

Figure 40. Effet de Zinc sur l'activité de la catalase (CAT) dans les feuilles et les racines de la variété « *GTA dur* ».

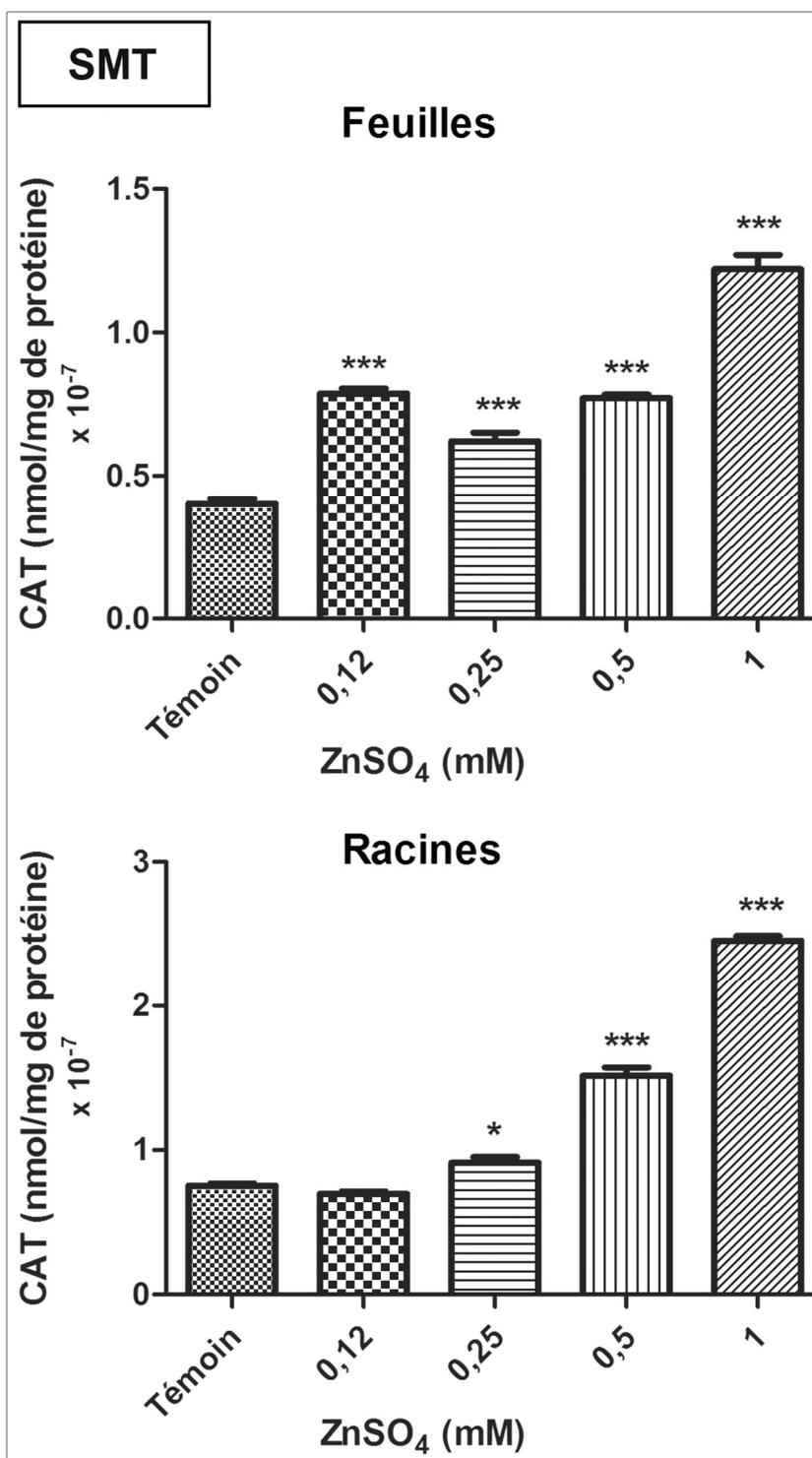


Figure 41. Effet de Zinc sur l'activité de la catalase (CAT) dans les feuilles et les racines de la variété « *Semito* ».

