



## **Effets de différents composts matures à base de boues d'épuration et des substrats organiques sur les propriétés morphologiques et physiologiques de deux variétés de blé**

### **Effects of different mature composts made from sewage sludge and organic substrates on the morphological and physiological properties of two wheat varieties**

**G. El Kadiri Boutchich<sup>1\*</sup>, S. Tahiri<sup>1</sup>, M. Mahi<sup>2</sup>, M. Sisouane<sup>1</sup>, E.M. Kabil<sup>3</sup>, M. El Krati<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratoire de l'Eau et de l'Environnement, Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université Chouaïb Doukkali, B.P. 20, El Jadida 24000, Maroc.*

<sup>2</sup> *Institut International de l'Eau et de l'Assainissement (IEA-ONEE), Rabat, Maroc.*

<sup>3</sup> *Laboratoire de Biotechnologie Végétale, Ecologie et Valorisation des Ecosystèmes, Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Chouaïb Doukkali, B.P. 20, El Jadida 24000, Maroc.*

*Received 15 Jun 2016, Revised 13 Aug 2016, Accepted 29 Aug 2016*

*\*Corresponding author. E-mail: [ghizlane.elkadiri@yahoo.fr](mailto:ghizlane.elkadiri@yahoo.fr)*

#### **Abstract**

This paper describes the effects of different mature composts on the growth of wheat. Composts are based on sewage sludge of wastewater alone and mixed with organic substrates (sawdust, straw and manure). The study was conducted to confirm the absence of a possible toxicity of applied composts and reveal their beneficial effects on the cultures of two wheat varieties. Wheat cultivation trials were performed in greenhouse on sandy soil in the absence and presence of composts. Results were then subjected to statistical analysis. This study highlights the fertilizer value of compost. No depressing effect on crops was observed. The evolution of morphological, physiological and biochemical parameters of the plant is proportional to the dose applied. It was found that mature composts provide nutrients essential for plant development and act as organic amendments improving the most physicochemical characteristics of soil.

*Keywords:* Composts, sewage sludge, organic substrates, toxicity, maturity.

#### **Résumé**

Cet article décrit les effets de différents composts matures sur la croissance des cultures de blé. Les composts sont à base de boues d'épuration des eaux usées seules et mélangées avec des substrats organiques (sciure de bois, paille et fumier). L'étude a été menée dans le but de confirmer l'absence d'une éventuelle toxicité des composts appliqués et de révéler leurs effets bénéfiques sur les cultures de deux variétés de blé. Les essais de culture de blé ont été conduits sous serre sur un sol sableux en absence et en présence des composts. Les résultats obtenus ont fait ensuite l'objet d'une analyse statistique. Cette étude met en évidence la valeur fertilisante des composts. Aucun effet dépressif sur les cultures n'a été constaté. L'évolution des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques de la plante est proportionnelle à la dose appliquée. Il s'est avéré que les composts matures fournissent les éléments nutritifs indispensables au développement de la plante et agissent comme des amendements organiques en améliorant la plupart des caractéristiques physico-chimiques du sol.

*Mots-clés :* Composts, boues d'épuration, substrats organiques, toxicité, maturité.

#### **1. Introduction**

La production nationale des boues résiduelles, sous-produits issus des traitements des eaux usées ne cesse d'augmenter. La quantité de boues produite au Maroc est estimée à 34 840 tonnes de matière sèche en 2010 et atteindra environ 482 017 tonnes de matière sèche en 2030 (ONEE, Maroc). Cette augmentation de production des boues est une conséquence directe des objectifs fixés par le Plan National de l'Assainissement

Liquide et d'Épuration des Eaux Usées. Ces déchets constituent une biomasse à valoriser, leur gestion par co-compostage apparaît comme une technique efficace dans le cadre d'une politique de développement durable. Le co-compostage des boues avec les déchets organiques est une option adéquate au contexte Marocain, d'une part pour les avantages du compostage, et d'autre part pour la disponibilité des déchets organiques à l'échelle nationale. L'utilisation du compost en agriculture affecte positivement le système sol-plante. De nombreuses études menées sur diverses plantes montrent l'effet bénéfique de l'apport des composts sur la nutrition des plantes grâce aux éléments fertilisants qu'ils contiennent en plus ou moins grandes quantités (N, P, K, Ca, Mg, S), ainsi que sur la croissance et la production des cultures. Les doses apportées, les sols utilisés ou les durées d'expérimentation ont été variables, que ce soit en essais aux champs ou en incubations [1–10].

Dans ce travail, nous avons fixé comme objectif l'évaluation des effets de neuf composts produits à base des boues d'épuration et des substrats organiques (sciure de bois, paille et fumier) sur la croissance de deux variétés de blé à savoir: Amal (blé tendre) et Karim (blé dur). Dans ce but, trois doses de 1%, 2% et 5%, ont été étudiées pour chaque compost. Après une durée de croissance de deux mois, l'effet de chaque amendement sur les variétés de blé a été examiné par l'étude de quelques paramètres morphologiques et biochimiques. L'ensemble des résultats enregistrés a fait l'objet d'une analyse statistique.

## **2. Matériels et méthodes**

### *2.1. Composts*

Les composts testés dans ce travail ont été produits dans des réacteurs aérés dans les mêmes conditions opératoires (débit d'air, température externe, fréquence de retournement, etc.). Ils sont à base, d'une part, des boues d'épuration seules, et d'autre part, des boues mélangées avec des substrats végétaux (sciure de bois et paille) et des résidus d'élevage (fumier pailleux de bovin). Les boues utilisées ont été collectées de la station du complexe Bouregreg de l'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable (ONEE) – Branche Eau (Rabat, Maroc). Le processus de compostage et les conditions de fonctionnement ont été décrits dans nos précédents travaux [11].

Les composts étudiés sont : B1(100) : compost de la boue 1 seule; B1S (75/25) : compost de 75% de la boue 1 et 25% de la sciure de bois ; B2S1 (90/10) : compost de 90% de la boue 2 et 10% de la sciure de bois ; B2S2 (80/20) : compost de 80% de la boue 2 et 20% de la sciure de bois ; B2P1 (90/10): compost de 90% de la boue 2 et 10% de la paille ; B2P2 (80/20) : compost de 80% de la boue 2 et 20% de la paille ; B2F1 (90/10): compost de 90% de la boue 2 et 10% de fumier ; B2F2 (80/20) : compost de 80% de la boue 2 et 20% de fumier ; B2 (100) : compost de la boue 2 seule. Les caractéristiques physico-chimiques des composts sont présentées dans le Tableau 1.

### *2.2. Matériel végétal*

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué de deux variétés Marocaines de blé, à savoir Karim (Variété inscrite au catalogue officiel en 1985: blé dur) et Amal (Variété inscrite au catalogue officiel en 1993: blé tendre). Elles sont fournies par le Centre de Développement Agricole de Moulay Abdellah (Province d'El Jadida). Les semences de blé sont stérilisées, pendant 5 min, à l'eau de javel (diluée 100 fois) puis rincées 3 fois à l'eau distillée. Elles sont par la suite trempées pendant quelques minutes dans de l'eau tiède, afin d'éliminer celles en mauvais état. Les semences qui flottent ont été écartées, seules jugées saines sont mises à germer.

### *2.3. Substrat de culture*

L'étude a porté sur un sol sableux, dit Rmel, qui provient de la région de Doukkala (Province de Sidi Bennour). C'est un sol de nature sableuse (sable ~ 94%), de pH acide (6.3), présentant une faible quantité de matière organique (0.68%), une faible capacité d'échange cationique (11.56 meq / 100 g) et une très faible salinité (52.7 µs/cm). Les échantillons de sols ont subi un tamisage (2 mm) approprié afin de supprimer les différents débris et déchets dans le but d'obtenir un sable fin.

### *2.4. Conduite des expérimentations culturales*

Les expérimentations culturales et les essais témoins sont conduits durant deux mois dans une serre vitrée sous éclairage naturel avec une photopériode de 12 h de lumière par jour, à une température diurne de 22°C et une température nocturne de 10°C. Les semences sont placées, à raison de 3 graines par pot, dans des plateaux alvéolés de 24 unités contenant du sable préalablement tamisé et du compost à différentes doses : 1%, 2% et 5%. Un arrosage avec de l'eau de robinet a été régulièrement effectué afin de maintenir le sol bien humide (entre 60% et 80%). Chaque expérience est répétée trois fois.

### *2.5. Analyse du végétal*

Après 2 mois de culture, les plantes sont séparées en parties aériennes (feuilles) et en racines. Afin d'éliminer le sol, les racines ont été bien lavées avec de l'eau. Elles sont rapidement mises dans des sachets en plastique et placées dans le congélateur avant l'analyse. Les principaux paramètres étudiés au cours de ce travail sont:

**Tableau 1** : Caractéristiques physico-chimiques de différents composts produits.

Paramètre	B1 (100)	B1S (75/25)	B2S1 (90/10)	B2S2 (80/20)	B2P1 (90/10)	B2P2 (80/20)	B2F1 (90/10)	B2F2 (80/20)	B2 (100)
pH	8.4	8.8	8.21	8.07	7.99	8.16	7.91	7.72	7.89
CE (ms/cm)	2.84	2.95	2.97	2.85	2.93	2.91	2.77	2.67	3.3
Humidité (%)	25	23	30.22	30.3	30.13	29.48	33.01	29.38	28.86
MO (%)	43.27	48.65	43.08	48.65	44.88	46.25	44.93	44.92	47.74
CEC (meq/100g)	58.75	88.8	87.5	88.13	60	85.63	58.13	59.38	57.5
C (%)	18.43	25.05	25.3	26.36	23.24	23.81	22.75	23.33	21.89
NTK (%)	2.19	2.5	3.35	3.52	3.67	3.60	3.71	3.61	3.62
C/N	8.41	10.02	7.55	7.30	6.33	6.61	6.12	6.46	6.04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	5.75	5.48	6.25	5.86	7.13	7.09	7.5	7.14	8.07
K <sub>2</sub> O (%)	0.75	0.65	0.52	0.46	0.73	0.66	0.65	0.72	0.56
MgO (%)	1.59	1.87	1.7	1.66	1.95	1.96	1.91	1.92	2.35
CaO (%)	8.35	7.08	5.19	5.01	6.76	6.95	6.49	6.23	6.49
B (g/kg)	0.211	0.19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cu (g/kg)	0.32	0.29	0.28	0.23	0.22	0.25	0.23	0.219	0.253
Fe (g/kg)	26	25	21.5	17	17.2	20.4	19.8	18.5	20.7
Mn (g/kg)	0.35	0.3	0.33	0.28	0.267	0.32	0.316	0.318	0.315
Mo (g/kg)	0.00301	0.0029	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Zn (g/kg)	1.44	1.27	1.8	1.5	1.47	1.69	1.64	1.55	1.76
Cl (g/kg)	0.16	0.13	0.20	0.18	0.36	0.40	0.31	0.40	0.18

### 2.5.1. Paramètres morphologiques

L'aspect morphologique des plantes a fait l'objet d'observations et des mesures régulières, à partir du 7<sup>ème</sup> jour après la levée et sont répétées à intervalles de 10 jours jusqu'au 60<sup>ème</sup> jour.

