Afrique SCIENCE *14(3) (2018) 14 - 27*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.net

Effet des précédents culturaux et de la densité du semis sur la culture du safran biologique (*Crocus sativus*. L)

Zakaria BRITEL[1*], Aziza MOURADI[1], Oumaima BENHARBIT[1] et Thierry GIVERNAUD[2]

[1] *Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Laboratoire de Biochimie, Biotechnologie, Santé et Environnement, BP 133 - 14000 Kénitra, Maroc*
[2] *Société STEOF. 5, lot. Johara, Bir Rami Est, 14000 Kénitra, Maroc*

* Correspondance, courriel : *brichad24@gmail.com*

Résumé

Le présent travail vise l'étude du comportement du safran comme une nouvelle culture à introduire dans la province de Khénifra (maroc) au sein d'un système de rotation sous l'effet de deux facteurs. Pour ce faire, nous avons évalué le comportement du safran comme une nouvelle culture à introduire dans la province au sein d'un système de rotation sous l'effet de deux facteurs : précédent culturale (orge ; fève ; petits pois ; safran) et densité de semis pour le safran (D1 = 40bulbes/m^2 ; D2 = 50bulbes/m^2 ; D3 = 60bulbes/m^2) pendant deux saisons 2013/2014 et 2014/2015 dans trois communes différentes (Khénifra, Ouaoumana et Aguelmous). Les résultats ont montré que Les stigmates du safran ont augmenté significativement de taille lorsqu'il été planté à D3 et D2 avec la fève comme précédent culturale pour atteindre 4,7cm comme valeur maximale. Le rendement en stigmates secs été significativement plus important lorsque le safran été précédé par la fève, avec 0,71g/m^2 comme valeurs maximale enregistrée en 2ème saison de culture. Lorsque la fève ou les petits pois succédaient la culture du safran semé à D3 et à D2, plus que 50 % de ces bulbes fils sont arrivés à maturité avec un poids moyen compris entre 7,52 g et 3,25 g, et un diamètre moyen qui variait de 1,45 cm à 3,34 cm. Dans la mesure où la fève précédait le safran semé à D3, cela a affecté significativement et positivement la teneur en picrocrocine responsable de la saveur amère avec un maximum de 175,06 ainsi que le taux de crocine responsable de la couleur avec un maximum de 217,42 à D2. La teneur en safranal été élevée en faveur de la fève comme précédent cultural (jusqu'à 59,37).

Mots-clés : *safran biologique, Khénifra, succession culturale, précédent cultural, densité de semi.*

Abstract

Effect of the cultural previous crop and density of sowing on organic saffron culture (Crocus sativus. L)

The present work aims at the study of the behavior of the saffron as a new culture to be introduced into the province of Khénifra (Morocco) within a system of rotation under the influence of two factors. To do it, we estimated by means of experimental tries in the natural conditions the adaptation of the saffron as a new culture to be introduced into the province within a system of rotation under the influence of two factors: the cultural previous crop (barley; bean; peas; saffron) and density of sowing for the saffron (D1 = 40 bulbs/m^2; D2 = 50 bulbs/m^2; D3 = 60 bulbs/m^2) during two seasons 2013/2014 and 2014/2015. These experiments took

place in three different municipalities (Khénifra, Ouaoumana and Aguelmous). The results showed that the stigmas of the saffron increased significantly by size when it sowed at D3 and D2 with the bean as previous crop to achieve 4,7cm as maximal value. The dry stigmas yield was significantly more important when the saffron is preceded by the bean, with 0,71g/m^2 as maximal value recorded in the 2nd season of culture. The impact of the previous crop and the density was positive on the weight and the diameter of the corms of replacement. When the bean or the peas succeeded the culture of the saffron sowed at D3 and D2 more than 50 % of these corms reached maturity with a middleweight between 7,52 g and 3,25 g, and an average diameter which varies of 1,45 cm in 3,34 cm. As far as the bean preceded the saffron sowed at D3, it affected significantly and positively the content it picrocrocine responsible for the bitter flavor with a maximum of 175,06 as well as the rate of crocine responsible for the color with a maximum of 217,42 to D2. The safranal had averages brought up in favor of the bean as previous crop (until 59, 37).

Keywords : *organic saffron, Khénifra, cultural successions, previous crop, sowing density.*

1. Introduction

Un des enjeux de l'agriculture biologique ou toutes autres incarnations de l'agroécologie, d'aujourd'hui et du futur est de parvenir à produire des aliments tout en réduisant les consommations d'intrants, dont notamment les engrais de synthèse. On est alors en situation agricole à bas niveau d'intrants, où les plantes ressentiront un stress nutritionnel. La faisabilité d'un système de rotation des cultures pour une région est étroitement liée à la rentabilité des cultures impliquées dans ce système. Par conséquent, les systèmes de rotation des cultures prévues afin d'obtenir une augmentation de la production dans une longue période ne peut pas répondre à la demande des producteurs qui donnent la priorité à leur revenu annuel. C'est pourquoi les systèmes appropriés de rotation des cultures ne peut être largement utilisé dans les zones agricoles à cultures-multiples [1]. Par ailleurs, la diversification des cultures avec des légumineuses est envisagée comme partie intégrante de la stratégie de production alimentaire mondiale pour corriger les carences en nutriments et en protéines. Ils sont également appréciés pour leur rôle dans l'amélioration de la fertilité des sols et de l'eau et de la productivité des cultures suivantes. La possibilité d'introduire de nouvelles cultures rentables, nécessite leur adaptation aux conditions pédoclimatiques locales [2].

Du fait que le périmètre étudié est essentiellement une zone bour, le choix des rotations culturales y serait moins diversifié qu'une zone irriguée. Le safran est peu exigeant en termes d'intrants [3], et c'est pour cela que la préparation du sol et l'apport d'une fumure organique (fumier de bovins et équidés) lors de l'installation des parcelles suffisent pour une bonne conduite technique biologique de sa culture. D'autre part, la culture du safran épuise le sol, elle ne doit pas alors dépasser 7 années sur la même parcelle [4]. Et pour que le sol rétablisse ses éléments organiques et sa fertilité, la parcelle ne doit pas être cultivée en safran pendant les 3 années suivantes [3]. D'où la nécessité d'introduire une culture qui devrait garantir la restitution et le renouvellement des éléments fertilisants spécialement en azote, telle que les légumineuses. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des précédents culturaux sur la culture du safran *Crocus sativus* biologique, à travers des essais agriculteurs. Ces essais ont comme objectif de tester quelques rotations et de déterminer celles qui conviendraient le mieux au safran biologique selon les conditions pédoclimatiques de la région, celles qui maintiendraient la fertilité du sol tout en assurant une production durable, dans l'optique d'évaluer la possibilité de son incorporation dans différents schéma de rotation culturales.

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu physique

2-1-1. Lieux des essais

Cette étude a eu lieu dans les conditions naturelles des agriculteurs, dans un environnement non contrôlé, c'est-à-dire qui traduisent les conditions réelles de la pratique agricole. Ces exploitations relèvent de trois communes rurales de la province de Khénifra : EL Borj (cercle de Khénifra), Ouaoumana (cercle de Ben Khlil), Aguelmous (cercle d'Aguelmous), pendant les compagnes agricoles 2013 et 2014 ***(Tableau 1)***.