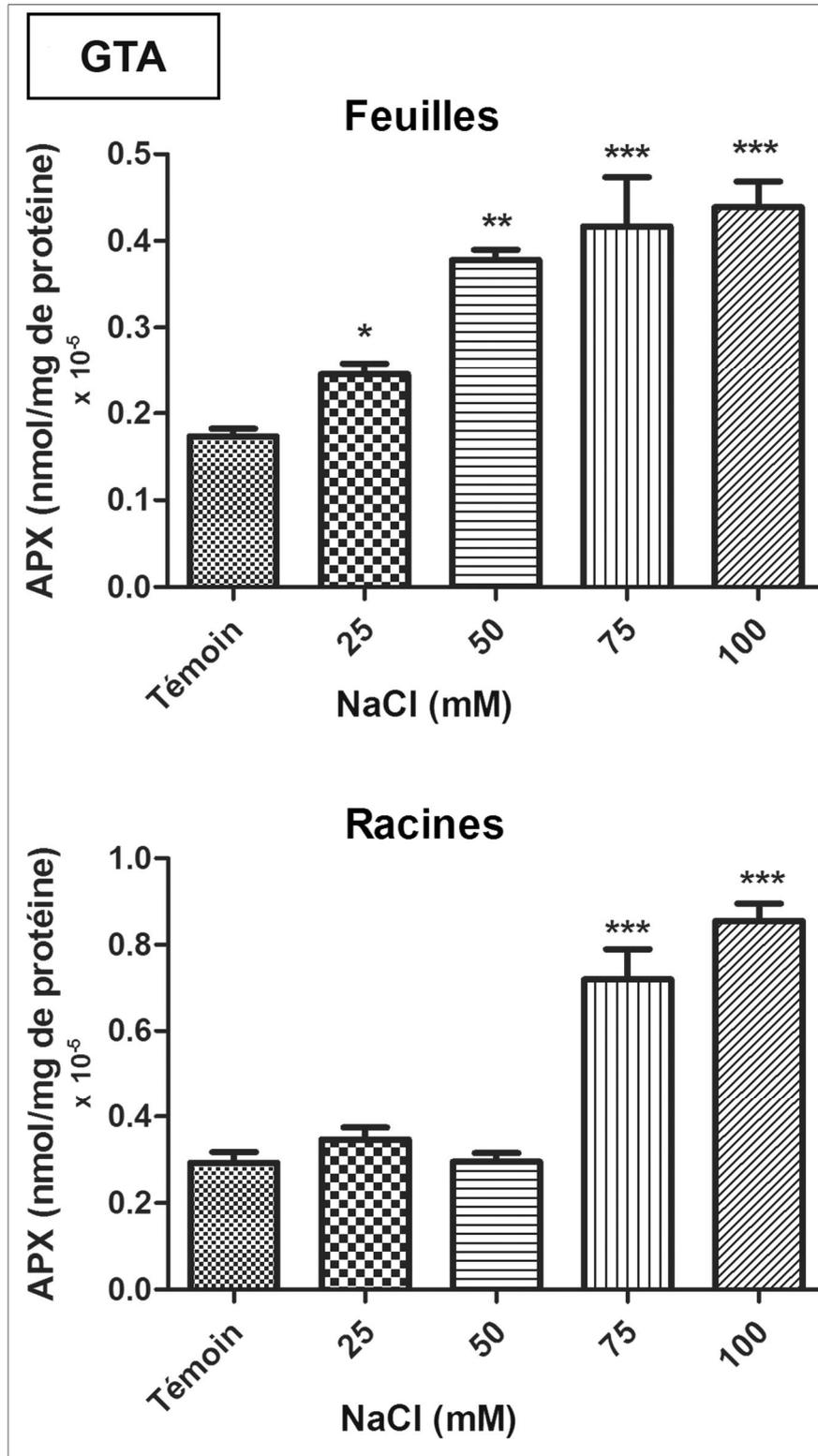


Figure 42. Effet stress salin sur l'activité de l'ascorbate peroxydase (APX) dans les feuilles et les racines de la variété *GTA dur*.

