traitements en stress hydrique pendant le tallage ont donné moins de talles par rapport aux autres, ceux en stress hydrique pendant l'épiaison ont des maximum d'épis et hauteur de la paille importante mais peu de graines et beaucoup de balles vides, ceux en stress hydrique pendant le tallage et l'épiaison ont donné à la fois moins de talles, moins d'épis, petite hauteur de la paille et aussi moins de graines et enfin les traitements en stress hydrique permanent ont aussi donné les mêmes résultats que ceux en stress hydrique au tallage et à l'épiaison.

Mots clés : riz ; Aquacrop ; rendement ; eau

Abstract

The Office du Niger is one of the largest hydro-agricultural schemes in West Africa. The optimum functioning of these infrastructures requires enormous quantities of water. Aquacrop was used to predict the impacts of induced water stress on paddy, dry matter or aboveground biomass and rice grain yield using data collected from the experiment. The experimental device was in Fischer block over a total area of 240m², with five treatments and four repetitions during the 2019-2020 agricultural season. The irrigation dose of the plots was derived from the official dose of the Office du Niger which is 12,000 m³/ha. Treatments under water stress during tillering gave fewer tillers compared to the others, those under water stress during heading have maximum ears and high straw height but few seeds and many empty bales, those under water stress during tillering and heading gave both fewer tillers, fewer ears, low straw height and also fewer seeds and finally the treatments under permanent water stress also gave the same results as those under water stress at tillering and heading.

Keywords: rice; Aquacrop; yield ; water

1. Introduction

L'agriculture est l'activité principale dans le monde et en Afrique elle reste le moteur de la révolution du secteur primaire (Food and Agriculture Organisation 2001). Le Mali est un pays où l'agriculture demeure le pilier de l'économie. Celle-ci occupe 75% de la population active, contribue pour environ 40% du produit intérieur brut (PIB) et fournit 30% des recettes d'exploitations (Marc Lacharme, mai 2001). L'eau est répartie sur la planète entre eau salée et eau douce. L'eau salée occupe 97, 5% et le reste 2,5% constitue l'eau douce. Sur les 2,5% d'eau douce; l'eau de surface représente 0,03%; les 1,72% sont des glaciers et les 0,75% sont des eaux souterraines (BRGM. Ifrée 2005).

Sur cette eau de surface, l'Agriculture consomme 75% à elle seule, 20% est consommé par l'Industrie et les 5% sont réservés à la consommation domestique (J. Morel 2007). L'Office du Niger qui compte aujourd'hui parmi les plus grands aménagements hydro agricoles du continent Africain, contribue fortement à la sécurité alimentaire du Mali avec une production annuelle d'environ 500 000 tonnes de riz et d'un périmètre irrigué de 100000ha. Il est situé dans la région de Ségou et alimentée par le barrage de Markala. Il contribue à lui seul pour environ 5% du PIB du pays. L'ON représente à lui seul 45% de la production nationale du riz. Depuis plusieurs décennies, la riziculture est pratiquée en zone Office du Niger avec une dose officielle d'irrigation de 12000m³/ha en hivernage et 14000m³/ha en contre-saison à partir du partiteur ou canal secondaire. L'efficacité au niveau du canal secondaire est de 0,87 et celui du canal tertiaire est de 0,60 (Raes D., 2011). Il devient opportun de poser le problème de productivité de l'eau dans les systèmes de production Agricole de l'office du Niger.

Pour nourrir une population mondiale comptant 9 milliards d'individus en 2050, il faudra augmenter la production agricole d'environ 50%, ce qui entraînera une hausse de 15% des prélèvements de ressources en eau (Tariq Kockhar, 2017). La ressource en eau devient de plus en plus rare avec le problème actuel du changement climatique dont les caractères aléatoires en sont les causes des précipitations. Le présent travail de l'année agricole 2019-2020 porte sur le rendement à l'eau du riz soumis au stress hydrique pendant les phases critiques de son développement à l'aide du modèle informatique de la FAO Aquacrop ».

2.1 Matériel et méthodes

2.1.1 Matériel

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est le riz, *Oryza sativa*. Le riz cultivé est d'origine asiatique, c'est une graminée semi aquatique poussant dans diverses zones climatiques. Le mot riz vient du mot tamoul arisi, sa culture est très ancienne. Le riz du genre *Oryza* est une graminée de la tribu des oryzées regroupant quatre genres (*Oryza zizania*, *Oryza Leersia*, et *Oryza hagroryza*) caractérisé par des épillets à fleur fertile et ayant six étamines, des glumes rudimentaires et glumelle supérieure à trois nervures.

Matériels techniques

Les matériels techniques utilisés sont : pluviomètre, la tarière, balance de précision, l'étuve, les cylindres de prélèvement, l'humidimètre.

Dans la formule du rendement, le paramètre taux d'humidité figure. L'humidimètre a été utilisé pour l'appréciation du taux d'humidité des échantillons de paddy des placettes mais aussi du paddy avant de calculer le rendement.

2.1.2 Méthode

La revue bibliographique

La revue bibliographique a commencé depuis les premiers jours et s'est étendu sur toute la durée du stage. Cette activité consiste à consulter des documents scientifiques dans le but d'acquérir des informations et des connaissances pour le bon fonctionnement des activités du stage. L'internet a aussi été mis à profit pour des recherches relatives à des détails de précision ou de compréhension.

L'enquête menée à la direction de l'Office du Niger de Niono

Il consiste à faire recours aux agents de l'office pour connaître leur dose officielle d'irrigation (débit de service) et l'efficacité au niveau des différents canaux d'irrigation. La dose officielle pendant l'hivernage est de 1 2000m³/ha à partir du partiteur avec une efficacité de 0,87 et celui de l'arroseur 0,60.

La mise en place de l'expérimentation

La conduite de l'expérimentation a été faite à la station de Recherche de Niono pour évaluer la productivité de l'eau du riz en zone office du Niger.

Le calage du modèle informatique de la FAO Aquacrop

Cette activité consiste à prédire les incidents du stress hydrique sur le rendement paddy et de la matière sèche enfin d'obtenir des pourcentages nettes des rendements spécifiques et des rendements en moins des différents traitements.

La conduite de l'expérimentation pour la collecte des données

Elle consiste à déterminer ces variables suivants :

- le nombre de talles/plant
- le nombre d'épi /plant
- le nombre de Balles vides/plant
- le rendement paddy/plant
- la matière sèche/plant.

Ces variables ont été appréciées dans les traitements de chaque bloc de l'expérimentation. A partir du comptage des différentes données collectes dans l'expérimentation est calculé le rendement. Les formules suivantes ont été utilisées :

$$\boxed{PC = ((100 - TH) \div (100 - 14)) \times Pb} \quad \text{ET} \quad \boxed{RDT = (PC \times 10000) \div S}$$

Pc: Poids corrigé, **TH**: Taux d'humidité, **Pb** : Poids brute, **RDT** : Rendement, **S** : Surface.