Tableau 1 : *Coordonnées et altitudes des trois exploitations des essais*

Lieu de l'essai	CR	Coordonnées	Altitude (m)
Khénifra	El Borj	5°40'00.14" Ouest 32°58'10.35" Nord	857
Ouaoumana	Ouaoumana	5°50'24.09" Ouest 32°42'30.03" Nord	741
Aguelmous	Aguelmous	5°50'49.37" Ouest 33°09'43.24" Nord	1184

2-1-2. Choix des parcelles expérimentales

Les parcelles expérimentales ont été choisies sur la base de certains critères bien définis : homogénéité, connaissance de l'historique, de la conduite des parcelles présentant un minimum de facteurs extérieurs tels que les adventices et les maladies, afin de réduire l'effet de la variabilité au sein de cette dernière.

2-1-3. Analyse du sol

Avant la plantation, nous avons réalisés des analyses du sol échantillonné sur une profondeur de 0-30 cm, pour les trois sites d'essai. Pour déterminer cette profondeur nous avons utilisé le fond de labour comme repère. Le prélèvement des échantillons été réalisé en zigzag pour une prospection intégrale de la parcelle. Afin de constituer un échantillon composite par parcelle. Dix échantillons ont été prélevés par parcelle et mélangés. Ces analyses ont eu lieu au laboratoire de l'ORMVAG (office régional de mise en valeur agricole du Gharb) et dont les résultats sont transcrits dans le ***Tableau 2*** :

Tableau 2 : *Propriétés du sol des sites expérimentaux. Soil properties of the experimental fields*

Échantillons	Argile	Limon	Sable	Texture	CaCO3 total	pH	MO	CE	P	K Echangeable	Densité apparente
Unite	%	%	%	-	%		%	dS/m	mg/kg	mg/kg	Kg/dm³
Ouaoumana	20	42	38	Limono-agrileux	2,9	7,8	2,7	1,79	66,5	497,24	1,33
Aguelmous	39	34	27	Argilo-limoneux	0	6,3	3,1	0,1	90	355,81	1,38
EL Borj (Khénifra)	23	43	34	limoneux-sableux	5	7,9	2,1	1,3	22,7	282,28	1,36

CE : conductivité électrique ; MO : matière organique ; P : phosphore ; K : potassium

2-2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé (bulbes de *Crocus sativus.* L) est une semence issues de la production biologique de Taliouine et développée localement à Khénifra suite à des essais de plantation qui ont eu lieu pendant la saison 2013/2014. [5]. Ces bulbes ont été conservés et maintenus dans un endroit sec et aéré à 25°C suivant la procédure de Molina et al. (2003) [6].Une seule variété été utilisée pour le safran du genre *Crocus sativus. L.* Ces bulbes ont été sélectionnés et triés, selon la taille, le poids et l'état phytosanitaire. Le diamètre moyen des cormes de semis est de 2,8 cm à l'exploitation de Ouaoumana, 3 cm à Khénifra et 2,9 cm à Aguelmous. Ainsi les bulbes qui présentent des pourritures suite à l'infestation notamment par les champignons, des tailles en dessous de 2,5 cm, ou un poids inférieur à 6 g ont été écartés. Dans le but de réduire la pression des maladies et optimiser les rendements, nous avons choisis une variété locale de l'orge (*Hordeum vulgare.* L) et des Petits pois (*Pisum sativum* L.) qui est tolérante à la rouille brune, à l'oïdium et à l'helminthosporiose, principales maladie de cette culture. Pour la fève (*Vicia fabae* L), la variété choisie est l'Aguadulce, c'est une variété précoce, vigoureuse et très productive.

2-3. Fertilisation

Pour ce qui est de la fertilisation, les agriculteurs des trois sites ont apporté de la fumure de bovins et d'équidés, mais pas d'amendement minéral ou de traitements phytosanitaires, et ils pratiquent l'épierrage des parcelles et le désherbage manuel des cultures. Ces pratiques se sont fait conformément au mode de production biologique. La fertilisation se raisonne en fonction de la rotation et du type de sol. Dans nos essais deux apports de fumiers de 2,5 kg/m^2 chacun, ont été appliqués lors de la préparation du sol (fin aout) et après la récolte (début février). La fertilisation été ajustée en fonction des analyses du sol, et en prenant en considération les doses préconisées en agriculture biologique.

2-4. Plan d'expérimentation et disposition temporelle des cultures

Trois répétitions sont adoptées pour chaque traitement sur une parcelle de 12 m^2 selon une conception expérimentale en factoriel bloc, dont la forme du dispositif et la disposition des traitements sont entièrement aléatoires. La densité du semi à une grande influence sur le rendement, ce qui dépend de la densité des bulbes plantés d'une part et du calibre des bulbes. Afin de mieux appréhender l'effet des précédents culturaux, les bulbes de safran ont été semés avec trois densités respectives : D1 = 40 bulbes.m^{-2}, D2 = 50 bulbes.m^{-2} et D3 = 60 bulbes.m^{-2} à raison de trois répétitions dans trois blocs de 12m^2.chaque bloc est subdivisées en trois sous blocs de 1m^2, soit une superficie totale de 36m^2 (12 m × 3 m). Les lignes ont été écartées de 20 cm et l'espacement intra-ligne est de l'ordre de 15 cm (D1), 12 cm (D2) et 8 cm (D3). La profondeur du semi est de 15 cm.

2-5. Irrigation

Le but de l'irrigation est de compenser le déficit en eau occasionné par une pluviométrie irrégulière [4]. Dans ce cas-là, aucune irrigation supplémentaire n'a été apportée d'une part, pour ne pas créer d'interférences dans l'interprétation des résultats, mais aussi du fait que les deux compagnes agricoles concernées connaissaient une régularité et une abondance pluviométrique dans tous les sites concernés.

2-6. Paramètres suivis

L'évaluation de culture du safran *Crocus sativus L.* biologique est faite à partir de mesures effectuées à la fin des deux stades principaux du cycle, c'est-à-dire après la floraison et en fin du cycle après la formation des bulbes de remplacement (fin mai et début de juin). Ces mesures ont permis de déduire les paramètres agronomiques, ainsi que les analyses des éléments biochimiques caractéristiques de cette plante.

2-6-1. La longueur des stigmates frais et le poids sec des stigmates

Les fleurs collectées sont ramenés au labo pour subir un émondage manuel à l'aide d'une pincette. Par conséquent les stigmates sont séparés des fleurs et pesés. Durant la période qui correspond aux pics de floraison, dix fleurs ont été échantillonnées aléatoirement sur chaque parcelle et répétition, puis la longueur des stigmates été mesurée en mm à partir du point où ceux-ci virent de couleur (du jaune au rouge) jusqu'à son extrémité. La longueur a été mesurée sous loupe binoculaire.

2-6-2. Le rendement en bulbes de remplacement

A la fin du cycle de la 2ème année de culture (2015), c'est à dire après la sénescence des feuilles, un ensemble de 120 bulbes était échantillonné aléatoirement sur les 4 parcelles, c'est-à-dire 30 bulbes par parcelle. Ces échantillons ont été prélevés sur un mètre carré et sur le mètre linéaire, pour chaque parcelle élémentaire. L'ensemble des bulbes ont été comptés et pesés par la suite. Ce prélèvement nous a permis d'étudier l'effet des précédents culturaux et de la densité du semi sur le diamètre selon la coupe transversale et le poids des bulbes de remplacement.