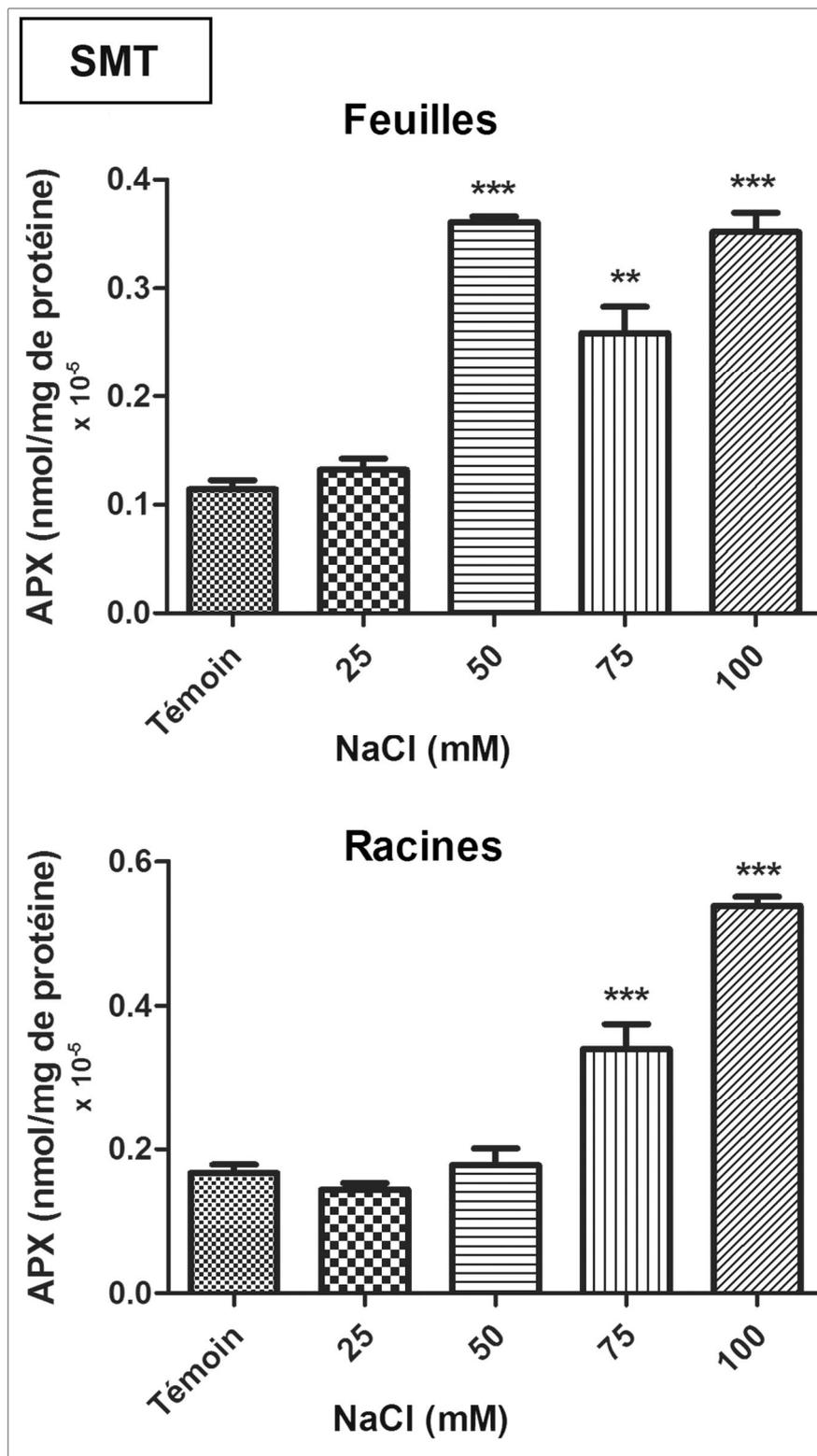


Figure 43. Effet stress salin sur l'activité de l'ascorbate peroxydase (APX) dans les feuilles et les racines de la variété *Semito*.

b. Effet de Zinc sur l'activité de l'ascorbate peroxydase (APX)

L'activité de l'APX mesurée des plantules des deux variétés de blé dur soumis au différentes dose de Zinc au niveau des feuilles et des racines sont présentées dans la (**Figure 44 et Figure 45**). Les résultats montrent que l'application du Zinc avec les plus faibles doses de stress (0,12 et 0,25 mM ZnSO₄) enregistre une variance significative dans les feuilles la variété « *GTA dur* », tandis que dans les racines, le traitement ne semble pas affecter nos plantules, où on enregistre une variance non significative de l'activité enzymatique de l'APX.