Le Suivi de l'épuisement de la teneur en eau au moment tallage jusqu'à la maturité

L'épuisement de l'humidité est une donnée d'irrigation qui permet d'apprécier les paramètres hydrodynamiques du sol permettant de piloter l'irrigation, enfin d'expliquer le phénomène de maturation et dans les conditions hydriques du sol pour obtenir un argument scientifique. Il est déterminé par les matériels de monitoring de l'humidité dans le sol ou par la méthode de référence (méthode gravimétrique).

Il a constitué à prélever chaque jour des échantillons de sol dans les traitements soumis au stress à deux profondeurs (20 et 40 cm) à l'aide de la tarière. Ces échantillons ont été pesés au laboratoire pour connaître leur poids humide, ils ont été ensuite mis à l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures pour être sécher, après séchage ils ont été encore pesés pour connaître leur poids sec. À partir de ces deux poids a été calculée l'humidité volumique des traitements soumis au stress hydrique.

Le dispositif expérimental a été en blocs de FISHER avec cinq (05) traitements et quatre (04) répétitions. Les noms des traitements désignant les stress hydriques aux différents stades végétatifs ont été rangés par randomisation (Q0, Q1, Q2, Q3, Q4) qui est un placement au hasard des traitements. Les traitements sont les suivants :

Le premier traitement est Q0 : il représente la parcelle qui ne souffre d'aucune restriction en eau. Elle est à l'image du témoin qui est la consigne d'irrigation actuelle des producteurs.

Le deuxième traitement est Q1 : c'est la parcelle qui a été soumis au stress hydrique pendant le tallage. Sa dose d'irrigation est la moitié de notre dose normale à la phase tallage.

Le troisième traitement est Q2 : représente la parcelle qui a été soumis au stress hydrique pendant l'épiaison. Sa dose d'irrigation est égale à la moitié de notre dose normale (au moment où l'épiaison est en cours jusqu'à la maturité).

Le quatrième traitement est Q3 : il représente la parcelle qui a été soumis au stress hydrique pendant deux phases tallage et épiaison. Sa dose d'irrigation est égale à la moitié de la dose normale d'irrigation.

Enfin le cinquième traitement est Q4 : représente la parcelle qui a été soumis au stress hydrique permanent pendant toutes sa phase de végétation c'est à dire du repiquage jusqu'à la maturité. Sa dose est toujours la moitié de la dose normale d'irrigation.

Les apports d'eau du riz

La figure 1 montre les périodes de croissance du riz pour l'ensemble de la période végétative.

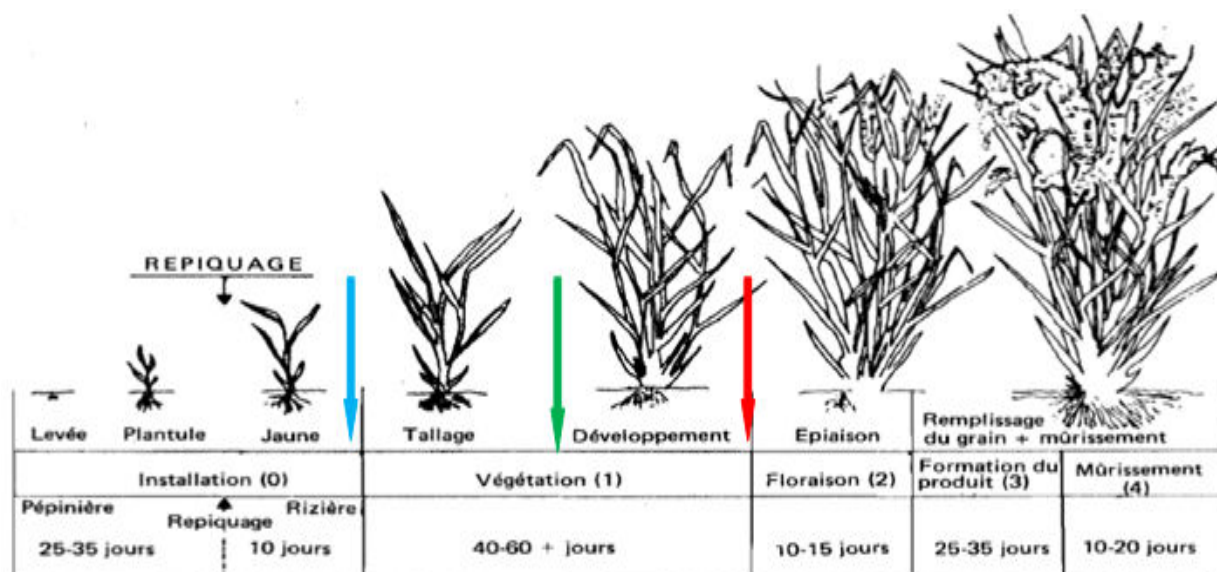


Figure 1 : Période de croissance du riz

La figure 2 montre les hauteurs d'eau qu'il faut prévoir dans la rizière aux différents stades de la croissance pour obtenir de bons rendements.

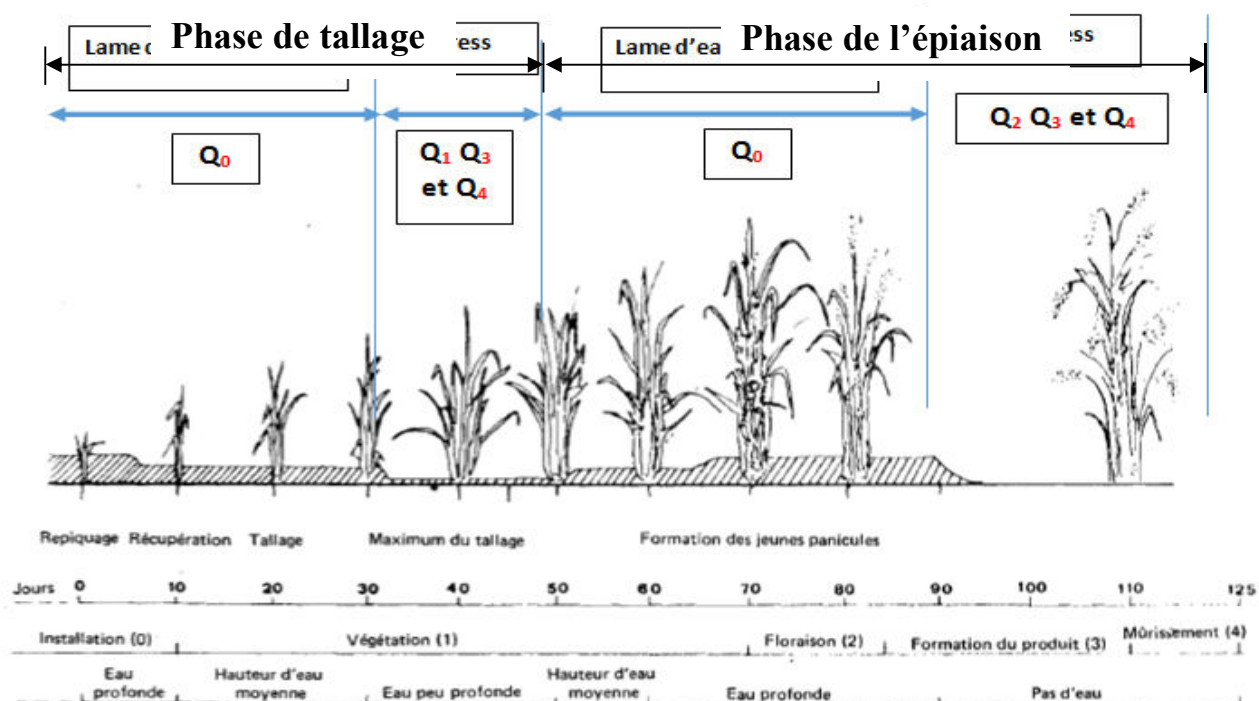


Figure 2 : Photos 18 : hauteur d'eau dans les traitements

La dose d'irrigation des différents traitements a été calculée par les formules suivantes :