2-6-3. Analyses spectrophotométriques UV-visible

Les teneurs en crocine responsable de la couleur, en picrocrocine responsable de la saveur amère et en safranal responsable de l'arôme ont été déterminées selon la norme internationale ISO-3632-2-2003 [7]. Les résultats sont obtenus par lecture directe, 3 fois, de l'absorbance spécifique D à 1 % de la solution aqueuse de stigmate sec pour la picrocrocine, la crocine et le safranal, respectivement aux trois longueurs d'onde suivantes : à 257 nm, à 330 nm 440 nm. La ***Formule*** utilisée pour le calcul de la teneur en métabolites secondaires est la suivante :

$$E_{1cm}^{1\%} = \frac{D \times 10000}{M(100-H)} \quad (1)$$

$E_{1cm}^{1\%}$ *étant la valeur de l'extinction spécifique, D la valeur de l'absorbance à chaque longueur d'onde, M la masse de l'échantillon de safran en grammes et H la teneur de l'échantillon en humidité en %.*

2-7. Analyses statistiques des données

Les analyses et les tests statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel Minitab 17.3.1. L'analyse descriptive a été utilisée dans le cas des analyses physiques faites au laboratoire et l'analyse de la variance ANOVA à deux facteurs, model linéaire généralisé à deux facteurs (précédent culturale et densité), pour déterminer la présence ou non de différences significatives, des moyennes de l'absorbance de la crocine, la Picrocrocine, le safranal ainsi que la longueur de stigmate, des échantillons collectés dans chacune des exploitations sujet d'étude. En fin le test de Tukey à $\alpha = 0{,}05$ a permis de classer et de comparer les moyennes à l'aide des lettres chaque fois que l'analyse révèle des différences significatives.

3. Résultats et discussion

3-1. Résultats des paramètres agronomiques

3-1-2. Taille des stigmates

Les stigmates contiennent trois substances importantes qui sont le safranal, la crocine et la picrocrocine qui sont responsables respectivement de l'arôme, la couleur et le goût. La teneur des stigmates en ces éléments dépend de l'environnement et des pratiques culturales [8]. Durant les deux années de culture, la longueur

moyenne des stigmates variait d'un site à l'autre selon le précédent cultural et la densité du semi. Cette variation est représentée par la ***Figure 1***. La taille maximale des stigmates a atteint 4,7 cm (2ème année) en pratiquant la fève comme précédent avec la densité D3 dans les deux exploitations d'Ouaoumana et Khénifra. Quant à Aguelmous, la taille des stigmates est imperceptiblement moins importante (4,6 cm) à D3 et D2 comme il est discerné sur la ***Figure 1***. Cette taille s'abaisse à 3,1cm à Ouaoumana et Khénifra avec le safran comme précédent à D2, Toutefois un minimum de taille (2,8 cm) parmi les trois sites est observé à Aguelmous lorsque le safran est précédé de l'orge à D1. Les résultats de l'analyse de la variance indiquent qu'au seuil de signification $\alpha = 0{,}05$ l'effet de l'interaction des deux facteurs précédent*densité est significative sur la taille des stigmates dans l'ensemble des parcelles traitées. Durant les deux compagnes de culture, les deux combinaisons fève*D3 et fève*D2 donnent le meilleur rendement en taille des stigmates On dit alors que les stigmates du safran augmentent significativement de taille lorsqu'il est planté à 60 et 50 bulbes/m² et précédé de la fève. Tandis que la taille des stigmates diminue très significativement ($p \leq 0{,}05$) quand le safran est précédé par luis même à une densité D1 = 40bulbes/m² et D2 = 50bulbes/m², surtout à l'exploitation de Khénifra et celle d'Aguelmous. Cette amélioration de la taille des stigmates été noté aussi par [9], lors d'une étude à Kashmir, où la taille été 2,4 cm à 3,8 cm, pendant que chez [10], ces tailles ont atteint 2,86 cm jusqu'à 4,8 cm, et récemment [11] rapportent une valeur de 2,95 cm et 2,99 cm en 1ère et 2ème année de culture successivement. Ce même auteur est arrivé à ce résultat en utilisant la fève comme précédent cultural au safran à une densité de 45 bulbes/ m².

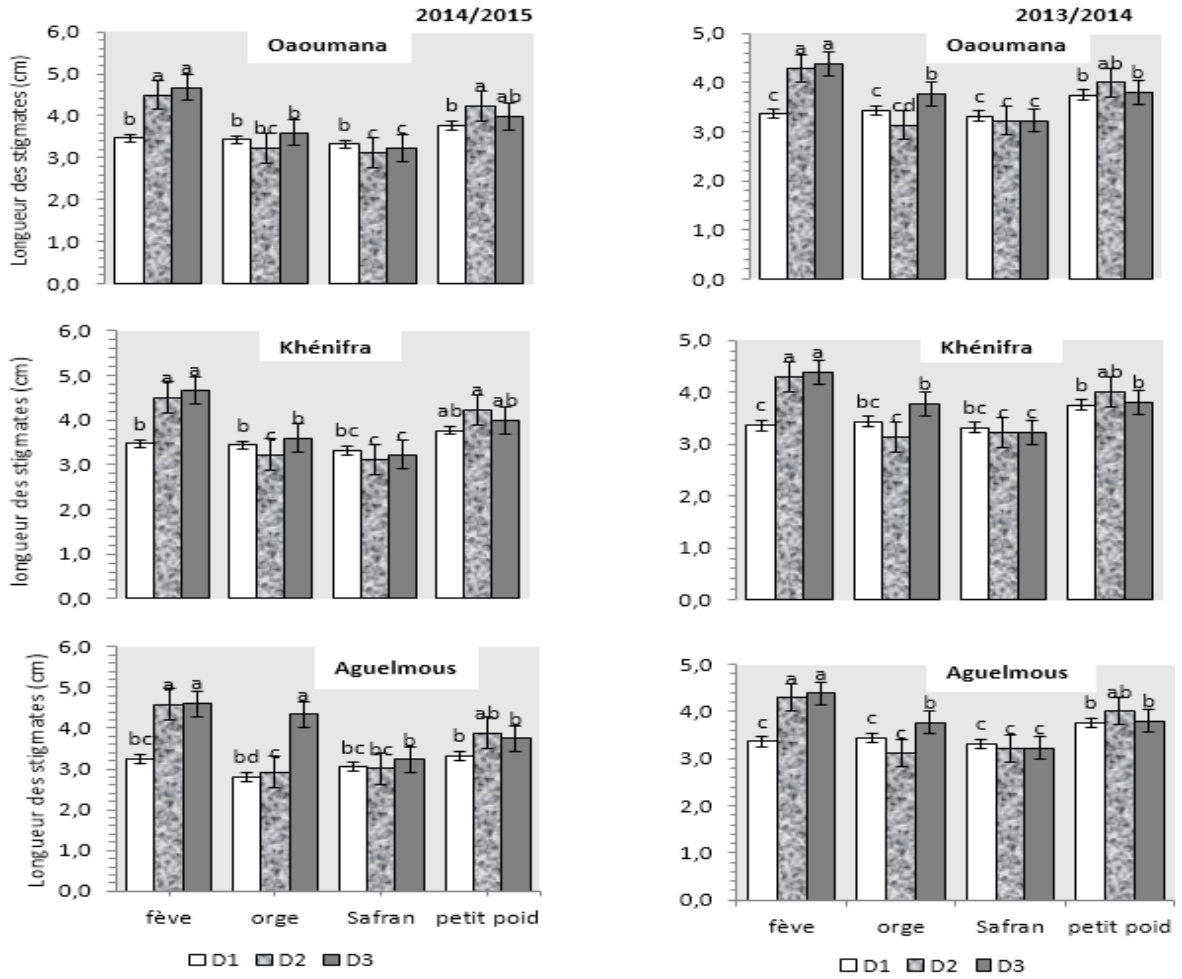

Figure 1 : *Valeurs moyennes de la longueur des stigmates ± déviation standard par rapport au précédent cultural durant les deux compagnes 2013/2014 et 2014/2015. D1 = 40bulbes/m2 ; D2 = 50 bulbes/m2 ; D3 = 60bulbes/m2; Les valeurs suivis de la même lettre ne présentent pas de différences significatives (test de Tukey à α = 0,05)*