Le même résultat est enregistré avec la variété « *Semito* » avec la dose 0,25 mM, tandis que pour la dose 0,12 mM ZnSO₄ on enregistre un résultat inverse (une variance non significative dans les feuilles et significative dans les racines). À partir de la dose 0,5 mM on enregistre une augmentation de très hautement significative ($p < 0,001$). L'activité enzymatique enregistrée dans les feuilles chez le témoin passe de $0,173 \cdot 10^{-5}$ à $0,438 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) et $0,523 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) chez la variété « *GTA dur* » et de $0,124 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) à $0,445 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) et $0,709 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) chez la variété « *Semito* » avec le traitement au 0,5 et 1 mM ZnSO₄ respectivement.

Dans les racines, l'activité enzymatique APX semble plus affectée avec le traitement au plus fortes doses de ZnSO₄ (0.5 et 1 mM) pour les deux variétés de blé dur. L'activité enzymatique passe de $0,292 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) à 0,944 (nmol/min/mg protéines) 1,170 (nmol/min/mg protéines) chez la variété *GTA due* et de $0,174 \cdot 10^{-5}$ à $0,651 \cdot 10^{-5}$ et $0,842 \cdot 10^{-5}$ chez la variété *Semito* avec les doses 0,5 et 1 mM ZnSO₄ respectivement.

1.1.4.3 Activité de guaïcol peroxydase (GPX)

a. Effet de stress salin sur l'activité de guaïcol peroxydase (GPX)

Les variations des concentrations guaïcol peroxydase au niveau des feuilles et des racines sont illustrées dans les (**Figure 46 et Figure 47**).

Une variation hautement significative est enregistrée avec la plus faible dose de NaCl dans les feuilles la variété *GTA dur*. Une augmentation très hautement significative de l'activité est enregistrée chez les plantules arrosées à partir de la dose 50 mM. La plus forte concentration est enregistrée avec la plus forte dose de traitement (100 mM NaCl), où elle passe de $0,233 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) pour atteindre $1,227 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines). Chez la variété « *Semito* » une augmentation très hautement significative de l'activité GPX est enregistrée à partir de la dose 25 mM. En enregistre chez le témoin un taux de $0,255 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) qui passe à $0,454 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines), $0,685 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines), $0,764 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) et $0,917 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) avec les doses 25, 50 75 et 100 mM NaCl respectivement.