Pour ceux qui n'ont pas été soumis au déficit hydrique

$$DN = (DO \times EP \times EA \times 10) \div (10000 \times 4)$$

Pour ceux qui ont été soumis au déficit hydrique

$$DS = (DO \times EP \times EA \times 10) \div (10000 \times 4) \div 2$$

DO : dose officielle ; EP : efficacité de partiteur ; EA : efficacité arroseur ; DN : dose normale ; DS : dose de stress ; 4 : surface des traitements.

L'irrigation était décadaire (c'est-à-dire irrigué chaque 10 jours). La dose normale d'irrigation obtenue d'après les calculs est : 174l /4m² et la dose pour ceux en déficit hydrique est 87l /4m². Après la randomisation, chaque traitement a été codifié comme suit :

Q_jⁱ

i : nom des traitements indiquant les différents stades végétatifs

j : numéro du bloc

PLAN DE L'EXPERIMENTATION

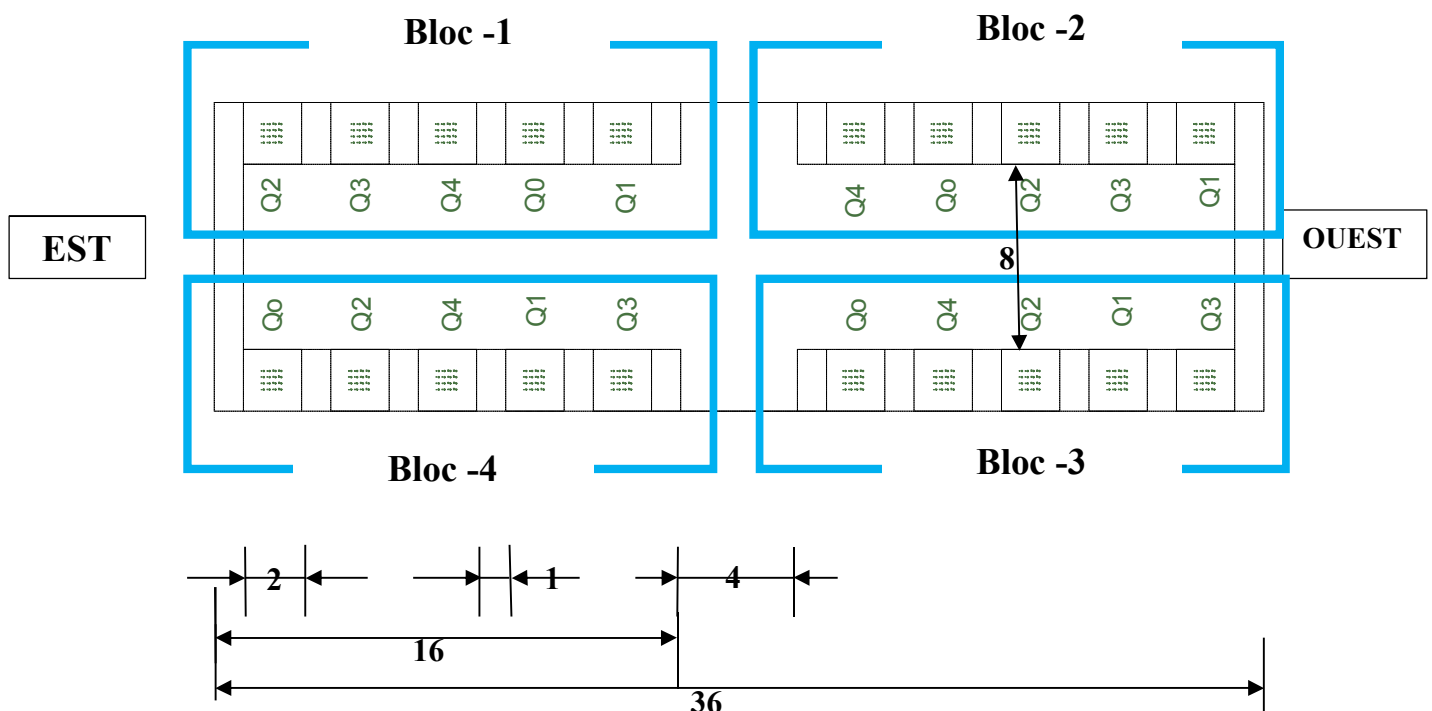


Figure 3 : schéma du dispositif expérimental

3. Résultats

Analyse et interprétation des données

Courbe de l'épuisement de la teneur en eau :

L'épuisement de l'humidité est une donnée d'irrigation qui permet d'apprécier les paramètres hydrodynamiques du sol permettant de piloter l'irrigation. Il est déterminé par les matériels de monitoring de l'humidité dans le sol ou par la méthode de référence (méthode gravimétrique).

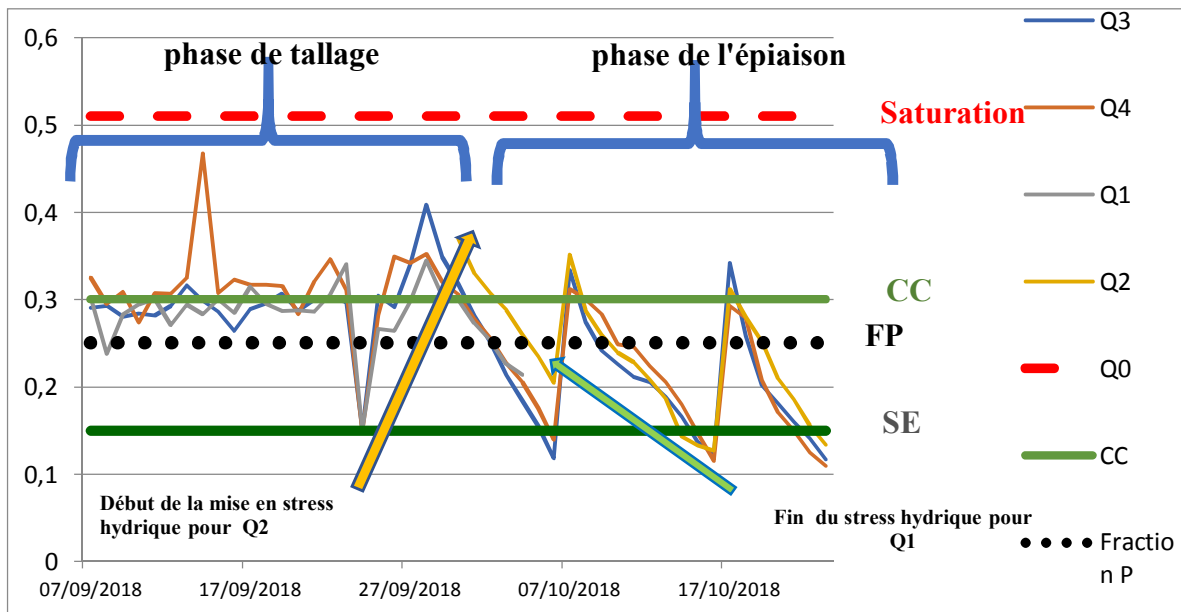


Figure 4 : Courbe de suivi de l'épuisement

Ce graphique illustre :

La saturation qui représente la présence de la lame d'eau environ 10 à 15 cm dans le traitement témoin. Sa valeur est de 0,51 cm.