3-1-3. Poids sec des stigmates

La variation des moyennes relatives aux poids sec des stigmates indique une différence statistiquement significative ($p \leq 0,05$) entres le rendement en stigmates secs des différentes cultures précédentes d'une part et entre les trois densités appliquées d'autre part. D'après la ***Figure 2***, on voit que la fève cultivée après le safran à D3 donne toujours le meilleur rendement chez toutes les exploitations et s'élève à 0,71g/m^2 comme valeurs maximale enregistré à Ouaoumana et Aguelmous en 2ème année. Pourtant, le poids sec diminue avec le safran à D1 jusqu'à une valeur de 0,18g/m^2 à Ouaoumana, de 0,19g/m^2 à Khénifra puis de 0,15g/m^2 à Aguelmous.

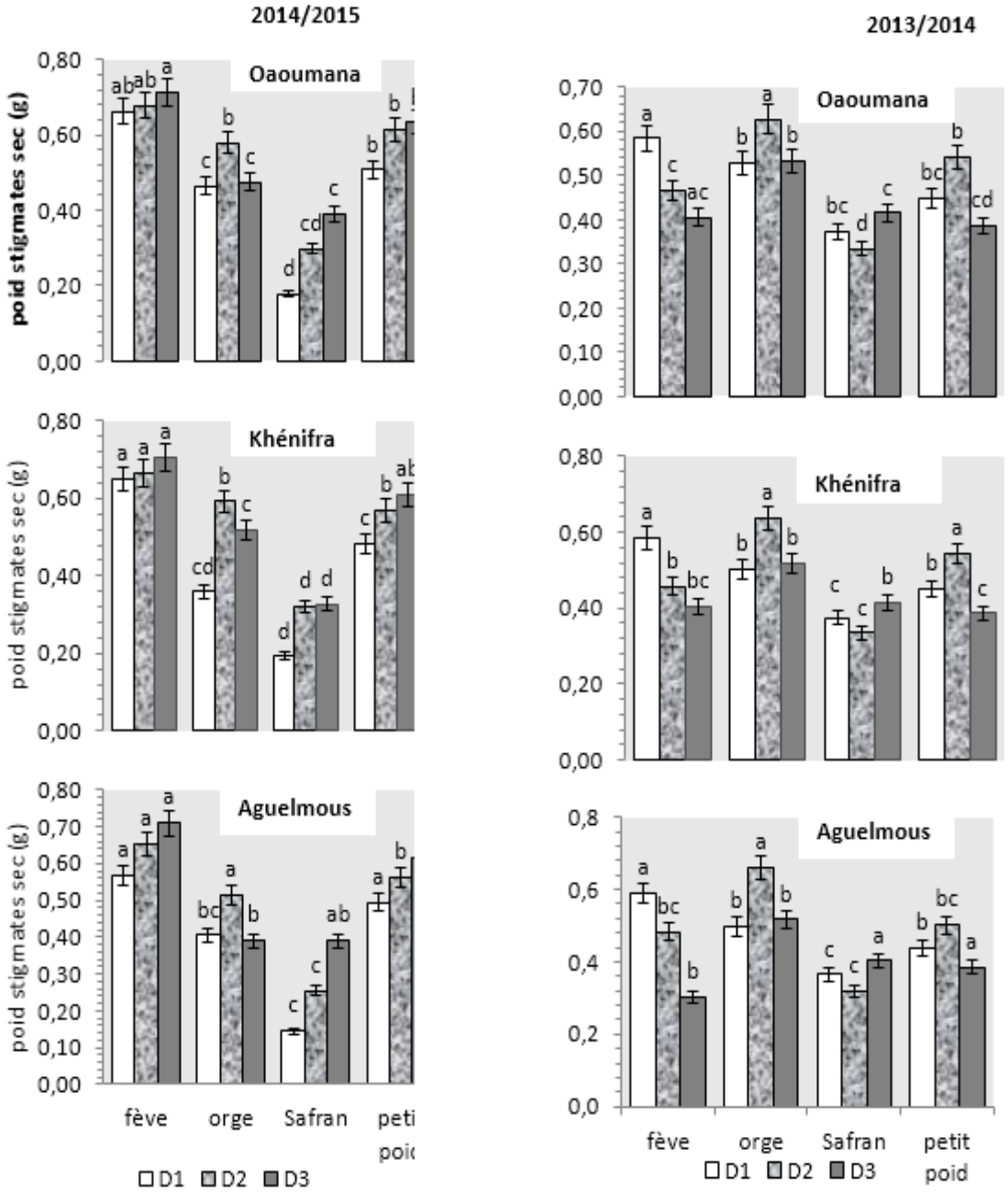

Figure 2 : *Variation du poids sec des stigmates par rapport au précédent cultural à Khénifra durant les deux compagnes 2013/2014 et 2014/2015. D1 = 40bulbes/m^2 ; D2 = 50bulbes/m^2 ; D3 = 60bulbes/m^2; Les valeurs suivis de la même lettre ne présentent pas de différences significatives (test de Tukey à α = 0,05)*