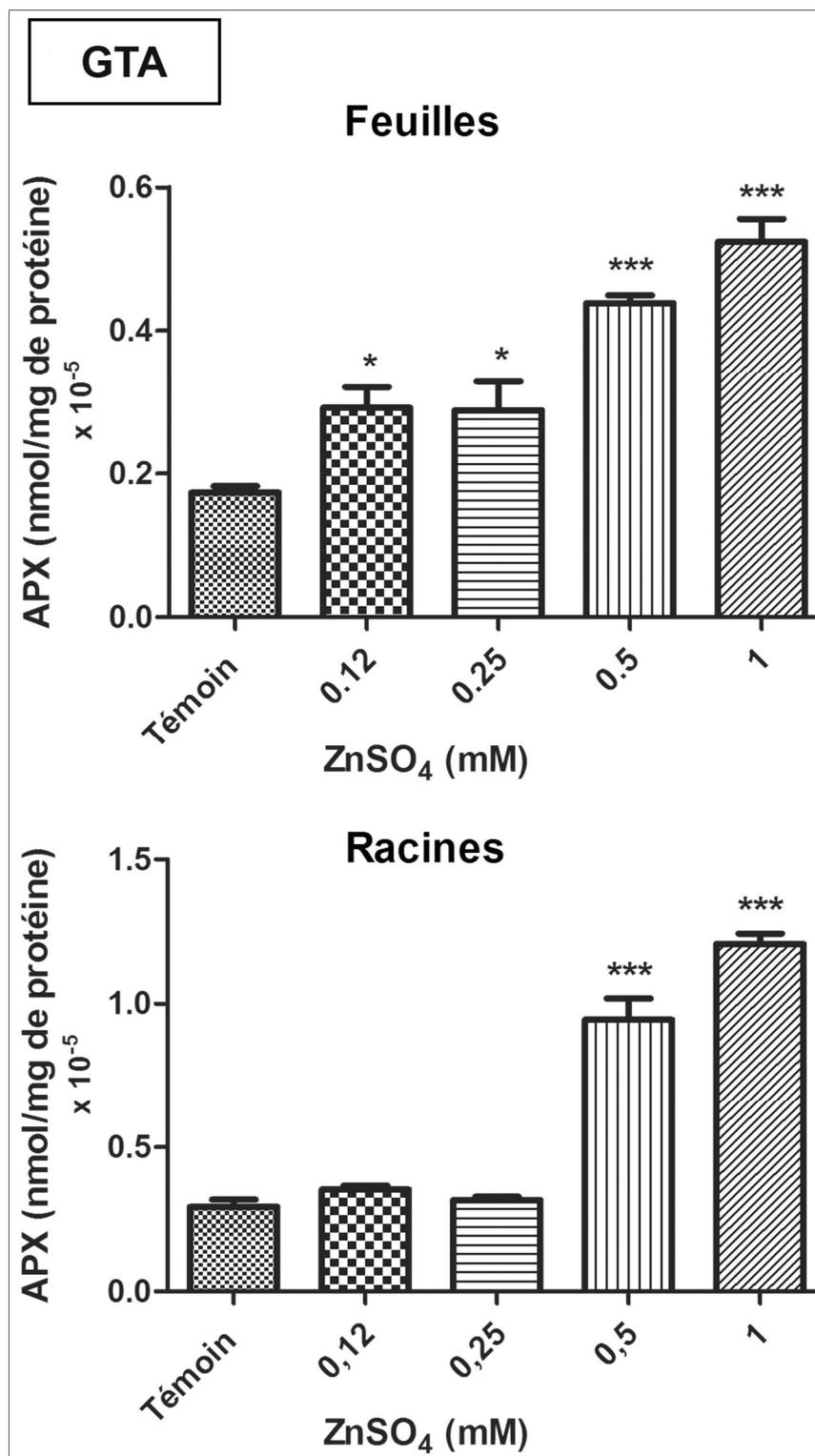


Figure 44. Effet de Zinc sur l'activité de l'ascorbate peroxydase (APX) dans les feuilles et les racines de la variété *GTA dur*.