Le taux de germination (G %) a été calculé en utilisant l'équation (Eq. 1) avec XT est le nombre total de graines germées et N le nombre total des graines mises à germer.

$$G\% = \frac{XT}{N} \cdot 100 \text{ (Eq. 1)}$$

La hauteur de la tige a été mesurée à l'aide d'une règle graduée, à partir du sol jusqu'à la pointe des feuilles. Six mesures ont été faites tout au long de l'expérimentation. Le développement racinaire a été également mesuré à la fin des expérimentations à l'aide d'une règle graduée pour chaque compost aux différentes doses appliquées.

### 2.5.2. Détermination des poids sec et frais

La matière fraîche (PF) des parties aériennes et des racines a été pesée immédiatement après la récolte. Elle consiste à couper la feuille et à la peser immédiatement (poids frais). Tandis que, la matière sèche (PS) a été déterminée après dessiccation à l'étuve à 80°C, pendant 48 h.

### 2.5.3. Détermination de la teneur en eau

La masse de la matière fraîche et celle de la matière sèche ont été utilisées pour la détermination de la teneur en eau (%) selon l'équation suivante:

$$TE\% = \frac{(MF - MS)}{MF} \cdot 100 \text{ (Eq. 2)}$$

### 2.5.4. Détermination de la teneur des feuilles en sucres solubles totaux

Les sucres solubles totaux sont dosés par la méthode de Dubois et al. [12]. Pour chaque échantillon, une masse de 100 mg de la matière végétale fraîche est mise dans un tube à essai, on ajoute 3 ml d'éthanol à 85% pour l'extraction des sucres. Le mélange est laissé à température ambiante pendant 48h à l'obscurité avant d'être filtré. On ajoute ensuite 20 ml d'eau distillée à chacun des extraits. Dans des tubes à essais propres, on met 1 ml de la solution à analyser et on ajoute 1 ml de phénol à 5% et 5 ml de l'acide sulfurique à 1.8 N. Les tubes sont incubés ensuite pendant 15 à 20 minutes à 30°C dans un bain marie. La lecture de la densité optique est effectuée à une longueur d'onde de 485 nm. Les teneurs sont ensuite obtenues en utilisant une courbe d'étalonnage des sucres solubles exprimés en glucose.

### 2.5.5. Dosage des pigments Chlorophylliens

Les teneurs moyennes en chlorophylle a et b sont déterminées après extraction, à partir de 100 mg de matière fraîche de la feuille verte de chaque échantillon, en ajoutant 10 ml d'une solution composée de 75% d'acétone et 25% d'éthanol. Les solutions obtenues sont conservées à l'obscurité dans des boîtes noires pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la

lumière. La lecture se fait, après quelques jours, aux deux longueurs d'ondes ( $\lambda_1 = 663$  nm et  $\lambda_2 = 645$  nm), et l'étalonnage de l'appareil se fait par la solution témoin (75% d'acétone + 25% d'éthanol). Le calcul de la teneur en chlorophylle est obtenu par les formules suivantes [13]:

$$\text{Chl (a) } (\mu\text{g/g MF}) = 12.7 \times \text{DO (663)} - 2.69 \times \text{DO (645)} \times V / (1000 \times W) \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{Chl (b) } (\mu\text{g/g MF}) = 22.9 \times \text{DO (645)} - 4.68 \times \text{DO (663)} \times V / (1000 \times W) \quad (\text{Eq. 4})$$

avec V: le volume de la solution d'extraction ; W : le poids de la matière fraîche ; et DO : la densité optique.

### 2.6. Analyse statistique

Les analyses statistiques des données ont été effectuées par le logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 20. Les résultats sont soumis à une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs et les moyennes ont été comparées par le test de Duncan à  $P < 0,05$ . Les données liées aux taux de germination ont subi une transformation par l'équation suivante :

$$2 \text{ Arcsin} \sqrt{G\%} \quad (\text{Eq. 5})$$

## 3. Resultats et discussion

### 3.1. Effets des composts sur les paramètres de croissance de blé

Pour évaluer l'effet de différentes doses des composts produits sur la croissance des deux variétés de blé, nous avons procédé à des mesures morphologiques concernant les longueurs des parties aériennes et racinaires du végétal et aussi à des mesures physiologiques et biochimiques (la teneur chlorophyllienne, le taux des sucres solubles totaux et la teneur en eau). Les résultats statistiques relatifs à cette caractérisation sont mentionnés dans le Tableau 2.

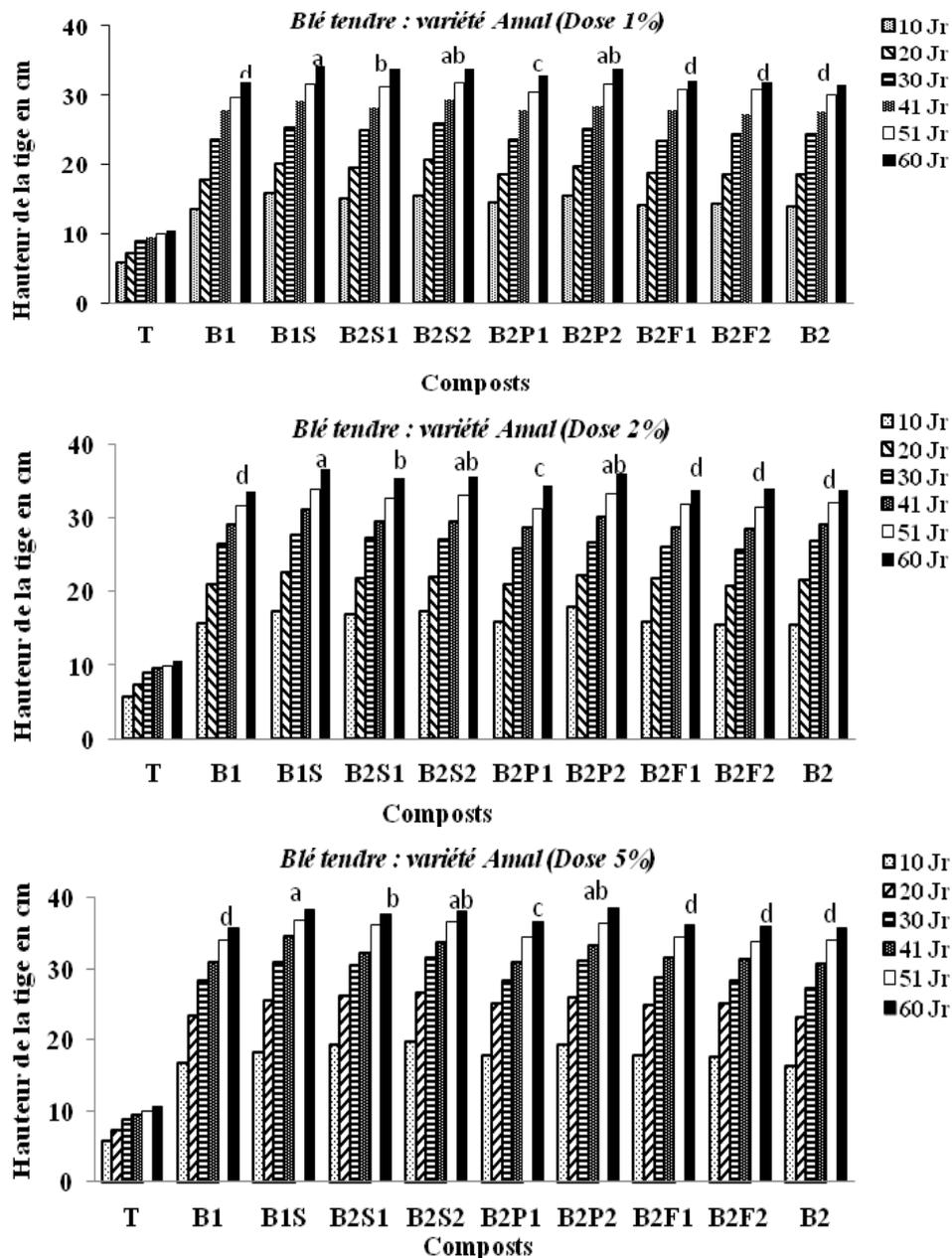
#### 3.1.1. Effet des composts sur les paramètres morphologiques

##### (a) Effet des composts sur la germination des graines

Le taux de germination donne une idée plus ou moins précise sur le comportement des variétés étudiées. Dans tous les cas, les taux de germination des graines de blé sont plus importants comparativement au témoin, ceci pour les trois doses utilisées (1, 2 et 5%) et quelle que soit la variété (Amal ou Karim). Le taux le plus élevé est enregistré avec la dose maximale de 5%. En effet, pour l'ensemble des composts étudiés, cette dose permet d'obtenir un taux de germination d'environ 2 fois celui atteint lors de l'utilisation du sol sans amendements. D'autre part, nous constatons une accélération de la germination lors de l'augmentation de la dose des composts appliqués. Ce résultat est sans doute dû à l'effet bénéfique des amendements organiques ajoutés au sol sableux. Statistiquement, l'analyse de la variance montre qu'il y a un effet non significatif ( $P > 0,05$ ) et significatif ( $P < 0,05$ ) des différents composts sur le taux de germination des graines respectivement pour la variété Amal (BT) et la variété Karim (BD). Elle indique aussi des effets très hautement significatifs ( $P < 0,001$ ) pour les différentes doses appliquées de chaque compost étudié par rapport au témoin. L'interaction des deux facteurs (compost et dose) ne provoque aucune action notable sur l'expression de ce paramètre ( $P > 0,05$ ), indiquant ainsi des effets similaires des composts à l'égard des doses appliquées (Tableau 2).