La capacité au champ (CC) représente le sol ressuyé (égoutté) cela pouvait se produire dans les traitements de stress hydrique par ce qu'il n'y a pas de lame d'eau par contre avec le témoin il ya lame d'eau. Elle a été mesurée à travers la formule de l'humidité équivalente qui est 0,30 cm.

La fraction p représente la portion de l'humidité d'eau dans le sol facilement utilisable par les cultures et c'est un seuil d'humidité ou le plante ne souffre pas pour l'alimentation en eau. Sa valeur est de 0,25 cm.

Le seuil d'épuisement représente le seuil de stress hydrique recherché par l'expérimentation et sa valeur est de 0,15 cm.

Le graphique montre que les traitements soumis au stress hydrique ont été difficilement au seuil pendant la période de tallage, cependant l'humidité d'eau dans sol a fréquemment été au stress hydrique pendant la période d'épiaison.

Le traitement Q1 a été soumis au stress hydrique au début du tallage et prend fin au début de l'épiaison.

Le traitement Q2 n'a pas été soumis au stress hydrique pendant le tallage mais il a été soumis au stress hydrique à partir de l'épiaison jusqu'à la fauche.

Les traitements Q3 et Q4 ont été soumises au stress hydrique pendant la période de tallage et de l'épiaison.

NB : La profondeur 20 cm a été utilisé pour réaliser ce graphique, car elle est la plus évidente par rapport à la profondeur 40 cm qui était constamment influencée par les remontés capillaires.

HYHYPOTHESE 1 : Le stress hydrique a un impact sur le tallage

Analyse du nombre de talles par traitements

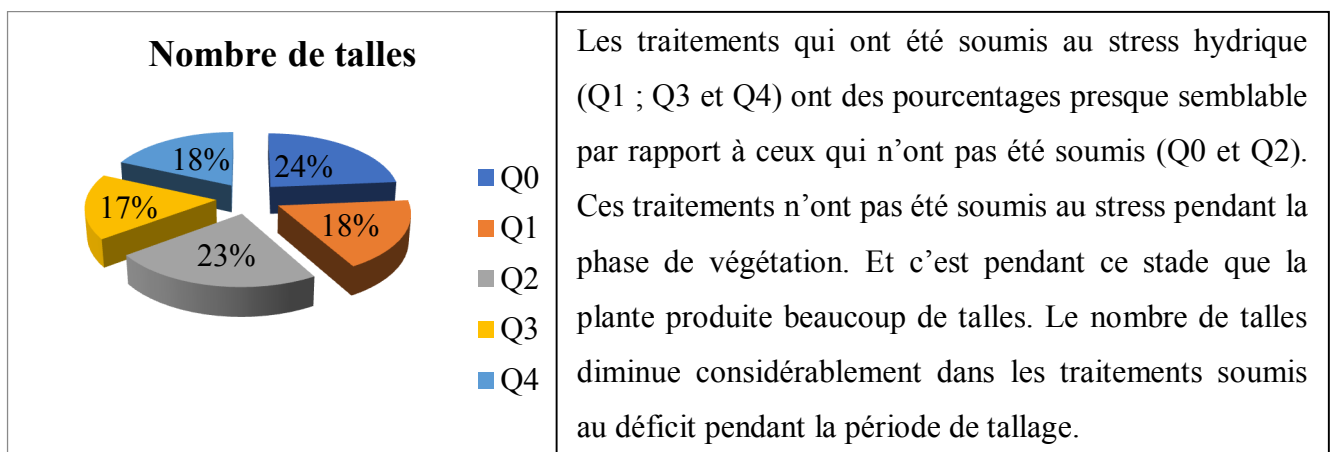


Figure 5 : graphique pour analyse du nombre de talle

L'analyse statique montre qu'il existe un lien important entre le stress hydrique et le nombre de talle car le seuil de signification est très supérieur à la probabilité ($0,05 > 8,7196E-07$)

Tableau 1 : Analyse de la variance du nombre de talle

Analyse de variance : un facteur						
RAPPORT DÉTAILLÉ						
Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance		
Colonne 1	5	15	3	2,5		
Colonne 2	5	361,58	72,316	129,406105		
ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	12011,7696	1	12011,7696	182,126061	8,7196E-07	5,317655063
A l'intérieur des groupes	527,62442	8	65,9530525			
Total	12539,3941	9				

Conclusion : l'analyse des résultats du nombre de talle par traitement montre que la restriction en eau a un effet important sur la période de végétation des plants (tallage).

Analyse de la hauteur des talle par traitement

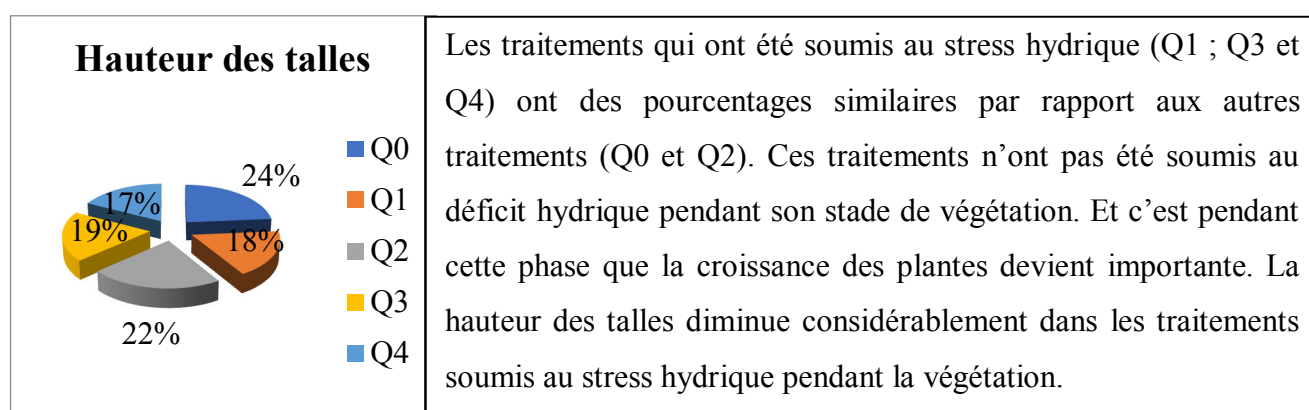


Figure 6 : graphique de l'analyse de la hauteur des talle

L'analyse statique montre qu'il existe un lien important entre le stress hydrique et la hauteur des talles car le seuil de signification est très supérieur à la probabilité ($0,05 > 8,726E-07$)

Tableau 2 : Analyse statistique de la hauteur des talles

Analyse de variance : un facteur							
RAPPORT DÉTAILLÉ							
Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance			
Colonne 1	5	15	3	2,5			
Colonne 2	5	361,58	72,316	129,406105			
ANALYSE DE VARIANCE							
Source des variations	des	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes		12011,7696	1	12011,7696	182,126061	8,726E-07	5,317655063
A l'intérieur des groupes		527,62442	8	65,9530525			
Total		12539,3941	9				

Conclusion : Les résultats de l'analyse montre que le manque d'eau a un impact sur la période de croissance des plants (hauteurs des talles).