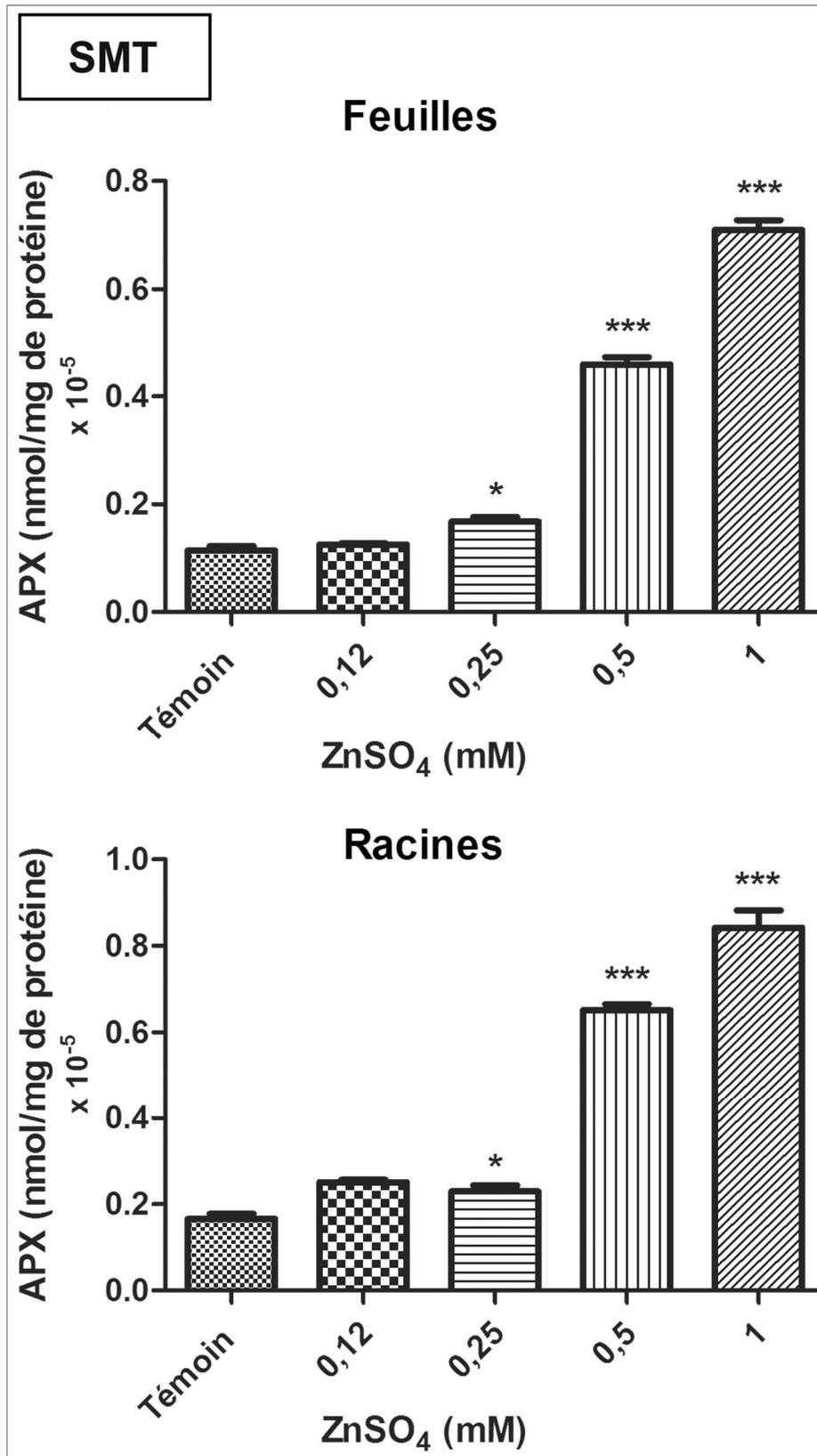


Figure 45. Effet de Zinc sur l'activité de l'ascorbate peroxydase (APX) dans les feuilles et les racines de la variété *Semito*.