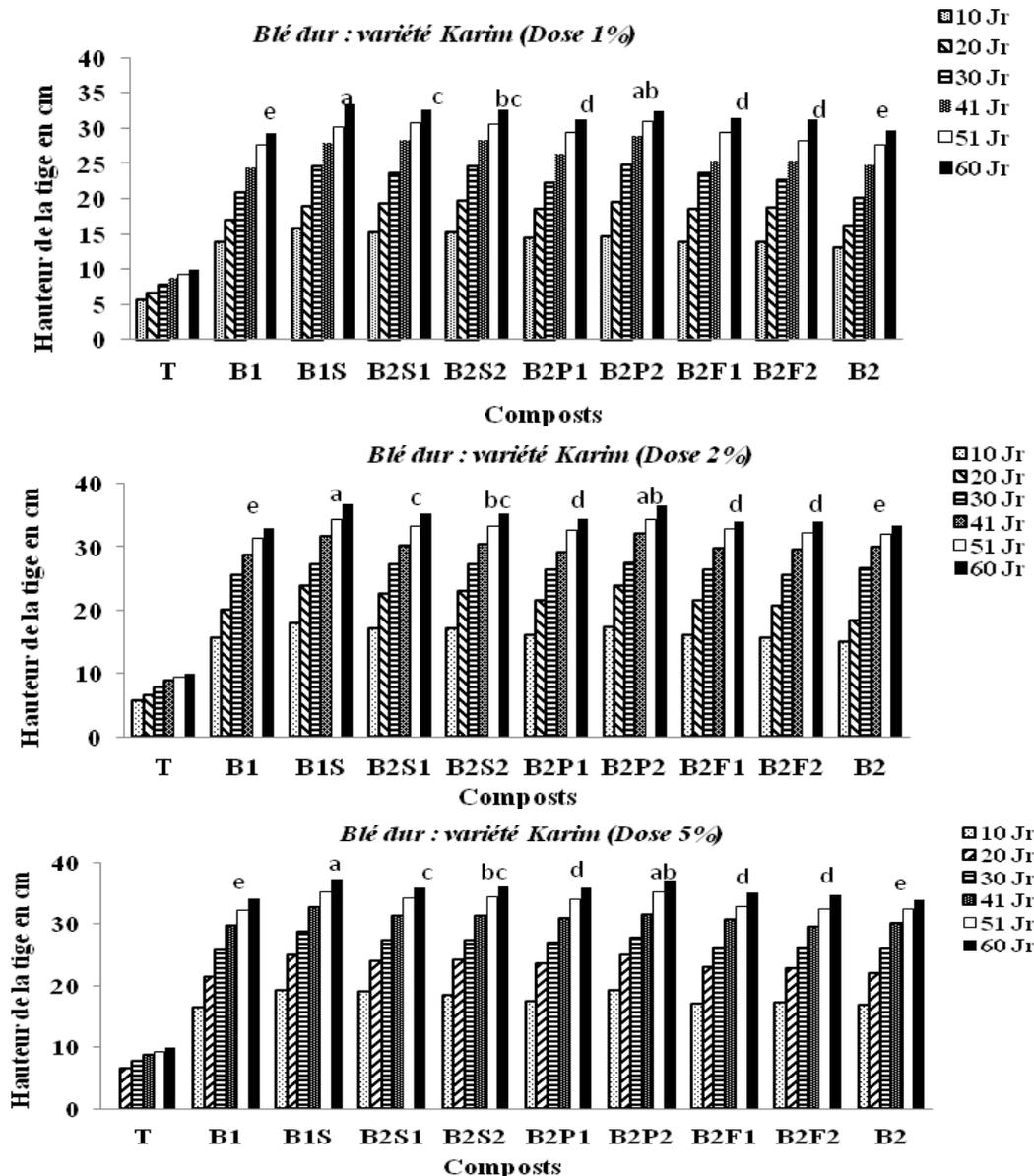
##### (b) Effet des composts sur la hauteur des tiges

Les histogrammes des Figures 1 et 2 montrent l'évolution de la hauteur de la tige chez les deux variétés de blé pour l'ensemble des composts produits en fonction de la dose appliquée. L'examen de ces données montre que, les moyennes des hauteurs des tiges ont tendance à augmenter avec le temps et avec l'augmentation de la dose. En effet, les augmentations de croissance en hauteur sont maximales pour la dose 5%. Ainsi, les échantillons dépourvus de tout amendement (témoin) ont donné les résultats les plus faibles. D'autre part, on constate que plus la dose de compost est élevée, plus la vitesse de croissance en hauteur des plantules de blé est plus marquée. En effet, chez les plantules cultivées en présence de 1% et 2% des composts, les rendements en termes de la hauteur des tiges varient entre 29.37 et 33.37 cm et entre 32.97 et 36.50 cm respectivement pour la variété Karim. Tandis que pour la variété Amal, les valeurs oscillent entre 31.53 et 34.17 cm et entre 33.43 et 36.56 cm respectivement, soit une amélioration d'environ 3 fois supérieure que celle observée chez les plantules témoins des deux variétés de blé testées. Cette amélioration du rendement en hauteur est encore plus remarquable chez les plantules ayant reçu la dose maximale des composts (5%), donnant ainsi des gains de croissance qui varient respectivement entre 35.70 et 38.50 cm et entre 33.97 et 37.23 cm pour les variétés Amal et Karim. Il importe de souligner qu'à titre de comparaison que les composts testés influencent beaucoup plus la croissance en hauteur des plantules de la variété Amal (blé tendre) que la variété Karim (blé dur), ce qui a été démontré et représenté par les histogrammes des Figures 1 et 2.



**Figure 1 :** Evolution de la hauteur de la tige du blé tendre pour l'ensemble des composts à différentes doses; Les différentes lettres indiquent des différences statistiquement significatives (ANOVA et test de Duncan;  $P < 0.05$ ).

Lors des calculs statistiques, le test F de l'analyse de la variance (au seuil de probabilité  $\alpha = 0.05$ ) s'est révélé très hautement significatif ( $P < 0.001$ ). Une grande variabilité des hauteurs des plantes a été mise en évidence. Cela est sans doute en lien direct avec les différences visuelles observées sur le terrain où les plants de blé de témoin (0% compost) étaient moins longs que les plants cultivés en présence des composts. Concernant, l'effet de la dose, l'analyse de la variance a montré un effet très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) sur la longueur de tiges pour les deux variétés de blé étudiées (Tableau 2). L'analyse statistique de la variance a révélé une interaction (compost \* dose) très hautement significative ( $P < 0.001$ ) dans le cas de la hauteur des tiges pour les deux variétés de blé étudiées (Tableau 2). Le facteur dose a une forte influence. Les composts des boues seules et en présence de fumier ont des faibles effets marqués sur la variété Amal (BT) comme sur la variété Karim (BD) par rapport aux autres composts étudiés et ce d'autant plus que la dose est plus élevée.

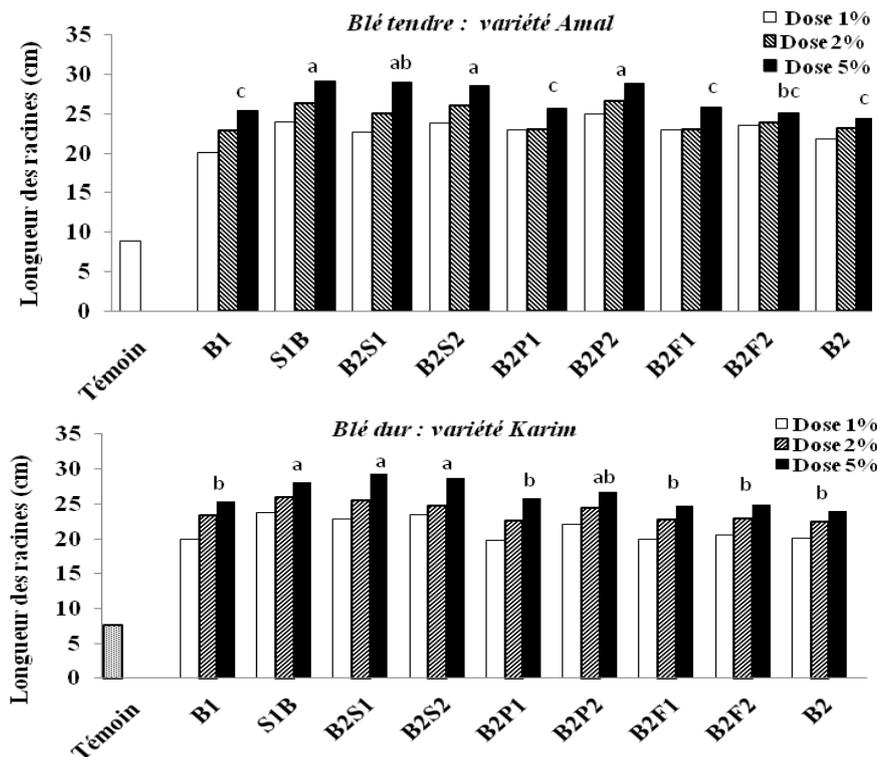


**Figure 2 :** Evolution de la hauteur de la tige du blé dur pour l'ensemble des composts à différentes doses; Les différentes lettres indiquent des différences statistiquement significatives (ANOVA et test de Duncan;  $P < 0.05$ ).

*(c) Effet des composts sur l'élongation racinaire*

Le développement de l'appareil racinaire, joue un rôle primordial dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante. L'effet de l'apport des composts sur ce paramètre est présenté sur la Figure 3. Comme nous pouvons le constater, les longueurs des racines augmentent avec l'augmentation de la dose appliquée. On constate aussi que le maximum pour l'allongement racinaire est observé avec la dose 5% qui permet d'atteindre une longueur d'environ 3 à 4 fois celle observée dans le cas du témoin (sable seul) et ceci pour les différents composts testés. Les deux variétés affichent des longueurs racinaires moyennes qui varient entre 20 et 25 cm, entre 22 et 27 cm et entre 24 et 29 cm respectivement pour la dose 1%, 2% et 5% après 60 jours de début de l'essai pour l'ensemble des composts étudiés. De manière générale, il est clairement observable que l'apport du compost conduit à une augmentation de la longueur des racines d'autant plus importante que la dose est plus élevée.

L'analyse statistique de la variance met en évidence un effet « compost » très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) sur la longueur des racines. D'autre part, elle a permis de noter un effet très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) des différentes doses appliquées. L'interaction des deux facteurs à savoir, le compost et la dose est sans influence notable sur l'expression de la longueur des racines ( $P > 0.05$ ) (Tableau 2).