Les résultats de l'analyse de la variance indiquent que les moyennes du poids des stigmates secs sont significativement différentes par rapport aux précédents culturaux ($p \leq 0,05$). Or la densité n'a globalement pas eu d'effet significatif ($p \geq 0,05$) sur le rendement en stigmate sec. Le rendement en stigmates secs est significativement plus important lorsque le safran est précédé par la fève, ainsi que par le petit pois et l'orge en deuxième position. Le rendement du safran, particulièrement le rendement en stigmates secs, dépend de plusieurs facteurs agronomiques, biologiques et environnementaux. Il est principalement influencé par la dimension et les conditions de stockage des bulbes, les conditions climatiques, la date de semis, le système de conduite (annuel ou pérenne), les pratiques culturales (irrigation, fertilisation, désherbage, protection phytosanitaire, etc.) et l'âge de la culture [4]. Généralement le rendement en stigmate sec est corrélé positivement à la densité bien que les dimensions des cormes soient moyennes. [12] ont obtenus un rendement de 0,74g/m^2 à partir d'une densité au semi de 150bulbes/m à un poids moyen supérieur à 10 g / cormes. Dans le même contexte d'étude, le meilleur rendement en stigmate sec été atteint avec une densité au semi comprise entre 111 et 119 bulbes/ m^2 [13]. De toute façon, nos résultats en terme de production de stigmate sec sont proches d'une étude comparative entre deux densité de semi (59 et 61 bulbes/m2) réalisé par [14] qui conclût que la plus grande production en stigmate sec par unité de surface est obtenue avec de grandes densités, alors que la compétition entre les cormes commence à partir de 51 bulbes/m^2. Dans les travaux de [11], une augmentation de 1,6 à 2 g de stigmates secs par mètre carré été notée dans la succession fève- safran durant la 1ère et la 2ème année de suite, bien que l'effet de la fève pendant la première année ne fût pas statistiquement significatif. C'est pour cela que cette amélioration en termes de rendement en stigmate sec, pourrait être principalement attribuée à la fixation symbiotique d'azote. Il est généralement admis qu'une rotation des cultures appropriée améliore la structure de sol en augmentant la matière organique, notablement le rendement par apport à l'azote net substantiel à la fertilité de sol qui aboutirait aux rendements plus hauts lors de la récolte suivante [15]. [16] a comparé les successions triennales blé-orge-haricot et blé-orge-orge, et il a estimé que la fève comme précédente a pu augmenter le rendement céréalier ultérieur, en moyenne par 21 % dans la première année et 12 % en deuxième année. En plus la valeur apportée en azote par la fève a été estimée à 120 kg d'azote N par hectare, ce qui a été confirmé par [17].

3-1-4. Le rendement en bulbes de remplacement

Les bulbes nouvellement formés dites encore bulbes de remplacement ou bulbes fils ont été arrachés après la phase de senescences des feuilles entre fin mai et début de juin de la deuxième année de culture. Les rapports entre la taille des bulbes, le nombre de fleurs et le poids des stigmates ont été décrits par plusieurs auteurs à travers le monde [11] qui ont ainsi montré que des bulbes de gros calibre améliorent la précocité et la densité de floraison, et donnent de bulbes fils de plus grande taille pour la saison suivante [4]. Les graphiques de la ***Figure 3*** dévoilent un impact positif des précédents culturaux et de la densité sur le poids de ces bulbes. Toutes les moyennes sont très proches de la médiane, ce qui témoigne d'une bonne répartition de notre échantillon. Selon cette ***Figure*** on aperçoit que lorsque la fève ou les petits pois succèdent la culture du safran semé à D3 et à D2, plus que 50 % de ces bulbes fils arrivent à maturité avec un poids moyen compris entre 7,52 g et 3,25 g, et un diamètre moyen qui varie de 1,45 cm à 3,34 cm. La plus grande variabilité du poids est enregistrée à Khénifra avec l'orge à D1 (étendu interquartile = 4,02). Tandis que, la variabilité du diamètre moyen est sensiblement moins éminente à Ouaoumana (étendu interquartile = 1,35) dans la succession safran- safran à D3.

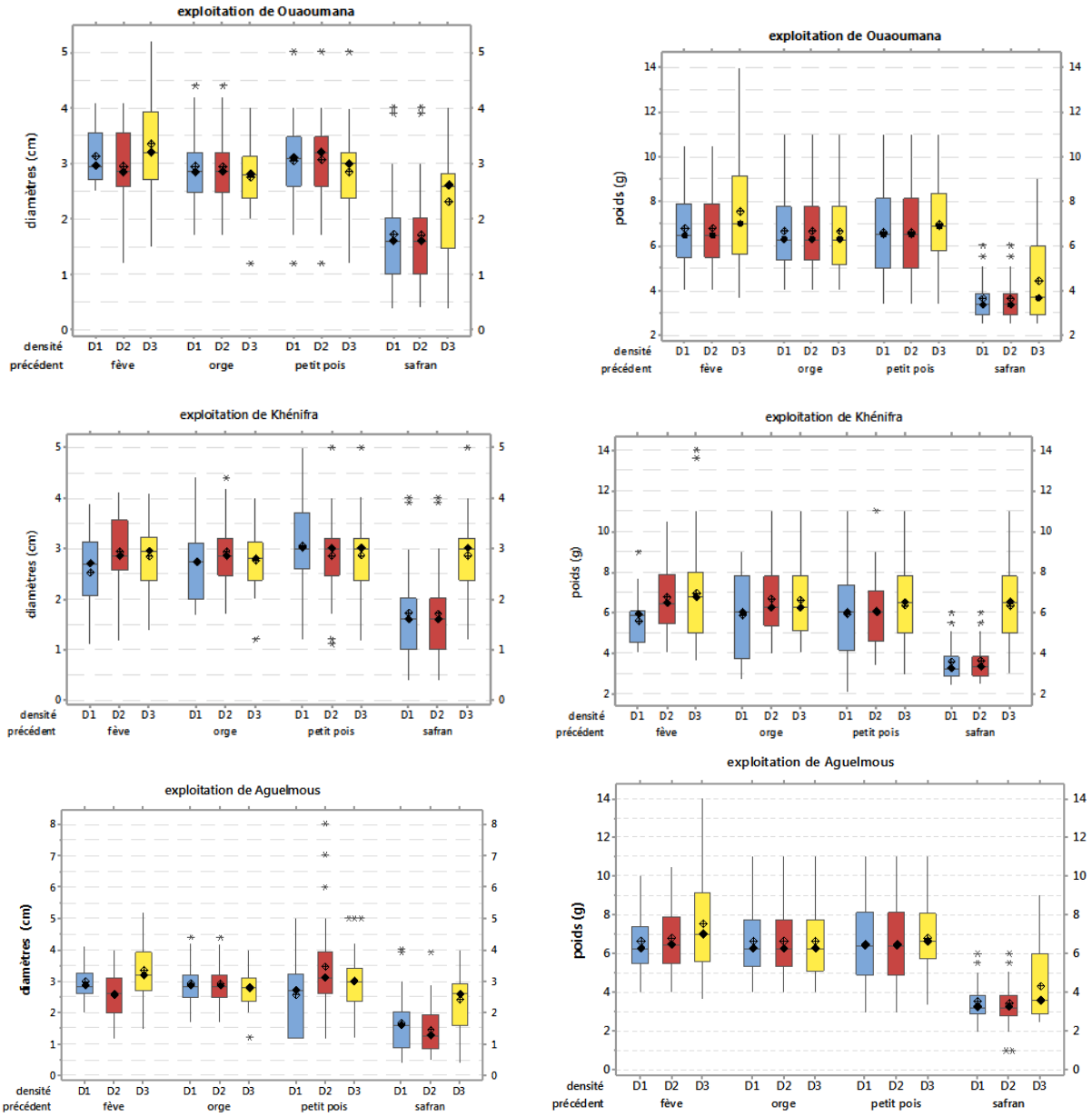

Figure 3 : *Boîtes à moustache relatives au diamètre et au poids moyen des bulbes de remplacement. L'astérisque* indique une valeur aberrante ; Le losange noir indique la médiane. Le losange blanc indique la moyenne*

Le rendement et la qualité du safran sont très corrélés au diamètre des bulbes au semis, qui doit être au minimum de 2,5 cm [8]. Les bonnes cormes produisent un bon nombre de fleurs (jusqu'à 5 fleurs/bulbe) et de bons bulbes de remplacement. Dans la région de Taliouine- Taznakht, le diamètre moyen des bulbes est de 2 cm. Cette valeur est faible en comparaison avec la norme recommandée (minimum 2,5 cm). Cette faible taille des bulbes s'explique elle-même par les fortes densités de semis pratiquées qui engendrent une forte compétition des bulbes pour l'eau et les éléments minéraux. Le problème s'aggrave avec l'augmentation de l'âge de la culture du safran au-delà de 5 ans [3]. Nos résultats sont en parfaite concordantes avec les essais de [11]. Ces travaux portaient sur l'évaluation de l'effet de trois précédents culturaux sur le diamètre (longitudinal et transversal), sur la biomasse totale et le poids moyen des bulbes de remplacement. Les valeurs médianes les plus hautes en termes de poids de bulbes et des dimensions ont été enregistrées quand la fève était appliquée comme précédent, tandis que le safran ou jachère comme précédent culturale montrait les valeurs les plus faibles tant sur le diamètre que sur le poids des bulbes fils.