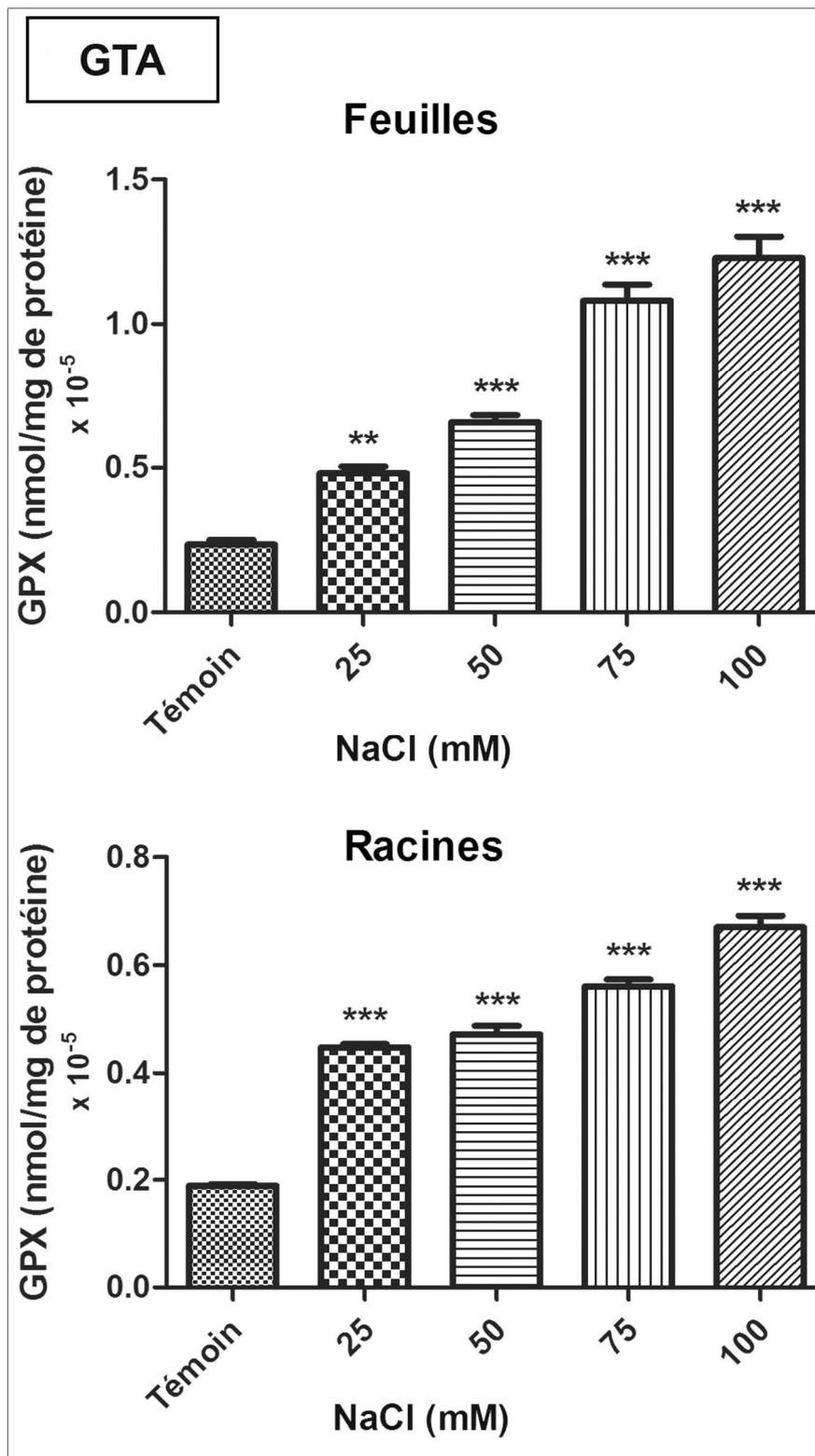


Figure 46. Effet stress salin sur l'activité de guaïcol peroxydase (GPX) dans les feuilles et les racines de la variété *GTA dur*.