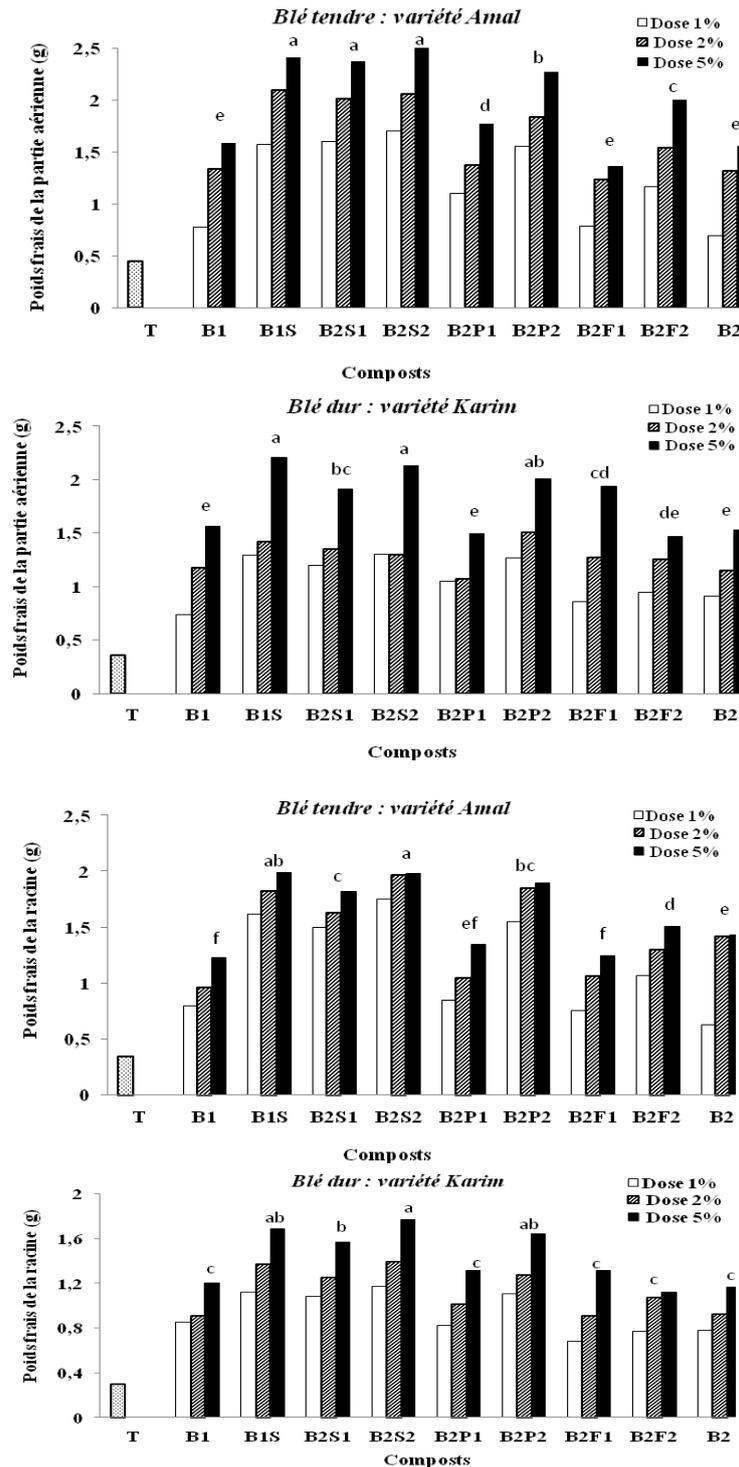


**Figure 3 :** Evolution de la longueur des racines du blé tendre et dur pour l'ensemble des composts à différentes doses; Les différentes lettres indiquent des différences statistiquement significatives (ANOVA et test de Duncan;  $P < 0.05$ ).

### 3.1.2. Effet des composts sur la biomasse fraîche et sèche aérienne et racinaire

#### (a) Biomasse fraîche de la partie aérienne et racinaire

Le poids est considéré comme un critère fondamental pour évaluer la croissance du végétal. L'effet de l'apport des composts sur la production de la biomasse fraîche aérienne et racinaire pour les deux variétés de blé testées est représenté sur la Figure 4. Nous constatons que les deux variétés de blé répondraient favorablement à l'apport des composts. Cependant, les réponses varient d'un compost à un autre, aussi bien pour la variété Amal (BT) que pour la variété Karim (BD), toutefois ce n'est pas le cas pour le témoin où les plants présentent les teneurs les plus faibles. Les apports de composts semblent entraîner une augmentation de la masse moyenne aérienne et racinaire des plants de blé. Cette augmentation devient de plus en plus nette au fur et à mesure que la dose de compost augmente, tant pour la partie aérienne que pour la partie racinaire. Les teneurs les plus importantes sont observées avec la dose 5% et les plus faibles sont celles obtenues dans le sol n'ayant reçu aucun amendement. Ce qui laisse penser que cette dose demeure satisfaisante pour améliorer la productivité du sol sableux utilisé. En revanche, les plantes obtenues après ajout de 1% et 2% du compost représentent des teneurs en biomasse fraîche des feuilles comprises entre 0.70 et 1.80 g et entre 1.23 et 2.10 g pour la variété Amal (BT), tandis que pour la variété Karim (BD), elles sont comprises entre 0.73 et 1.31 g et entre 1.07 et 1.42 g respectivement, soit une augmentation de 2 à 4 fois le poids obtenu chez les plantes dans le sol témoin sans amendements (0.45 et 0.36 g respectivement pour la variété Amal et Karim). Cette amélioration de biomasse est nettement plus importante (entre 1.37 et 2.50 g et entre 1.46 et 2.20 g respectivement pour la variété Amal et Karim) lorsque les plantes sont cultivées sur le sol traité avec 5% de compost. La teneur en biomasse fraîche est 5 à 6 fois celle notée dans le cas du test témoin qui révèle des feuilles plus petites, d'un vert moins soutenu et maigres par rapport à celles obtenues en présence du compost (plus grandes, plus ou moins larges et vertes). Quant aux teneurs en biomasse fraîche des racines, nous constatons que l'apport de 1% du compost présente des valeurs moyennes (entre 0.63 et 1.75 g et entre 0.68 et 1.17 g respectivement pour la variété Amal et Karim). Alors que pour la dose 2%, des teneurs d'environ 2 à 3 fois celles obtenues avec l'utilisation du témoin ont été enregistrées (entre 0.96 et 1.97 g et entre 0.90 et 1.39 g respectivement pour la variété Amal et Karim) contre 0.34–0.30 g dans le cas du témoin. L'addition de 5% du compost permet d'obtenir une biomasse 3 à 4 fois supérieure que celle du témoin (entre 1.22 et 1.99 g et entre 1.12 et 1.64 g respectivement pour la variété Amal et Karim).



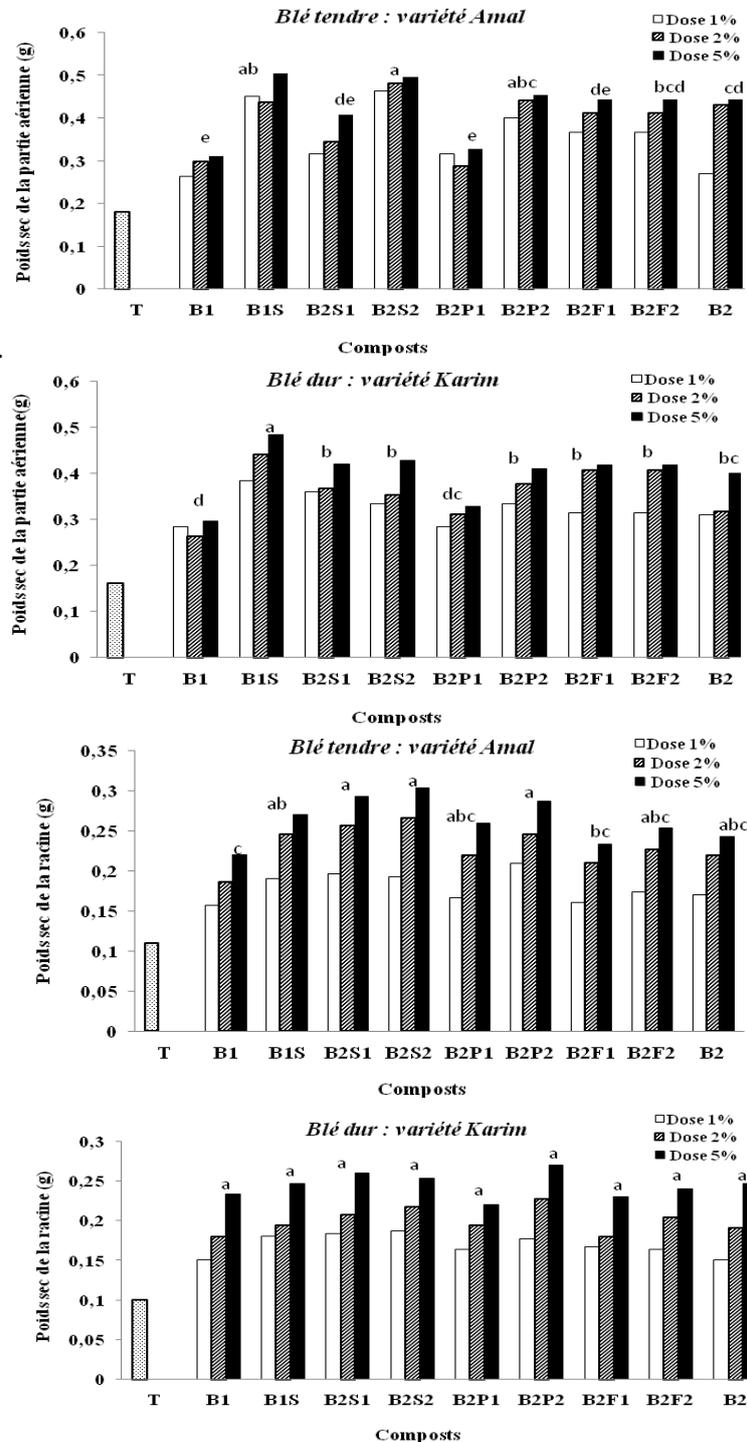
**Figure 4 :** Evolution de la teneur en matière fraîche des parties aériennes et racinaires du blé tendre et dur pour l'ensemble des composts à différentes doses ; Les différentes lettres indiquent des différences statistiquement significatives (ANOVA et test de Duncan;  $P < 0.05$ ).

Ces résultats sont confirmés statistiquement par l'analyse de la variance à deux critères de classification qui représentent un effet « compost » très hautement significatif sur la biomasse fraîche ( $P < 0.001$ ), soit pour la partie aérienne ou la partie racinaire, et ceci pour les deux variétés de blé testées. Dans le même volet, l'analyse de la variance pour le même paramètre pour le facteur « dose » révèle un effet très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) pour les deux variétés de blé testées (Tableau 2). Toutefois, cette analyse fait apparaître une variabilité significative de biomasse fraîche entre les différentes doses appliquées de composts. Les résultats

obtenus et présentés sur le Tableau 2 mettent en évidence l'existence d'un effet interaction « compost \* dose » très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) sur les teneurs en biomasse fraîche aérienne et racinaire pour les deux variétés de blé testées. Nous remarquons ainsi que ces teneurs changent d'un compost à un autre et pour un même compost, elles varient d'une dose à une autre.

(b) Biomasse sèche de la partie aérienne et racinaire

La production moyenne en biomasse sèche aérienne et racinaire des deux variétés de blé étudiées est représentée sur la Figure 5.