Analyse du poids de la biomasse aérienne par traitement

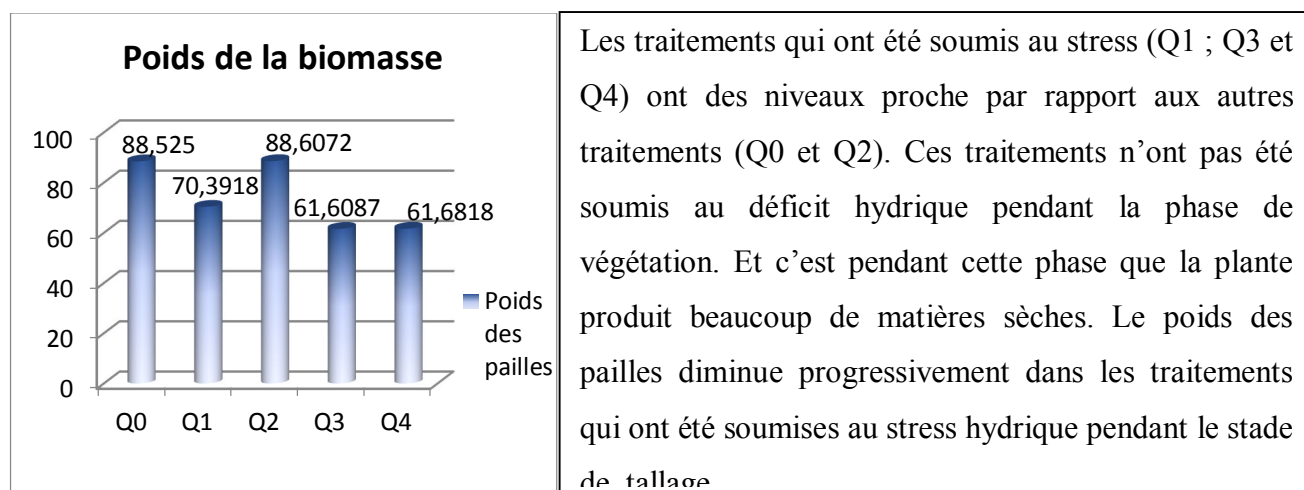


Figure 7 : graphique pour l'analyse de la biomasse aérienne

L'analyse statique montre qu'il existe un lien important entre le stress hydrique et le nombre de talle car le seuil de signification est très supérieur à la probabilité ($0,05 > 2,7721E-06$).

Tableau 3 : Analyse statistique de la biomasse aérienne

Analyse de variance : un facteur						
RAPPORT DÉTAILLÉ						
Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance		
Colonne 1	5	15	3	2,5		
Colonne 2	5	370,814597	74,1629194	185,628149		
ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	12660,4027	1	12660,4027	134,593391	2,7721E-06	5,317655063
A l'intérieur des groupes	752,512594	8	94,0640743			
Total	13412,9153	9				

Conclusion : L'impact du stress hydrique sur le tallage a été observé à travers l'analyse du poids de la biomasse aérienne par traitement.

HYPOTHESE 2 : Le stress hydrique a un impact sur l'épiaison

Analyse des talles sans épi par traitement

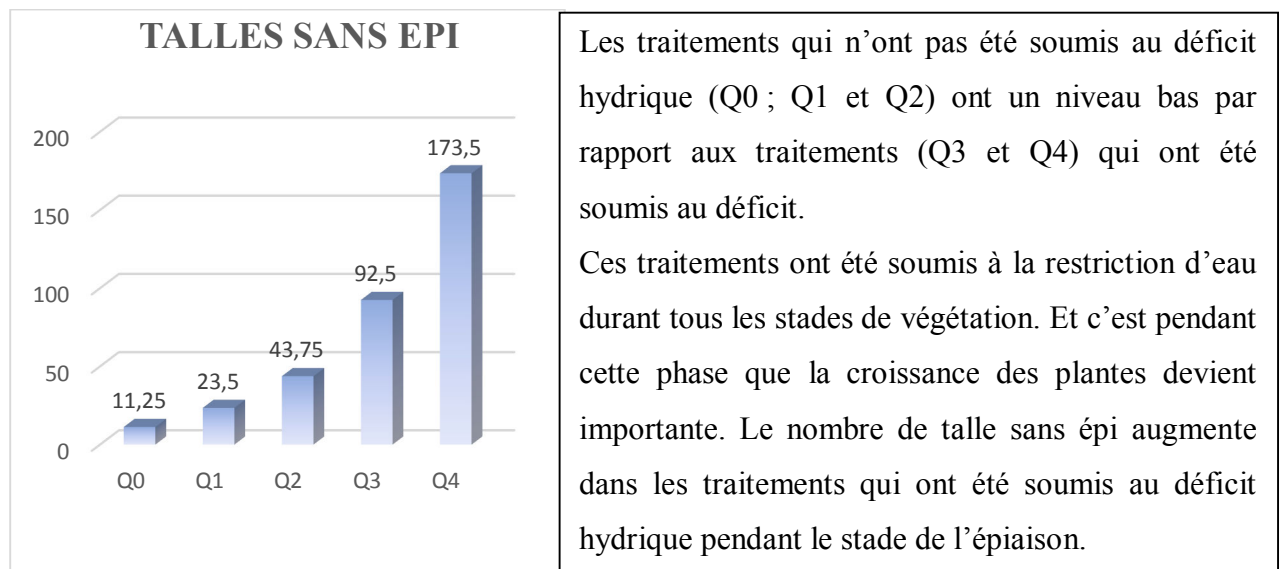


Figure 8 : graphique d'analyse des talles sans épi

L'analyse statique montre qu'il n'y a pas de lien entre le stress hydrique et le nombre de talle sans épi car le seuil de signification est inférieur à la probabilité ($0,05 < 0,0560$).

Tableau 4 : test de corrélation

Analyse de variance : un facteur						
RAPPORT DÉTAILLÉ						
Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance		
Colonne 1	5	344,5	68,9	4378,83125		
Colonne 2	5	15	3	2,5		
ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	10857,025	1	10857,025	4,95603933	0,05663027	5,317655072
A l'intérieur des groupes	17525,325	8	2190,66563			
Total	28382,35	9				

Conclusion : L'analyse montre que le stress hydrique n'a pas d'impact sur la période d'épiaison des plants car même si le riz est soumis au stress hydrique, il fleurisse.