3-2. Résultats des paramètres biochimiques : Détermination des teneurs en crocine, picrocrocine et safranal par analyses spectrophotométriques UV-visible

Divers composants chimiques sont présents dans la plante du safran. Ils comprennent : les glucides, les minéraux, du mucilage, des vitamines comme la riboflavine et la thiamine, des pigments colorés tels que la crocine, les anthocyanes, le carotène, le lycopène et des substances aromatisantes telles que le safranal ainsi que la picrocrocine responsable de la saveur [18]. La crocine, la picrocrocine et le safranal sont les métabolites les plus influents de la qualité de safran [19].

3-2-1. Dans l'exploitation d'Ouaoumana

Les résultats relatifs aux valeurs moyennes de l'extinction spécifique des métabolites secondaires sont représentés pour l'ensemble des échantillons par la ***Figure 4***.
Ces résultats montrent que les moyennes les plus élevées de la picrocrocine (175,06), de la crocine (336,62) et de la safranal (61,24) sont liées à la fève et à la densité D3. Tandis que les moyennes les plus basses sont obtenues avec l'orge à D1 pour la picrocrocine (46,5), avec le safran comme précédent à D2 pour le safranal (19,6) ainsi que pour la crocine (74,2).

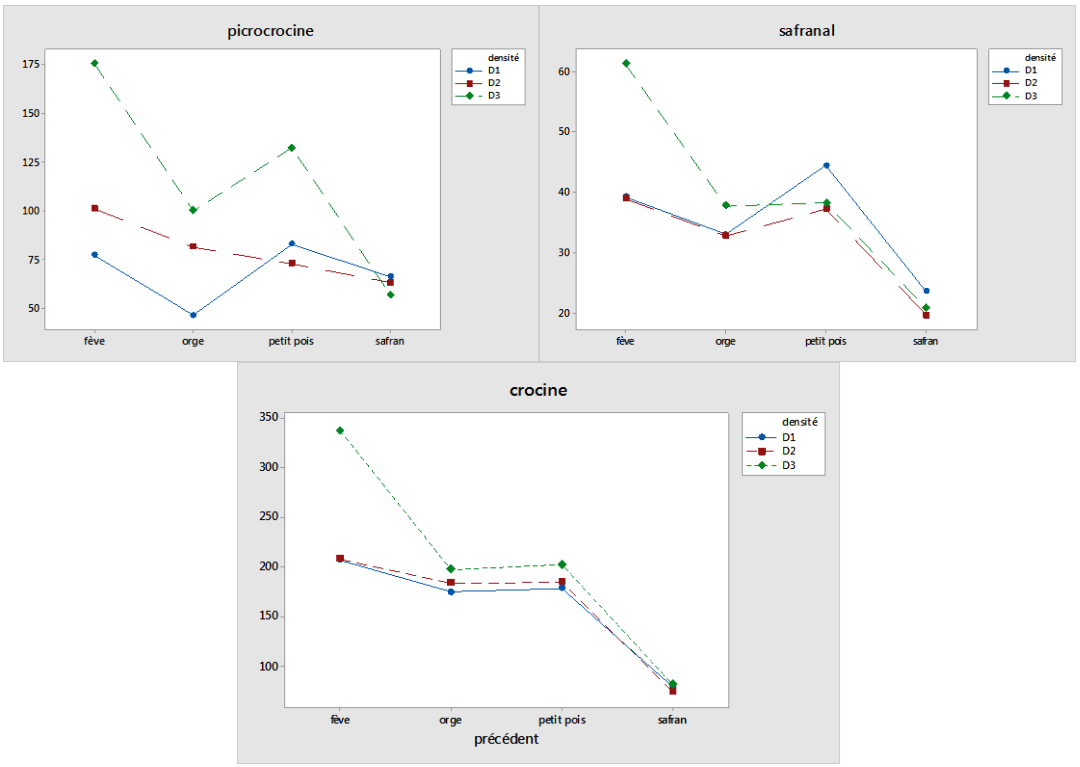

Figure 4 : *Graphiques linéaires de l'effet des précédents culturaux et de la densité sur les principaux métabolites du safran dans le site de Ouaoumana. D1 : 40bulbe/m². D2 : 50bulbe/m². D3 : 60bulbe/m²*

3-2-2. Dans l'exploitation de Khénifra

Les résultats relatifs aux valeurs moyennes de l'extinction spécifique des métabolites secondaires sont représentés pour l'ensemble des échantillons par la ***Figure 5***.

- *La picrocrocine*

On constate que les courbes relatives à la teneur en picrocrocine suivent une variation semblable à celles de

Ouaoumana. Elle est à son maximum (169,56) quand le safran est suivi de la fève à la densité D3, mais elle diminue à une valeur minimale (51,15) lorsque le safran est pratiqué comme précédant à D1.

- *Le safranal*

Le graphique relatif au taux de safranal montre que la fève à la densité D3 donne un maximum de 56,24, tandis que l'orge donne une valeur minimale avec la même densité.

- *La crocine*

Les résultats de la crocine permettent de constater que l'utilisation de la fève comme culture précédente donne toujours de meilleurs résultats face aux trois autres cultures à un léger écart entre les trois densités D2 (217,42), D3 (210,62) puis D1 (201,92). Néanmoins, les valeurs minimales sont attribuées à la culture précédée du petit pois à D3 (183,08), à D2 (180,82) et finalement à D1 (175,3).