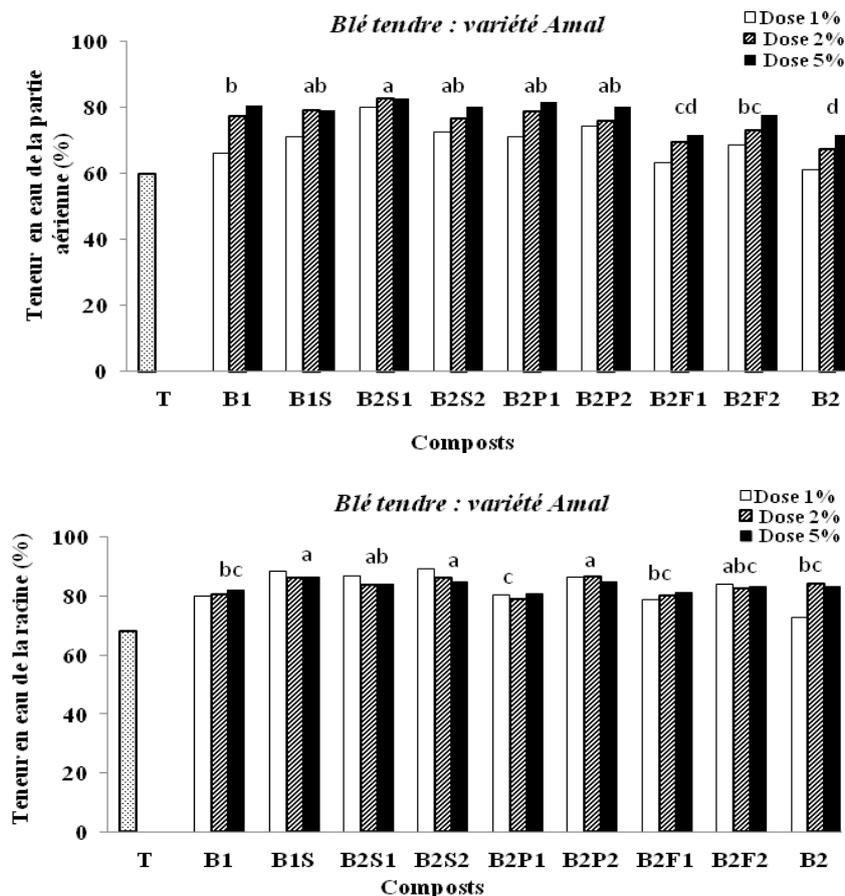
**Figure 5 :** Evolution de la teneur en matière sèche des parties aériennes et racinaires du blé tendre et dur pour l'ensemble des composts à différentes doses ; Les différentes lettres indiquent des différences statistiquement significatives (ANOVA et test de Duncan;  $P < 0.05$ ).

Il apparaît que l'efficacité des composts organiques apportés s'est traduite par des accroissements significatifs des teneurs en biomasse sèche tant pour la masse foliaire que pour les racines. On observe ainsi que les deux variétés de blé ont eu un comportement similaire. Comparativement au témoin sans compost, les rendements en termes de biomasse sèche augmentent avec les doses appliquées quelles que soient les composts apportées. Ils sont d'environ 2 fois le rendement de l'essai témoin chez les plantes traitées avec 1% et 2% du compost, alors qu'ils atteignent environ 3 fois ce rendement chez les plantes cultivées en présence de 5% du compost et ceci pour les biomasses des deux parties aérienne et racinaire. Ces résultats montrent que le compost ajouté aux sols, à des doses très élevées, peut assurer la nutrition normale de la plante.

L'analyse des données du Tableau 2 révèle un effet « compost » très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) sur les teneurs en biomasse sèche aérienne pour les deux variétés de blé étudiées. Par contre, il est significatif ( $P < 0.05$ ) à non significatif ( $P > 0.05$ ) sur les teneurs en biomasse sèche racinaire pour la variété Amal et Karim, respectivement. Cette analyse montre également que l'effet du facteur « dose » du compost sur les teneurs en biomasse sèche aérienne et racinaire est très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) pour les deux variétés de blé testés. La non-signification de l'interaction des deux facteurs à savoir le compost et la dose est due aux rapprochements dans les teneurs en biomasses obtenues.

### 3.1.3. Effet des composts sur la teneur en eau de la partie aérienne et racinaire

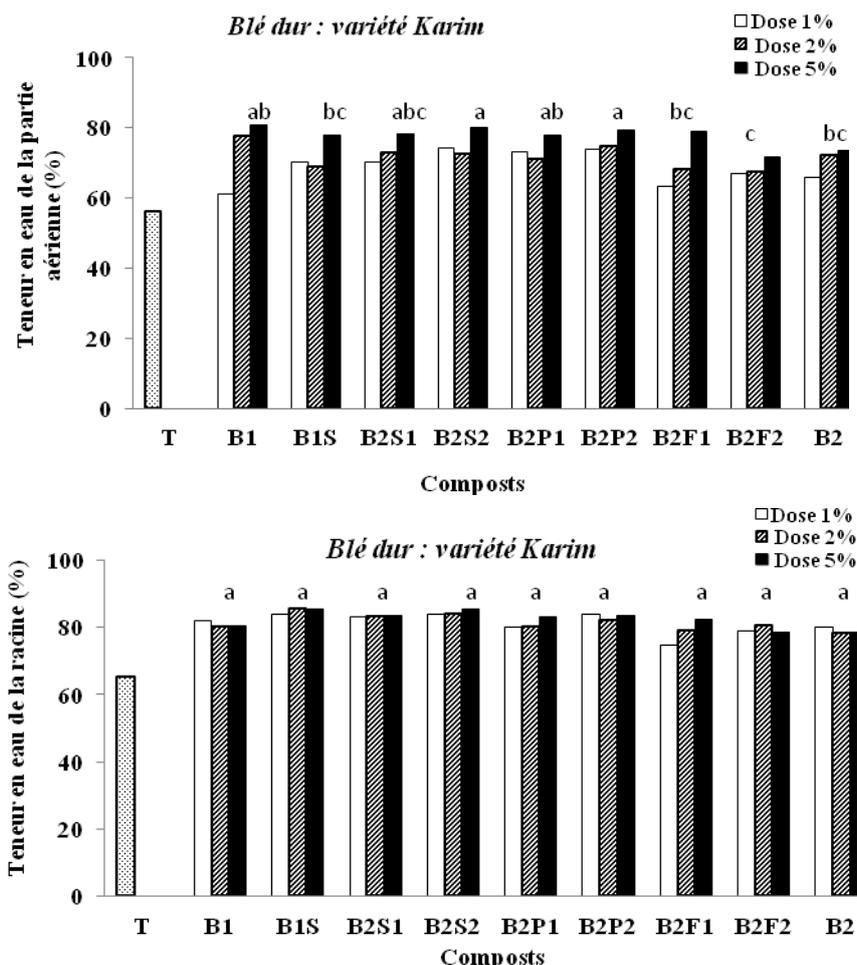
Le maintien de la teneur en eau à un niveau relativement élevé est nécessaire pour conserver le pouvoir germinatif des semences, afin d'éviter tout risque de déshydratation et assurer une bonne nutrition de la plante. A partir des résultats du poids frais et sec obtenus, une analyse de la teneur d'eau des parties aériennes et racinaires pour chaque compost à différentes doses est établie pour les deux variétés de blé testées. L'évolution de la variation de la teneur en eau pour la partie aérienne et racinaire pour les différents composts étudiés est représentée par les histogrammes des Figures 6 et 7.



**Figure 6 :** Evolution de la teneur en eau des parties aériennes et racinaires du blé tendre et dur pour l'ensemble des composts à différentes doses; Les différentes lettres indiquent des différences statistiquement significatives (ANOVA et test de Duncan;  $P < 0.05$ ).

La comparaison de l'évolution de la teneur en eau des deux variétés de blé a montré une augmentation du pourcentage d'eau aussi bien pour les racines que pour la partie aérienne. Elle est plus accentuée pour la variété Amal que la variété Karim aussi bien pour les racines que pour la partie aérienne. Il est à noter que l'augmentation de la dose appliquée s'accompagne d'une augmentation de la teneur en eau de la partie aérienne. Ces teneurs moyennes en eau oscillent entre 61% et 80.12%, entre 67.56% et 82.84% et entre 71.50% et 82.85% respectivement pour les doses 1%, 2% et 5% chez la variété Amal (BT). Alors que celles obtenues pour la variété Karim (BD) sont comprises entre 61.15% et 74.32%, entre 67.55% et 77.65% et entre 71.64% et 80.84% respectivement pour les doses 1%, 2% et 5%. En revanche, contrairement à ce qui a été observé sur la partie aérienne, nous observons que les teneurs en eau de la partie racinaire ne diffèrent pas beaucoup entre les différents composts et ceci quelle que soit la dose ajoutée pour les deux variétés de blé. Ces teneurs varient entre 73% et 89% et entre 75% et 86% pour les variétés Amal et Karim respectivement.

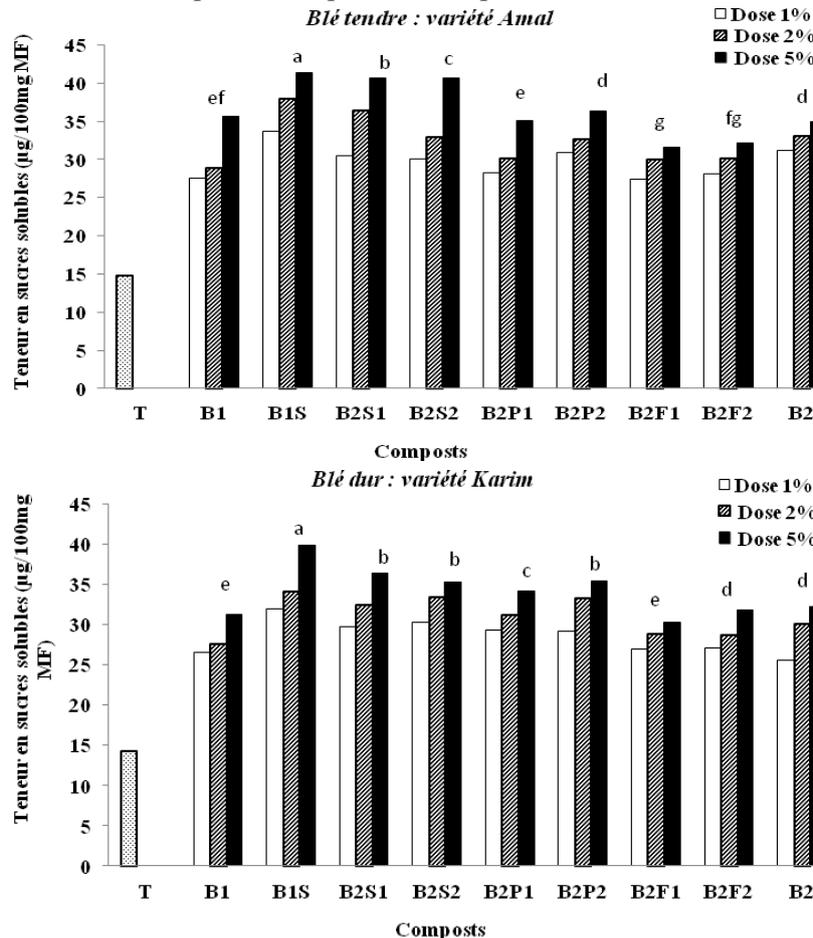
L'analyse statistique de la variance révèle qu'il y a un effet « compost » très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) sur la teneur en eau de la partie aérienne pour les deux variétés de blé testées. Tandis que pour la teneur en eau de la partie racinaire, l'analyse montre un effet « compost » très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) à non significatif ( $P > 0.05$ ) chez les variétés Amal et Karim respectivement. Des effets « dose » très hautement significatifs ( $P < 0.001$ ) sont également remarqués pour ce paramètre chez les deux variétés de blé testées et ceci quelque soit le compost apporté. Aucune interaction « compost \* dose » n'a été observée ( $P > 0.05$ ) sur la teneur en eau de la partie aérienne et racinaire pour la variété Amal (BT), indiquant cependant des effets similaires de composts étudiés sur ce paramètre. Tandis que pour la variété Karim (BD), l'interaction « compost \* dose » illustre un effet très hautement significatif ( $P < 0.001$ ), voire non significatif ( $P > 0.05$ ) sur la teneur en eau de la partie aérienne et racinaire respectivement (Tableau 2).