NB : L'hypothèse n'est pas toujours vraie car dans cette expérimentation le stress hydrique provoqué à l'épiaison est plus redoutable que celui au tallage. Son rendement est bien meilleur que celui du stress à l'épiaison.

Analyse du rendement par traitement

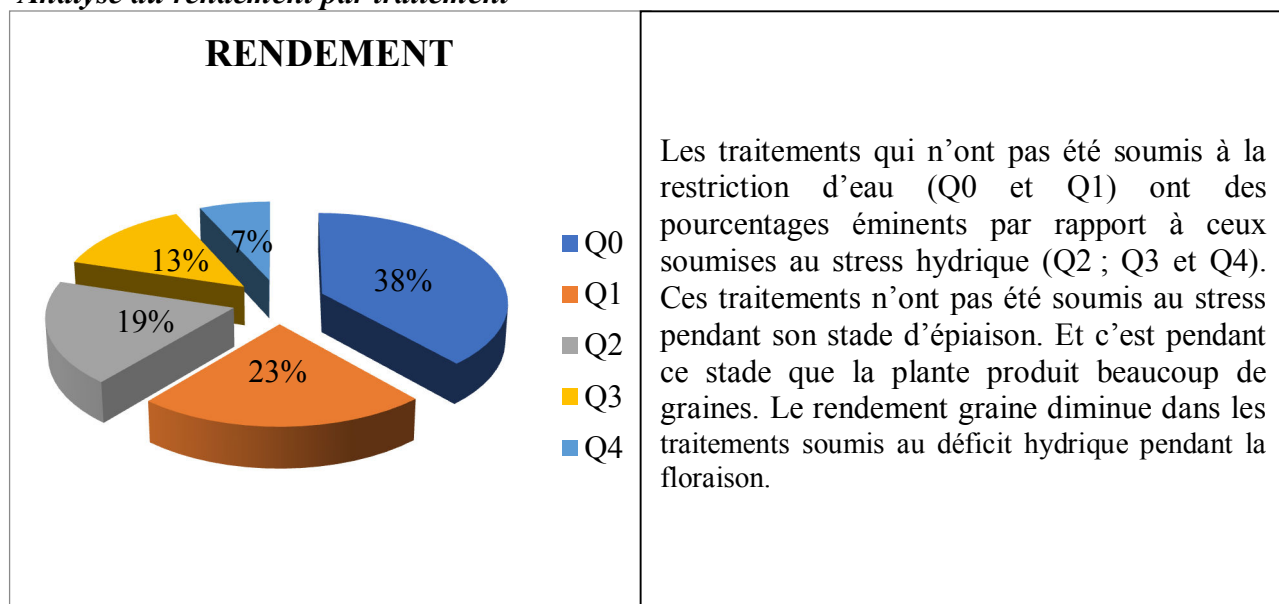


Figure 9 : graphique pour l'analyse du rendement

L'analyse statique montre qu'il existe un lien important entre le stress hydrique et le rendement grains car le seuil de signification est supérieur à la probabilité (**0,05 > 0,0028**).

Tableau 5 : Analyse de la variance du rendement

Analyse de variance : un facteur						
Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance		
Colonne 1	5	0,02093163	0,00418633	5,6854E-06		
Colonne 2	5	15	3	2,5		
ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	22,4372489	1	22,4372489	17,9497583	0,0028501	5,317655063
A l'intérieur des groupes	10,0000227	8	1,25000284			
Total	32,4372717	9				

Simulation Aquacrop



Figure 10 : Ecran de lancement du modèle

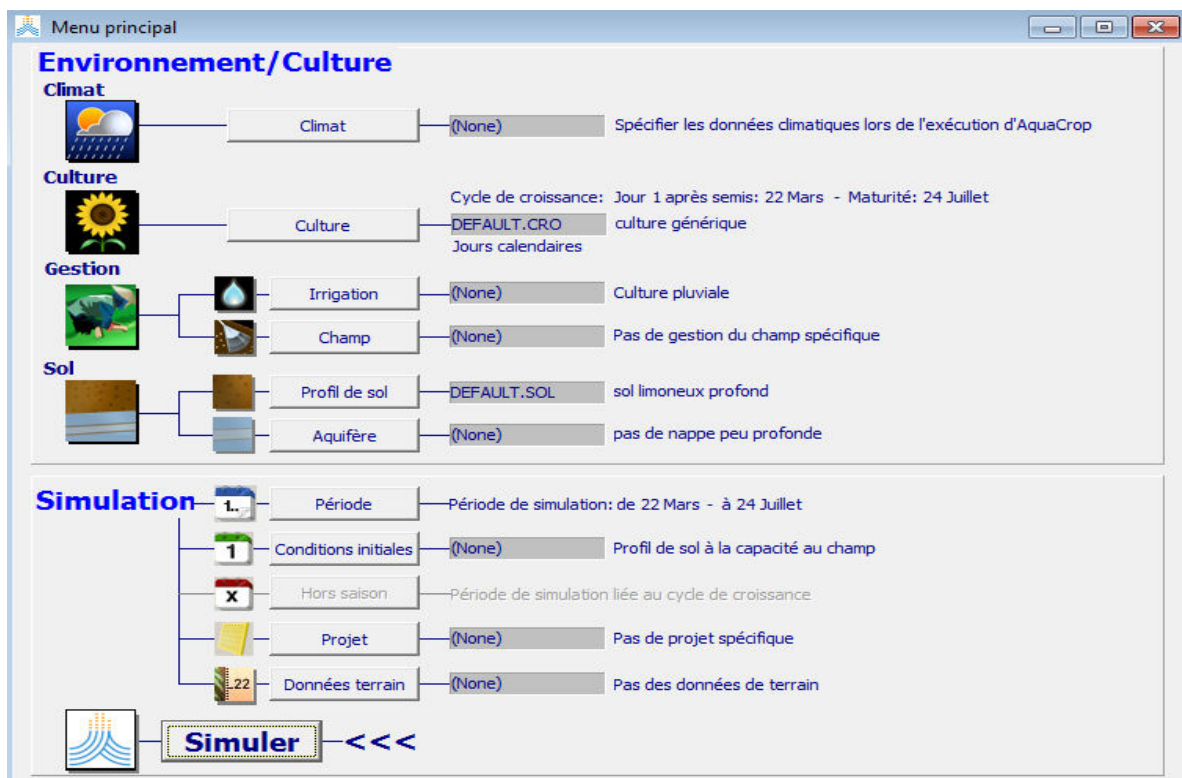


Figure 11 : Ecran de lancement de la simulation Aquacrop

Simulation pour le traitement Q0 (aucune restriction en eau)

Le traitement Q0 n'a été soumis en aucune restriction en eau pendant la durée de la culture. Cependant le couvert végétal et l'évapotranspiration ne varient pas mais par contre l'irrigation varie car chaque 10 jours l'humidité du sol augmentent.