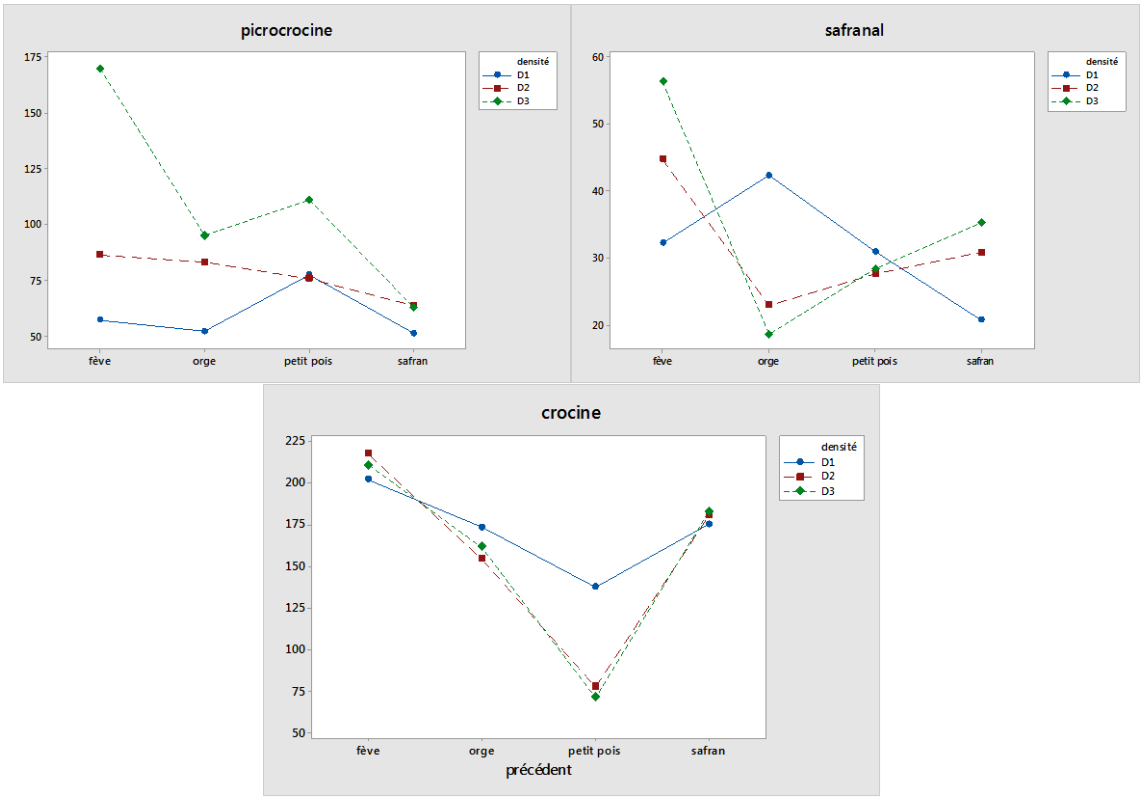

Figure 5 : *Graphiques linéaires de l'effet des précédents culturaux et de la densité sur les principaux métabolites du safran. Site de Khénifra. D1 : 40bulbe/m². D2: 50bulbe/m². D3 : 60bulbe/m²*

3-2-3. Dans l'exploitation d'Aguelmous

Les graphiques linéaires qui représentent les teneurs en picrocrocine, crocine et en safranal sont regroupés dans la ***Figure 6***.

- *La picrocrocine*

Les graphiques relatifs à la picrocrocine suivent le même schéma que ceux d'Ouaoumana. La valeur maximale de la picrocrocine (171,18) est enregistrée avec la fève à D3, alors qu'avec le safran cette valeur est minimale tant à D1 (56, 14) qu'à D2 (77,81) et D3 (79)

- *La Safranal*

Les moyennes de l'extinction spécifique pour le safranal enregistrent des valeurs maximales quand le safran est précédé par les petits pois à D3 (59,37) de même qu'à D2 (57,2), et un minimum (19,06) avec le safran à D1.

- *La crocine*

Au niveau de la crocine on remarque qu'elle atteint sa valeur maximale (374,5) vis-à-vis des deux autres exploitations avec la fève comme précédent cultural à D1.

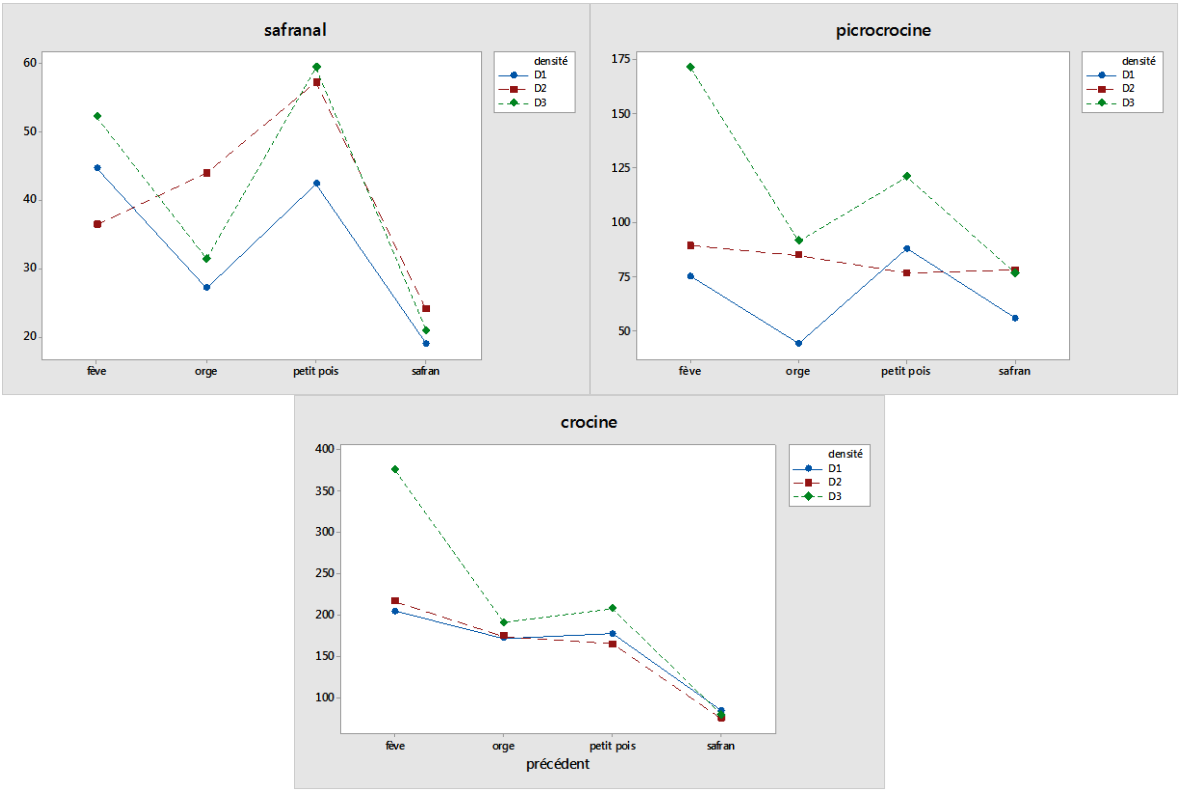

Figure 6 : *Graphiques linéaires de l'effet des précédents culturaux et de la densité sur les principaux métabolites du safran dans le site d'Aguelmous. D1 : 40bulbe/m². D2 : 50bulbe/m². D3 : 60bulbe/m²*