**Figure 7 :** Evolution de la teneur en eau des parties aériennes et racinaires du blé tendre et dur pour l'ensemble des composts à différentes doses; Les différentes lettres indiquent des différences statistiquement significatives (ANOVA et test de Duncan;  $P < 0.05$ ).

### 3.1.4. Effet des composts sur la teneur en sucres solubles totaux

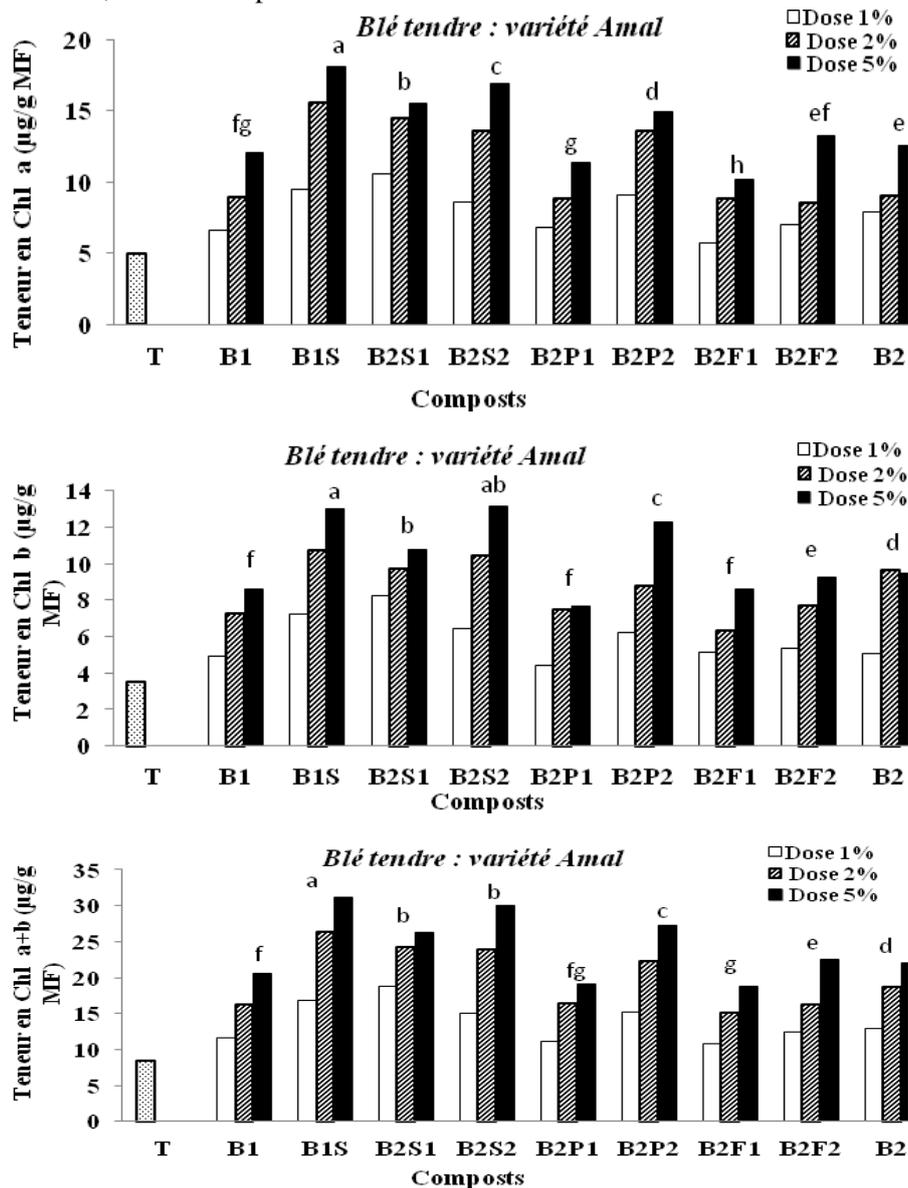
Concernant les teneurs moyennes en sucres solubles, les résultats obtenus varient d'une manière remarquable pour les différents composts utilisés et les différentes doses appliquées par rapport au témoin. Ces teneurs sont significativement influencées par la dose du compost incorporée. Plus précisément, la teneur en sucres s'accroît légèrement lorsque la dose augmente, elle est plus élevée dans les pots recevant la dose maximale (5%) que dans les autres pots correspondant aux deux autres doses (1% et 2%) pour l'ensemble des composts utilisés. Les histogrammes de la Figure 8 révèlent clairement l'effet de la dose des composts sur les teneurs en sucres solubles. La comparaison de l'effet de différents composts sur la teneur en sucres solubles indique que les plus grandes concentrations sont observées chez les composts des boues mélangées avec la sciure de bois ou de la paille tandis que les plus faibles valeurs sont enregistrées chez les composts des boues seules et en présence de fumier et ceci pour les deux variétés de blé étudiées. En effet, chez la variété Amal (BT), les teneurs moyennes en sucres solubles varient entre 27.51 et 33.69 µg/100mg MF, entre 28.86 et 37.88 µg/100mg MF et entre 31.57 et 41.35 µg/100mg MF respectivement pour les doses 1%, 2% et 5%. D'autre part, les teneurs moyennes obtenues pour la variété Karim (BD) oscillent entre 25.57 et 31.96 µg/100mg MF, entre 27.51 et 34.06 µg/100mg MF et entre 30.29 et 39.88 µg/100mg MF respectivement pour les doses 1%, 2% et 5%. D'après ces valeurs on constate que l'ajout de 1% et 2% du compost permet d'atteindre des teneurs moyennes en sucres solubles relativement deux fois celles enregistrées dans le cas des tests témoins (14.8 et 14.25 µg/100 mg MF respectivement pour les variétés Amal et Karim). Alors que l'addition de 5% du compost permet d'obtenir une teneur 3 fois celui du témoin (0% compost). L'analyse de la variance révèle des effets très hautement significatifs ( $P < 0.001$ ) de différents composts étudiés sur la teneur des feuilles en sucres solubles. La teneur en sucres totaux dans les feuilles des deux variétés de blé étudiées a généralement évolué de façon très hautement significative ( $P < 0.001$ ) d'une dose à l'autre par rapport au témoin. Une interaction « compost \* dose » très hautement significative ( $P < 0.001$ ) a été observée sur la teneur en sucres solubles pour les deux variétés de blé testées, indiquant que l'effet du compost sur ce paramètre dépend de la dose (Tableau 2).



**Figure 8 :** Effet de la dose des composts étudiés sur la teneur des feuilles du blé tendre et dur en sucres solubles; Les différentes lettres indiquent des différences statistiquement significatives (ANOVA et test de Duncan;  $P < 0.05$ ).

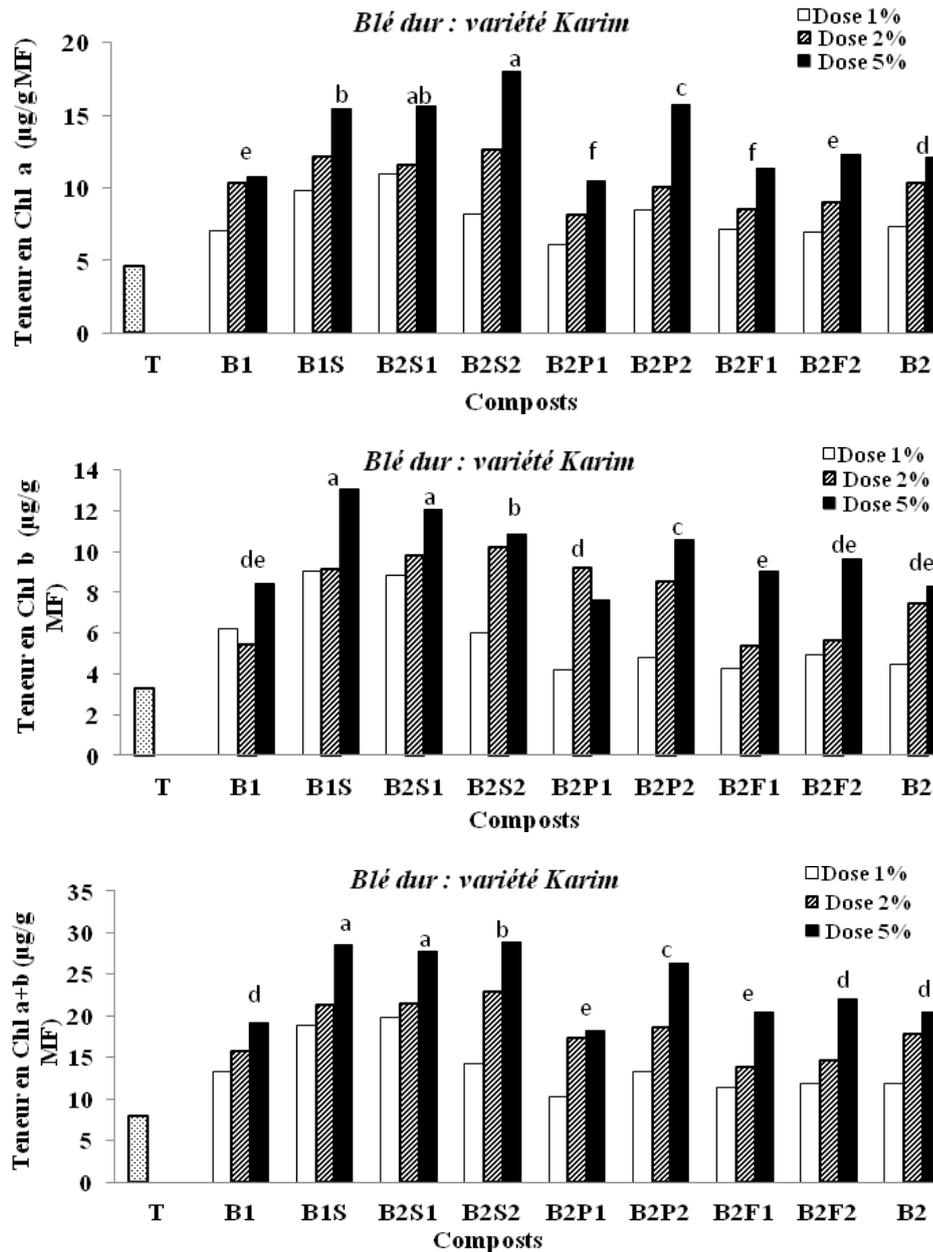
### 3.1.5. Effet des composts sur le taux des chlorophylles