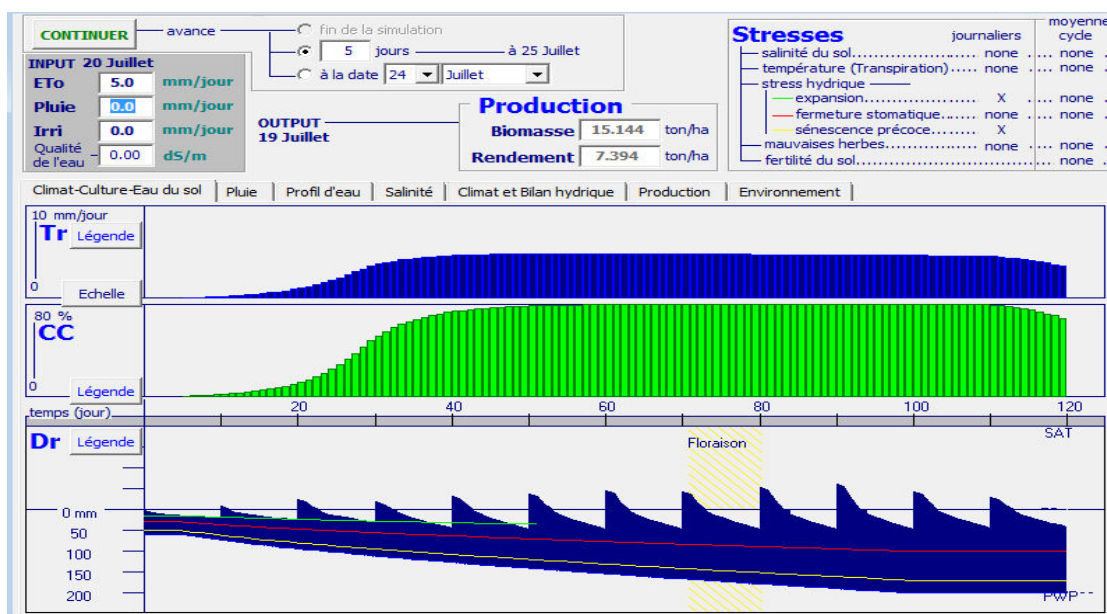


Figure 12 : Simulation du traitement Q0

Simulation pour le traitement Q1 (restriction en eau pendant le tallage)

Le traitement Q1 a été soumis à la restriction en eau de 50% pendant le stade de tallage avec 20,54% de récolte en moins. Dans ce cas l'évapotranspiration, le couvert végétal et l'irrigation varient tous ensemble car même si le déficit hydrique s'arrête au début de l'épiaison ces différents facteurs continuent de varier.

NB : pas de restriction en eau pendant l'épiaison.

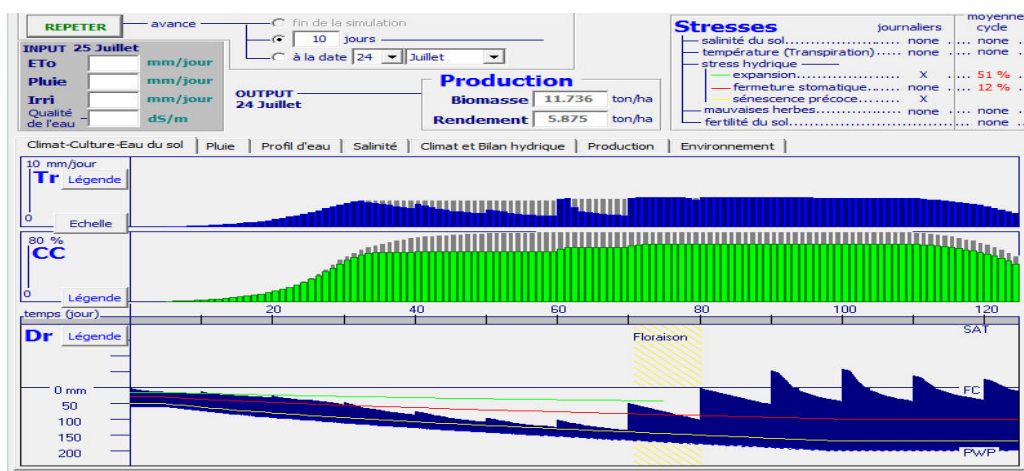


Figure 13 : Simulation du traitement Q1

Simulation pour le traitement Q2 (restriction en eau pendant l'épiaison)

Le traitement Q2 a été soumis à la restriction en eau de 50% pendant le stade de l'épiaison avec 28,69% de récolte en moins. Cependant la variation de l'évapotranspiration et de l'irrigation commence à partir de l'épiaison jusqu'à la maturité, par contre le couvert végétal ne varie point.

NB : pas de restriction pendant le tallage.

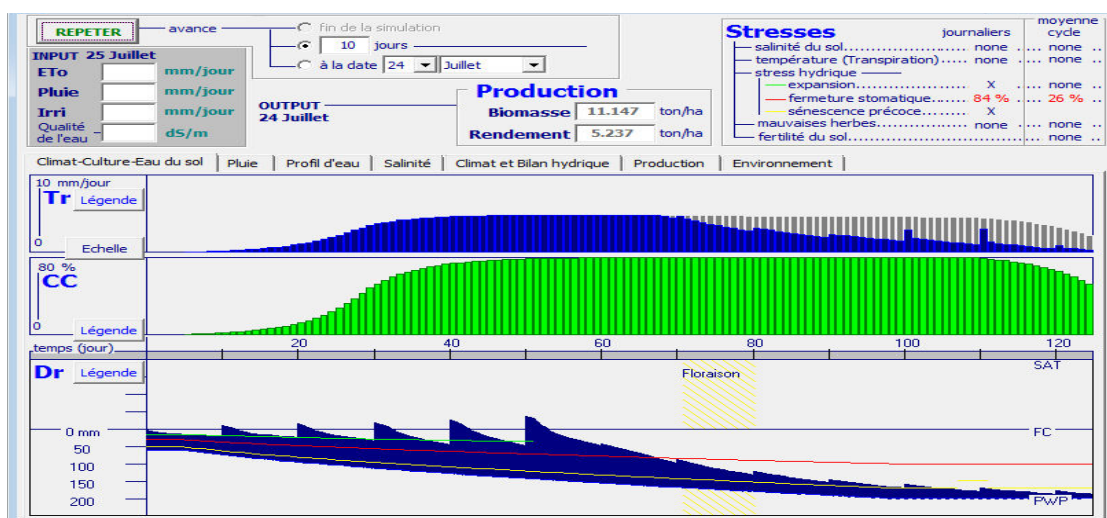


Figure 14 : Simulation pour le traitement Q2

Simulation pour le traitement Q3 et Q4 (stress permanent)

Les traitements Q3 et Q4 ont été soumis à la restriction en eau de 50% pendant la durée de la culture avec 49,6% de récolte en moins. Dans ce cas les (03) trois facteurs varient car il a été soumis au déficit hydrique pendant toute la durée de végétation (du repiquage jusqu'à la fauche).