Les résultats de l'analyse de la variance indiquent qu'au seuil de signification $\alpha = 0{,}05$ l'effet de l'interaction des deux facteurs précédent*densité été significatif sur la picrocrocine et la crocine, Mais seule le facteur précédent cultural a eu un effet significatif sur le taux de la safranal ($p \leq 0{,}05$). La moyenne relative à la combinaison fève*D3 est significativement différente ($p \leq 0{,}05$) des autres moyennes dans les trois sites en ce qui concerne la teneur en picrocrocine et en crocine. Donc dans la mesure où la fève est plantée à une densité de 60 bulbes/m^2 (D3), cela affecte positivement la teneur en picrocrocine responsable de la saveur amère du safran ainsi que le taux de crocine responsable de la couleur. [20] ont montré que la teneur en picrocrocine diminue légèrement alors que celle en safranal augmente faiblement compte tenu de l'humidité des stigmates après séchage : un taux d'humidité élevé entraîne une dégradation de la crocine et de la picrocrocine mais permet le développement de l'arôme du safran, le safranal étant un produit d'hydrolyse de la picrocrocine. La teneur en safranal présente des moyennes élevées en faveur de la fève comme précédent cultural (tous site confondu) alors que les taux les plus bas sont obtenus quand le safran est précédé par lui-même. [21] menaient au Maroc une étude expérimentale dans 11 zones différentes (notées de S1 à S11) avec une disparité d'altitudes, Et en employant la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) pour mesurer les crocines, la picrocrocine, et le safranal. L'analyse des incidences de l'environnement sur la qualité du safran a prouvé que seule l'altitude affecte les crocines ($R2 = 0.84$; $p < 0.05$). Pour nos essais nous n'avons relevé aucun effet significatif ($R2 = 0{,}35$; $p \leq 0{,}05$) du facteur région, encore moins pour le facteur altitude ($R2 = 0{,}21$; $p \leq 0{,}05$) quoique les trois sites soient répartis sur trois altitudes différentes sur trois types de sols. Ceci suppose que l'étude de l'effet de l'altitude et de la nature du sol devrait requérir davantage d'intérêt dans l'espace et dans le temps, ce qui été un facteur limitant face au développement de nos essais.

4. Conclusion

Le principal objectif fixé pour ce travail était d'évaluer l'effet des précédents culturaux sur la culture du safran Crocus sativus biologique comme une nouvelle culture installée dans la région au sein d'un système de rotation associant au moins une céréale et des légumineuses. Les stigmates du safran ont augmenté significativement de taille lorsque le safran a été planté avec les densités D3 = 60 bulbes/m2 et D2 = 50 bulbes/m2 avec la fève comme précédent culturale pour atteindre 4,7 cm comme valeur maximale. Tandis que la taille des stigmates a diminué significativement ($p \leq 0,05$) quand le safran a été précédé par lui-même à une densité D1 = 40 bulbes/m2 à l'exploitation d'Aguelmous. Le rendement en stigmates secs a été significativement plus important lorsque le safran était précédé par la fève, avec 0,71 g/m^2 comme valeur maximale enregistrée à Ouaoumana et à Aguelmous en 2ème saison de culture. L'impact des précédents culturaux et de la densité a été significatif sur le poids et le diamètre des bulbes de remplacement. Lorsque la fève ou les petits pois succédaient la culture du safran semé à D3 et à D2, plus de 50 % des bulbes fils sont arrivés à maturité avec un poids moyen compris entre 3,25 g et 7,52 g ; et un diamètre moyen qui varie de 1,45 cm à 3,34 cm. La moyenne de la combinaison fève*D3 a été significativement différente ($p \leq 0,05$) des autres moyennes dans les trois sites en ce qui concerne la teneur en picrocrocine et en crocine, dans la mesure où le safran est planté à une densité de 60 bulbes/m^2 (D3) avec la fève comme précédent cultural, cela a affecté positivement la teneur en picrocrocine responsable de la saveur amère avec un maximum de 175,06 ainsi que le taux de crocine responsable de la couleur avec un maximum de 217,42 à D2. La teneur en safranal présente des moyennes élevées en faveur de la fève comme précédent cultural (jusqu'à 59,37 à Aguelmous). On conclut à la lumière de ces résultats que le potentiel du développement et d'extension de la production du safran biologique dans de nouvelles régions à l'égard de la province de Khénifra est très grand. Ce développement passe par l'amélioration des pratiques agronomiques, la conduite de la culture, le choix et l'adaptation des successions et/ou associations culturales à la culture du safran biologique.

Références

[1] - R. DOGAN, A. T. GOKSOY, K. YAGDI, Z. M TURAN, *African Journal of Biotechnology*, 7 (22) (2008) 4076 - 4082

[2] - S. M. JADOUALI, H. ATIFI, Z. BOUZOUBAA1, K. MAJOURHAT, S. GHARBY, F. ACHEMCHEM, A. ELMOSLIH, A. LAKNIFLI, R. MAMOUNI, *J. Mater. Environ. Sci.*, 9 (1) (2018) 113 - 118

[3] - A. ABOUDRARE, A. HASSAN, TJ. LYBBERT, *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét*, 2 (1) (2014) 5 - 14

[4] - A. BIROUK, A. ABOUDRARE, A. AIT-OUBAHOU, L. KENNY, H. EL BENNOURY, in " Guide des bonnes pratiques de production du safran dans la région de taliouine-Taznakht", Office Régionale de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate, FAO, (2011) 19 - 80

[5] - Z. BRITEL, A. MOURADI et T. GIVERNAUD, *Afrique SCIENCE*, 13 (5) (2017) 262 - 274

[6] - R. V. MOLINA, A. GARCIA-LUIS, M. VALERO, Y. NAVARRO, JL. GUARDIOLA, First International Symposium on Saffron Biology and Biotechnology, *Acta Horti*, 650 (2003) 219 - 225

[7] - ISO-3632-2-2003, International Organisation for Standardization, Geneva, (2003 revised in 2007)

[8] - F. GRESTA, G. M. LOMBARDO, L. SIRACUSA and G. RUBERTO, *A review. Agron. Sustain. Dev*, 28 (2008) 95 - 112

[9] - F. A. NEHVI, S. A. WANI, S. A. DAR, M. I. MAKHDOOMI, B. A. ALLIE, Z. A. MIR, *Acta Hortic*, 739 (2007) 36 - 37

[10] - J. I. MIR, N. AHMED, A. H. WAFAI and R. A. QADRI, *J Spices Aromat Crops*, 21 (2012) 169 - 173

[11] - F. GRESTA, C. SANTONOCETOA, G. AVOLAB, *Scientia Horticulturae*, 211 (2016) 34 - 39

[12] - A. MOLLAFILABI, A. KOOCHEKI, H MOEINERAD, L. KOOSHKI, *Acta Hortic*, 997 (2013) 51 - 58

[13] - O. TEMPERINI, R. REA, A. TEMPERINI, G. COLLA, Y. ROUPHEL, *J Food Agric Environ*, 7 (2009) 19 - 23

[14] - J. A. DE JUAN, H. L. CÓRCOLES, R. M. MUÑOZ, M. R. PICORNELL, *Industrial Crops and Products*, 30 (2) (2009) 212 - 219
[15] - A. SAXENA, D. V. SINGH, N. L. JOSHI, *J Agron. Crop Sci*, 178 (1997) 251 - 257
[16] - A. T WRIGHT, *Can. J. Plant Sci*, 70 (1990) 1023 - 1032
[17] - S. BEHZAD, M. RAZAVI, M. MAHAJERI, *Acta Hort*, 306 (1992) 337 - 339
[18] - I. LAHMASS, T. LAMKAMI, C. DELPORTE, S. SIKDAR, P. VAN ANTWERPEN, E. SAALAOUI, V. MEGALIZZI, *Journal of Functional Foods*, 35 (2017) 341 - 351
[19] - MS. MOGHADDASI, *Journal of Medicinal Plants Research*, 4 (6) (2010) 427 - 430
[20] - M. TSIMIDOU and C. G. BILIADERIS, *J Agric Food Chem*, 45 (8) (1997) 2890 - 2898
[21] - M. LAGE, C. FAIZ and C. L. CANTRELL, *ISHS Acta Horticultura,* 739 (2007) 49 - 52