Les réponses aux apports de composts relatives aux teneurs en chlorophylle a, b et totale a+b sont reportées sur les histogrammes des Figures 9 et 10. L'examen des résultats révèle une accumulation des taux des pigments chlorophylliens chez les deux variétés de blé analysées comparativement aux teneurs dosées chez les plantes de témoin. Cette accumulation observée est proportionnelle aux doses appliquées de chacun des composts testés. En effet, les augmentations de teneurs les plus importantes ont été notées en présence de la dose 5% et ceci pour les deux types de chlorophylles analysées. Comme nous pouvons le constater, avec la dose 5%, les teneurs en chlorophylles sont 3 à 4 fois celles enregistrées chez les plantes cultivées dans le sol témoin sans amendements. Avec les doses 1% et 2%, ces teneurs peuvent atteindre des valeurs 2 à 3 fois celles des tests témoins.



**Figure 9 :** Effet de la dose des composts étudiés sur la teneur des feuilles du blé tendre en Chl a, Chl b et Chl a+b; Les différentes lettres indiquent des différences statistiquement significatives (ANOVA et test de Duncan;  $P < 0.05$ ).

Comme le montre les Figures 9 et 10, les taux des chlorophylles a, b et a+b des deux variétés de blé testées sont très variables, ceci est confirmé par l'analyse de la variance qui montre qu'il existe un effet très hautement significatif des composts utilisés. D'après les analyses statistiques, le facteur « dose » a aussi un effet très hautement significatif ( $P < 0.001$ ) sur la teneur des feuilles en chlorophylle a, b et a+b pour les deux variétés de blé étudiées. La signification statistique relative à l'effet de l'interaction « compost \* dose » a enregistré à son tour des effets très hautement significatifs ( $P < 0.001$ ) (Tableau 2).



**Figure 10 :** Effet de la dose des composts étudiés sur la teneur des feuilles du blé dur en Chl a, Chl b et Chl a+b; Les différentes lettres indiquent des différences statistiquement significatives (ANOVA et test de Duncan;  $P < 0.05$ ).

### 3.2. Discussion

L'utilisation des composts comme amendements en agriculture peut corriger les carences en éléments nutritifs des plantes, assurer une nutrition adéquate, aider les plantes à tolérer des situations de stress, maintenir des conditions optimales de fertilité du sol et améliorer la qualité des cultures [14–19].

Dans la présente étude, l'efficacité de l'ajout des composts préparés a été clairement démontrée. En fait, leurs effets sur la croissance des cultures de blé sont remarquables. Les résultats obtenus vont dans le même sens que les essais rapportés en bibliographie. L'apport des composts a favorisé la germination et la croissance en hauteur des tiges et des racines, l'augmentation des teneurs en sucres solubles et en chlorophylle, l'amélioration des taux de matière fraîche et sèche, ainsi que les teneurs relatives en eau. Ceci est dû notamment à une meilleure nutrition en éléments minéraux comparativement avec l'essai témoin. Ces constatations ont été observées pour les deux variétés de blé étudiées. Des résultats similaires ont été auparavant notés par de nombreux auteurs et sur diverses cultures concernant l'effet bénéfique de divers composts: Hortenstine et Rothwell [20] ont montré que l'application de ces amendements organiques conduit à l'augmentation des rendements des cultures de

sorgho. Ce même effet a été observé avec une grande variété de cultures telle que le maïs [9,21], la pomme de terre [22,23], la tomate [8,9,22,24], l'oignon [25,26], la betterave [5,27], le navet [23] et le blé [6,7], etc.

**Tableau 2.** Analyse de la variance des facteurs : compost, dose et interaction « compost \* dose », pour les différents variables mesurés.

Variable	Blé tendre			Blé dur		
	Compost (C)	Dose (D)	C * D	Compost (C)	Dose (D)	C * D
Ger	1.071 NS	34.695***	0.322 NS	2.095*	39.885***	0.44 NS
HT	34.66***	16908.567***	4.174***	28.44***	10740.922***	3.837***
LR	4.489***	408.155***	0.617 NS	4.42***	496.141***	0.659 NS
PFF	108.723***	1256.869***	13.373***	19.304***	630.366***	3.982***
PSF	9.302***	101.024***	1.653 NS	6.472***	142.652***	1.214 NS
PFR	78.813***	733.495***	10.951***	24.625***	520.379***	3.538***
PSR	2.735*	93.193***	0.408 NS	1.392 NS	109.689***	0.325 NS
TEEF	5.682***	68.559***	0.917 NS	3.918***	189.466***	2.585***
TEER	3.785***	88.711***	1.251 NS	0.872 NS	38.783***	0.209 NS
ST	163.614***	7725.988***	32.97***	319.284***	16945.495***	49.291***
Chl a	213.206***	2406.998***	37.087***	196.232***	3432.976***	44.903***
Chl b	103.461***	1683.215***	22.394***	87.914***	1078.973***	23.961***
Chl a+b	215.528***	2864.96***	34.515***	153.266***	2402.374***	30.207***

(Ger : germination, HT : hauteur de la tige, LR : longueur racinaire, PFF : poids frais de la partie aérienne, PSF : poids sec de la partie aérienne, PFR : poids frais de la partie racinaire, PSR : poids sec de la partie racinaire, TEEF : teneur en eau de la partie aérienne, TEER : teneur en eau de la partie racinaire, ST : sucres totaux, Chl a : chlorophylle a, Chl b : chlorophylle b, Chl a+b : chlorophylle a+b, \*\*\* : Très hautement significatif  $P < 1\%$ , \* : Significatif  $1\% < P < 5\%$ , \*\* : Hautement significatif  $1\% < P < 1\%$ , N.S :  $P > 5\%$ )

Les taux de germination atteints lors de cette étude, reflètent la qualité du milieu où les plantes sont cultivées. Cependant, il est à observer qu'un apport de compost des boues améliore le comportement germinatif des graines de blé testées par rapport au témoin. Ce taux de germination varie d'une dose à une autre de manière très hautement significative pour les deux variétés. Il est par ailleurs, intéressant à signaler que malgré l'absence de la signification statistique de l'effet de compost sur la germination de la variété Amal (BT), des meilleurs taux ont été enregistrés au niveau de cette variété traitée par les fortes doses de composts. Un tel résultat a été mentionné par Attrassi et al. [28], qui ont confirmé dans leur étude que l'incorporation d'une dose de 25% de compost des déchets ménagers au sol permet un taux de germination de 85.71% pour le blé et 62.42% pour la tomate. Tandis que les cultures sur des substrats contenant 75% et 100% du compost sont plutôt réprimées. Compaoré et Nanéma [29] ont constaté que la germination varie avec la dose du compost apporté et le type de culture.

Dans le même contexte, l'ajout du compost a considérablement augmenté la longueur des tiges et des racines. Cette amélioration très hautement significative de la croissance chez les plantes de blé a été enregistrée pour tous les types de composts de boues apportés lors de cette étude et quelle que soit la dose appliquée. Selon Falinirina [30], l'apport des composts organiques crée les meilleures conditions de production pour les cultures, car la matière organique, en plus de l'apport des éléments nutritifs, améliore les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol favorables à la croissance de la plante. Il a été également établi que la réponse des cultures semble être conditionnée par la fertilité du sol naturel de manière que les augmentations positives ont été obtenues avec des sols pauvres, mais pas avec ceux fertiles [31]. Dans le même sens, Raiffaud [32] a indiqué que les teneurs en micronutriments des plantes sont fortement liées à la composition du sol, aux conditions climatiques et aux apports externes. De Bertoldi et al. [14] a constaté que le système racinaire est stimulé par la présence de matière organique en raison de l'amélioration des caractéristiques physiques et mécaniques du sol, et une augmentation de la nutrition.

En effet, les résultats obtenus sont comparables à ceux trouvés par Vanai [33] sur la croissance de maïs (*Zea mays L.*) après incorporation du compost urbain. Lee et Park [18] ont également rapporté dans leur étude que les composts utilisés à différentes concentrations favorisent la croissance de la laitue (*Lactuca sativa*). Mouria et al. [8] ont montré l'effet de l'utilisation du compost et de ses extraits sur l'amélioration des paramètres de

croissance et de rendement de la culture de tomate (*Lycopersicon esculentum*). Lawson et al. [34], ont rapporté que le soja (*Glycine max* L.) cultivé dans un sol acide ou salin amendé avec 4% de compost de déchets de bois améliore la nodulation et favorise la croissance de la culture.

D'autre part, selon les résultats obtenus, on remarque que les rendements de la matière fraîche et sèche des deux parties aérienne et racinaire varient légèrement en fonction de la qualité des composts apportés et de la dose appliquée chez les deux variétés de blé testées. Pour tous composts confondus, les biomasses des plantes de blé sont légèrement plus importantes et vont dans le même sens que l'accroissement des doses appliquées. Nos résultats rejoignent ceux de Paino et al. [35] qui ont trouvé que la biomasse produite d'une culture de maïs cultivée sur trois sols tropicaux en présence des taux de composts allant de 0 à 25%, est généralement plus élevée dans les mélanges qui contenaient des taux plus élevés de compost. De même Dekkaki [36], a montré que l'ajout d'un compost de déchets verts a eu des effets positifs sur la croissance du blé et de la véronique de perse: la biomasse aérienne comme la biomasse racinaire et le poids sec total des plantes sont significativement plus élevées dans les pots contenant du compost que dans les pots qui en sont dépourvus. D'autres auteurs comme Mouria et al. [8] révèlent dans leur étude que l'augmentation de la biomasse racinaire a été assurée d'une façon très nette par l'incorporation de compost dans le substrat de culture en comparaison avec le témoin chez la tomate. Vanai [33] a montré que les apports croissants de compost urbain entraînent une augmentation de la production de matière végétale fraîche de la laitue cultivée sur l'inceptisol. Il a conclu également dans son étude que la réponse de la culture de concombres aux apports de compost urbain est très favorable et se traduit par une accélération de la croissance de la plante, visible en plein champ. Il est à noter en outre que, la biomasse fraîche et sèche aérienne se distingue par des teneurs assez élevées par rapport à celle des racines, ceci peut s'expliquer par le fait que la croissance racinaire des plants de blé est conditionnée dans des pots qui permettent un chevauchement des racines, et par conséquent la croissance racinaire sera limitée.