NB : restriction pendant tout leur stade de végétation.

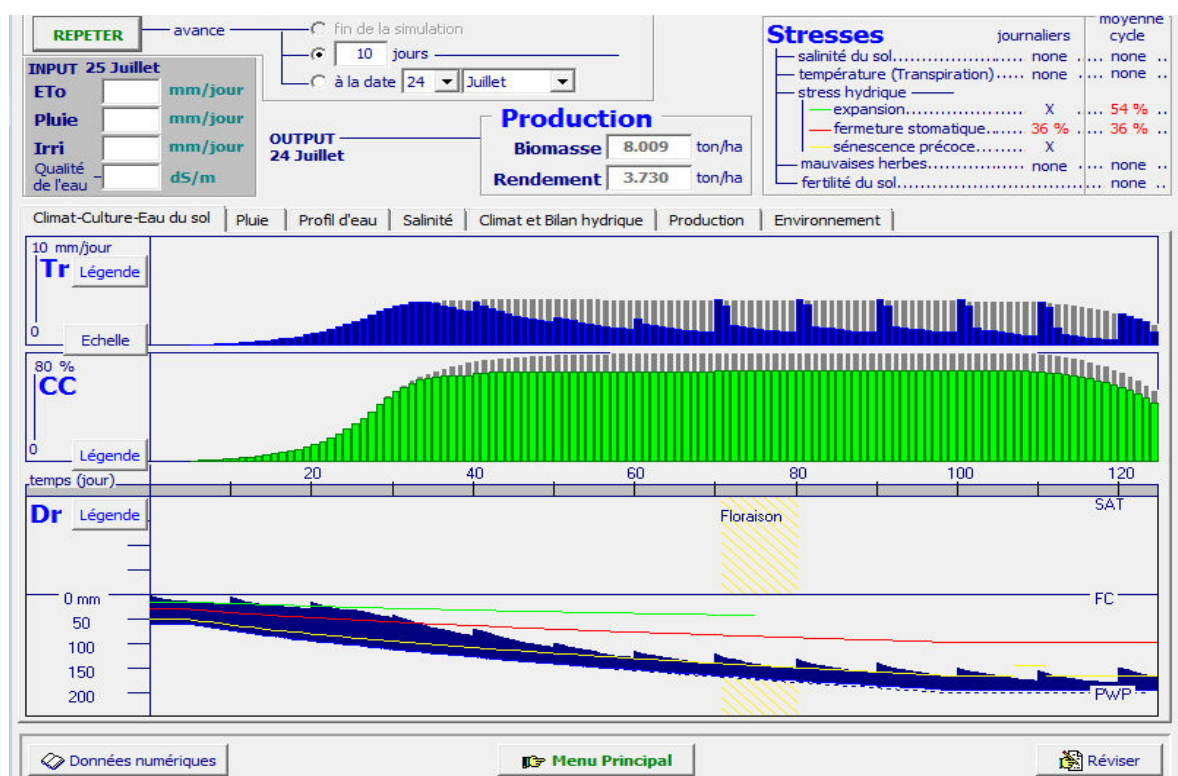


Figure 15 : Simulation des traitements Q3 et Q4

Résumé de la simulation

Tableau 7 : Résumé de la simulation Aquacrop

Désignations	Q0	Q3/Q4	Q1	Q2
Rdt (t/ha) simulés	7,394	3,73	5,875	5,273
Récolte spécifique (%)	100	50,4	79,46	71,31
Récolte en moins (%)	0	49,6	20,54	28,69

4. Discussion

Cette étude a permis d'apprécier l'effet du stress hydrique sur le rendement du riz et de la biomasse pour la période de tallage et de l'épiaison. Les traitements correspondants aux stress hydriques excessifs (stress hydrique au tallage et à l'épiaison, et stress hydrique permanent) ont donné des résultats très défavorables. Cependant le traitement soumis en stress hydrique au tallage a donné un résultat favorable par rapport à celui soumis au stress hydrique pendant l'épiaison. Le traitement témoin a donné le plus meilleur résultat. Par conséquent, l'effet du stress hydrique est à craindre fort sur la période de l'épiaison que sur la période du tallage. Cependant l'impact du stress hydrique à l'épiaison est plus redoutable que celui du tallage car les traitements soumis au stress hydrique pendant le tallage ont un rendement plus élevé que ceux de l'épiaison. Donc l'eau joue un rôle primordial dans la riziculture.

Il serait opportun de refaire cet essai pendant la contre-saison pour mieux contrôler le tarissement au niveau des traitements soumis au stress hydrique.

Toujours, pour une étude plus complète il serait recommandable de s'intéresser à d'autres périodes végétatifs tels que la germination et la maturation en plus du tallage et de l'épiaison.

5. Conclusion

Les périodes particulièrement sensibles au déficit hydrique sont l'épiaison et la période de développement des épis. Quand la teneur en humidité du sol descend de 70 à 80% de la valeur de saturation, les rendements du riz commencent à décliner. Le stress hydrique a donc un impact très important sur le rendement. Le traitement Q0 (aucune restriction en eau) représente 100% de rendement, le traitement Q1 (qui a été soumis au stress hydrique au tallage) représente 82,41% de rendement spécifique et 17,59% (20,54% pour Aquacrop) de rendement en moins par rapport à Q0, le traitement Q2 (qui a été soumis au stress hydrique à l'épiaison) représente 71,97% de rendement spécifique et 28,03(28,69% pour Aquacrop) de rendement en moins par rapport à Q0, le traitement Q3 (qui a été soumis au stress hydrique au tallage et à l'épiaison) et le traitement Q4(qui a été soumis au stress permanent) représentent 50,58% de rendement spécifique avec 49,42% (49,06% pour Aquacrop) de rendement en moins par rapport à Q0.

Références

BRGM. Ifrée, 2005. La mallette pédagogique sur la géologie du Poitou-Charentes et la répartition de l'eau sur la planète, *Deux Sèvres Environnement*, p 19.

Doorembos J. et Kassam A.H., 1980. Réponse des rendements a l'eau. Bulletin d'irrigation et de drainage n033. FAO, Rome (Italie) 1980. 221 p.

Khokhar T., 2007. Graphique : 70 % de l'eau douce est utilisée pour l'agriculture
<https://blogs.worldbank.org/fr/opendata/graphique-70-de-l-eau-douce-est-utilisee-pour-l-agriculture>

Lacharme M. 2009, Stratégie national de développement de la riziculture et (*Fascicule 2*). Le plant du riz, données morphologiques et cycle de la plante. Ministère du Développement Rural et de l'Environnement Direction de la Recherche Formation Vulgarisation Coopération française, Juin 2001.

Morel J., 2007. Les ressources en eau sur Terre : origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique – un tour d’horizon de la littérature. 2007. fhalshs-00134979, <https://shs.hal.science/halshs-00134979/document>

Raes D., 2011. Crop-water productivity model to simulate yield response to water, FAO.

Veyret-Verner G., 1965, L’accroissement de la population mondiale 1920-1960 Types d’accroissement naturelle et essai d’interprétation, *Revue géographique alpine*, 53 pp 525-559.