Outre son rôle dans la photosynthèse, dans le transport et l'accumulation des éléments nutritifs ainsi que dans la division cellulaire et la régulation thermique, l'eau joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes cultivées [37]. Elle constitue environ 70% à 80% de la matière fraîche d'une plante [38]. La teneur relative en eau aérienne et racinaire chez les deux variétés de blé testées est influencée d'une manière très hautement significative par les doses des composts de boues apportés. Selon Blum [39], le maintien d'un niveau élevé de la teneur relative en eau serait lié à une bonne capacité d'ajustement osmotique et expliquerait l'augmentation racinaire chez les plantes.

Par ailleurs, un effet très hautement significatif des composts et des doses appliquées sur le taux d'accumulation des sucres solubles a été décelé par l'analyse de variance chez les deux variétés de blé étudiées. Les résultats obtenus montrent que les plantes de blé traitées ont réagi par l'augmentation des quantités de sucres au niveau de leurs feuilles. Cette accumulation est proportionnelle à l'augmentation des doses appliquées.

De même, les teneurs des feuilles en chlorophylles (a, b et a+b) s'accroissent en association avec l'augmentation des doses de composts apportés chez les deux variétés de blé. Ceci est corroboré par l'analyse statistique qui indique également un effet très hautement significatif des composts et des doses appliquées. Ceci peut être attribué relativement à une richesse en éléments minéraux apportés par les différents composts de boues produits, ce qui peut avoir des répercussions positives sur le processus photosynthétique et par conséquent sur la production des sucres. D'après Jin et al. [40], la croissance et le rendement des cultures sont directement touchés par la teneur en chlorophylle. D'autres chercheurs comme Costa et al. [41], ont montré que les plants recevant plus de fertilisation montrent des taux de chlorophylle plus élevés. Ghouil [42] cité par Dhib et al. [43], a indiqué que la concentration de chlorophylle augmente avec la concentration des matières nutritives. Certaines études ont montré une corrélation positive entre la teneur en azote et la teneur en chlorophylle des feuilles [44,45], ainsi que la productivité [46,47]. Sachant que nos composts sont riches en azote, leur incorporation au sol a fait augmenter le taux de l'azote et par conséquent la croissance des plantes et la teneur en chlorophylle.

Certains auteurs soulignent que l'azote a un rôle dominant dans la nutrition et la croissance des plantes. Il est un constituant de la molécule de chlorophylle, des acides aminés, des enzymes et des vitamines. Il favorise l'utilisation des hydrates de carbone et l'absorption des autres éléments minéraux. L'émergence des feuilles, la ramification, le tallage, la floraison, la nouaison et le développement des racines sont déclenchés par l'application d'azote [17,47].

Cependant, une forte relation positive existe entre les teneurs en sucres et en chlorophylles. En plus de son rôle primordial dans la photosynthèse, la chlorophylle est responsable de la formation des réserves glucidiques. En fait, la croissance des plantes dépend de leurs capacités à synthétiser les glucides (sucres) à partir du gaz CO<sub>2</sub> et d'eau, cette réaction se fait au niveau des feuilles contenant le plus de chlorophylle. Ce dernier capte l'énergie

lumineuse et l'utilise en tant que source d'énergie pour former des glucides lors de la photosynthèse. Ces glucides formés constituent la majeure partie des substances organiques [43].

De l'analyse de variance, il y a lieu de retenir surtout que la dose de compost constitue le facteur essentiel, autrement dit le facteur qui influence d'une façon très hautement significative la croissance du blé. Les meilleurs résultats concernant les paramètres morphologiques et biochimiques ont été enregistrés au niveau de la dose la plus élevée 5%.

## Conclusion

L'ensemble des résultats obtenus a mis en évidence l'effet de l'ajout de composts, à base de boues d'épuration des eaux usées et des substrats organiques, sur le développement et la croissance des cultures de deux variétés de blé: Amal (BT) et Karim (BD). Les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques ont été suivis et mis à l'étude afin d'élucider l'action de différentes doses de compost sur les jeunes pousses du blé en question.

Les résultats obtenus illustrent des effets bénéfiques des composts produits sur la culture de blé, aussi bien sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de la plante. En effet, l'analyse des résultats relatifs aux différentes doses de composts apportés sur les paramètres étudiés a montré que ces doses enregistrent des augmentations appréciables par rapport au témoin. Ainsi, ces doses appliquées ont influé d'une façon très hautement significative sur les paramètres de la croissance étudiés. Les meilleurs résultats ont été enregistrés au niveau de la forte dose de composts (5%). Ces effets sont dus certainement à l'apport de la matière organique et à l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol qui ont influencé l'approvisionnement des plantes en nutriments.

## Références

1. Alvarez M.B., Gagné S., Antoun H., *Appl. Environ. Microbiol.* 61 (1995) 194.
2. Amir S., Thèse de doctorat, *Institut National Polytechnique de Toulouse* (2005).
3. Maynard A.A., *Compost: The Process and Research*. Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin 966 (2000).
4. Cook J.A., Keeling A.A., Bloxham P.F., *Hort. Acta Hort.* 467 (1998) 283.
5. Crecchio C., Curci M., Pizzigallo M.D.R., Ricciuti P., Ruggiero P., *Soil Biol. Biochem.* 36 (2004) 1595.
6. Jouraiphy A., Thèse de doctorat, *Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech* (2007).
7. McCallum K.R., Keeling A.A., Beckwith C.P., Kettlewell P.S., *Acta Hort.* 467 (1998), 313.
8. Mouria B., Ouazzani-Touhami A., Douira A., *Rev. Ivoir. Sci. Technol.* 16 (2010) 165.
9. Mrabet L., Belghyti D., Loukili A., Attarassi B., *Afrique Science* 07 (2011) 74.
10. Roe N.E., Stoffella P.J., Graetz D., *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122 (1997) 433.
11. El Kadiri Boutchich G., Tahiri S., Mahi M., Gallart-Mateu D., de la Guardia M., Aarfane A., Lhadi E.K., El Krati M., *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (2015) 2206.
12. Dubois F., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebecs P.A., Smith F., *Anal. Chem.* 28 (1956) 350.
13. Arnon, D.I., *Plant Physiol.*, 24 (1949) 1.
14. De Bertoldi M., Vallini G., Pera A., *Waste Manag. Res.* 1 (1983) 157.
15. Gallardo F.L., Nogales R., *Biol. Waste.* 19 (1987) 35.
16. Hue N.V., Ikawa H., Silva J.A., *Soil Science and Plant Analysis*, 25 (1994) 3291.
17. Killi D., Kavdir Y., *Int. Biodeter. Biodegr.* 82 (2013) 157.
18. Lee J.J., Park R.D., *Bioresource Technol.* 93 (2004) 21.
19. Pommel B., Lasserre M., *Agronomie* 2 (1982) 851.
20. Hortenstine C.C., Rothwell D.F., *J. Environ. Qual.* 2(1973) 343.
21. Sérémé A., *Sciences et Médecine CAMES- Série A.* 5 (2007) 64.
22. Senay O., Kleinhenz M.D., *Report prepared for Ohio agricultural research and development center Wooster, Ohio* (2004).
23. Tahraoui Douma N., Thèse de doctorat, *Université de Limoges en co-tutelle avec l'Université De Blida* (2013).
24. Bullock L.R. III, Ristaino J.B., *Phytopathology* 92 (2002) 181.
25. Smith, S.R., Hall J.E., Hadley P., *Acta Hort.* 302 (1992) 203.
26. Bevacqua, R.F., Mellano V.J., *Compost Sci. Util.* 1 (1993) 34.
27. Edem Koledzi K., Thèse de doctorat, *Université de Limoges* (2011).
28. Attrassi B., Krimou D., Mrabet L., *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* 1 (2007) 23.
29. Compaoré E., Nanéma L.S., *Tropicicultura* 28 (2010) 232.
30. Falinirina M.V., Thèse de doctorat, *Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques d'Antananarivo* (2010).

31. Stephen, R.C., Lin, Y.C., *Agric. Sci. Hong Kong.* 1 (1970) 161.
32. Raiffaud C., Produits « Bio » de quelle qualité parle-t-on ?, Educagri Editions (2001).
33. Vanai P., Thèse de doctorat, *Université Française du Pacifique* (1995).
34. Lawson, I.Y.D., Muramatsu K., Nioh I., *Soil Sci. Plant Nutr.* 41 (1995) 721.
35. Paino V, Peillex J.P., Montlahuc O., Cambon A., Bianchini J.P., *Compost Sci. Util.* 4 (1996) 62.
36. Dekaki, A., Thèse de Doctorat, *Université Paris XII Val de marne* (2008).
37. Riou C., *Sécheresse* 2 (1993) 75.
38. Heller, R., Esnault, R., Lance, C., *Physiologie végétale, 1. Nutrition*, Paris ; Milan ; Barcelone : *Masson* (1993).
39. Blum A., *Crop. Sci.* 29 (1989) 230.
40. Jin X., Wang K., Xiao C., Diao W., Wang F., Chend B., Li S., *Field Crop. Res.* 135 (2012) 24.
41. Costa C., Dwyer L. M., Dutilleul P., Stewart D. W., Ma B. L., Smith D., *J. Plant Nutr.* 24 (2001) 1173.
42. Ghouil Amimi H., Thèse de doctorat, *Université de Tunis El Manar* (2004).
43. Dhib I., Ksontini M., Ferchichi A., *Revue des Régions Arides* 35 (2014) 1233.
44. Meir P., Kruijt B., Broadmeadow M., Barbosa E., Kull O., Carswell F., Nobre A., Jarvis P., *Plant Cell. Environ.* 25 (2008) 343.
45. Nijs I., Behaeghe T., Impens I., *J. Biogeogr.* 22 (1995) 177.
46. Montemurro F., Maiorana M., Lacertosa G., *J. Food Agric. Environ.* 5 (2007) 143.
47. Shehzad M.A., Maqsood M., Bhatti M.A., Ahmad W., Shahid M.R., *Asian. J. Phar. Biol. Res.* 2 (2012) 19.

(2016) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>