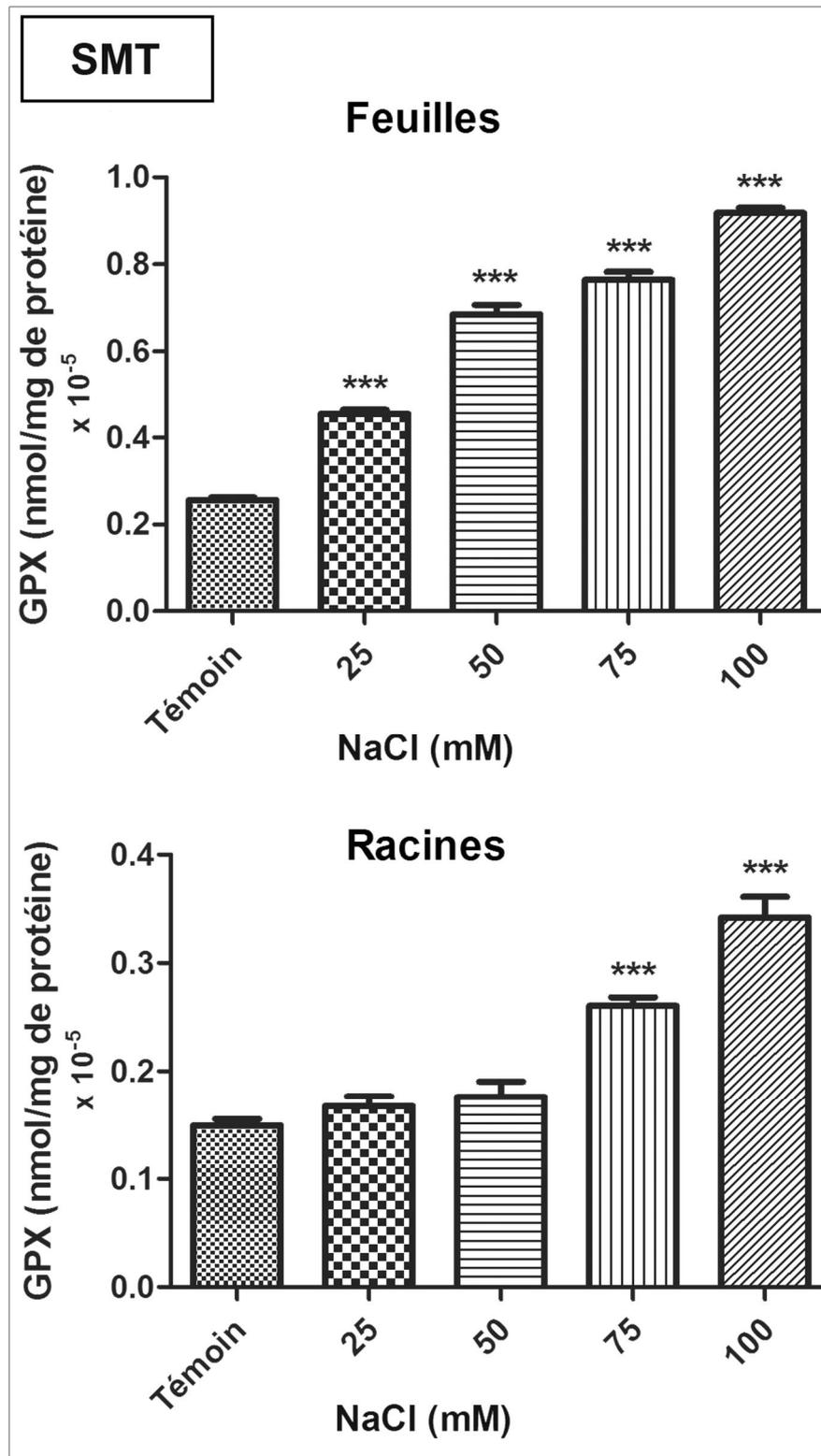


Figure 47. Effet stress salin sur l'activité de guaiacol peroxydase (GPX) dans les feuilles et les racines de la variété *Semito*.

Dans les racines, l'analyse de la variance à un seul critère de classification chez variété *GTA dur* enregistre une augmentation très hautement significative de l'activité GPX pour les différentes doses de traitement. Le taux de l'activité passe de $0,189 \cdot 10^{-5}$ à $0,447 \cdot 10^{-5}$, $0,471 \cdot 10^{-5}$, $0,561 \cdot 10^{-5}$, $0,670 \cdot 10^{-5}$ avec le traitement 25, 50, 75 et 100 mM NaCl. Tandis que chez la variété *Semito*, le traitement avec les doses 25 et 50 mM n'est pas significative par rapport au témoin, mais avec les doses 75 et 100 mM, une forte activité est enregistrée dans les racines de la variété *Semito*. On enregistre $0,149 \cdot 10^{-5}$ pour le témoin qui augmente pour atteindre les valeurs de $0,260 \cdot 10^{-5}$ et $0,342 \cdot 10^{-5}$ avec les doses 75 et 100 mM de traitement salin.

b. Effet de Zinc sur l'activité de guaïcol peroxydase (GPX)

Les variations des concentrations guaïcol peroxydase au niveau des feuilles et des racines sont illustrées dans les (**Figure 48 et Figure 49**).

Une variation significative est enregistrée avec la plus faible dose de $ZnSO_4$ dans les feuilles des deux variétés de blé dur « *GTA dur* » et « *Semito* ». L'activité GPX augmente de $0,233 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) à $0,447 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) et diminue de $0,255 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) à $0,167 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) chez « *GTA dur* » et « *Semito* » respectivement.

Une augmentation hautement significative de l'activité est enregistrée chez les plantules arrosées à la dose 0,25 mM chez la variété *GTA dur*. Avec les plus fortes concentrations de traitement (0,5 et 1 mM $ZnSO_4$) on enregistre une augmentation très hautement significative de l'activité GPX. Chez la variété *Semito*, l'analyse de la variance enregistre une augmentation très hautement significative à partir de la dose 0,25 mM. Elle atteint la valeur de $1,563 \cdot 10^{-5}$ et $1,031 \cdot 10^{-5}$ avec la dose 1 mM chez *GTA dur* et *Semito* respectivement.

Dans les racines, l'analyse de la variance à un seul critère de classification chez variété *GTA dur* enregistre une augmentation très hautement significative de l'activité GPX pour les différentes doses de traitement. Le taux de l'activité passe de $0,189 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) à $0,514 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines), $0,568 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines), $0,442 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines), $0,701 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) avec le traitement 0,12, 0,25, 0,5 et 1 mM NaCl. Tandis que chez la variété *Semito*, le traitement avec les doses 0,12 mM enregistre une variation non significative par rapport au témoin, et une augmentation significative avec la dose 0,5 mM. Avec les doses 0,5 et 1 mM $ZnSO_4$, une forte activité est enregistrée dans les racines de la variété *Semito*. On enregistre $0,149 \cdot 10^{-5}$ pour le témoin qui augmente pour atteindre les valeurs de $0,325 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) et $0,491 \cdot 10^{-5}$ (nmol/min/mg protéines) avec les doses 0,5 et 1 mM de traitement.

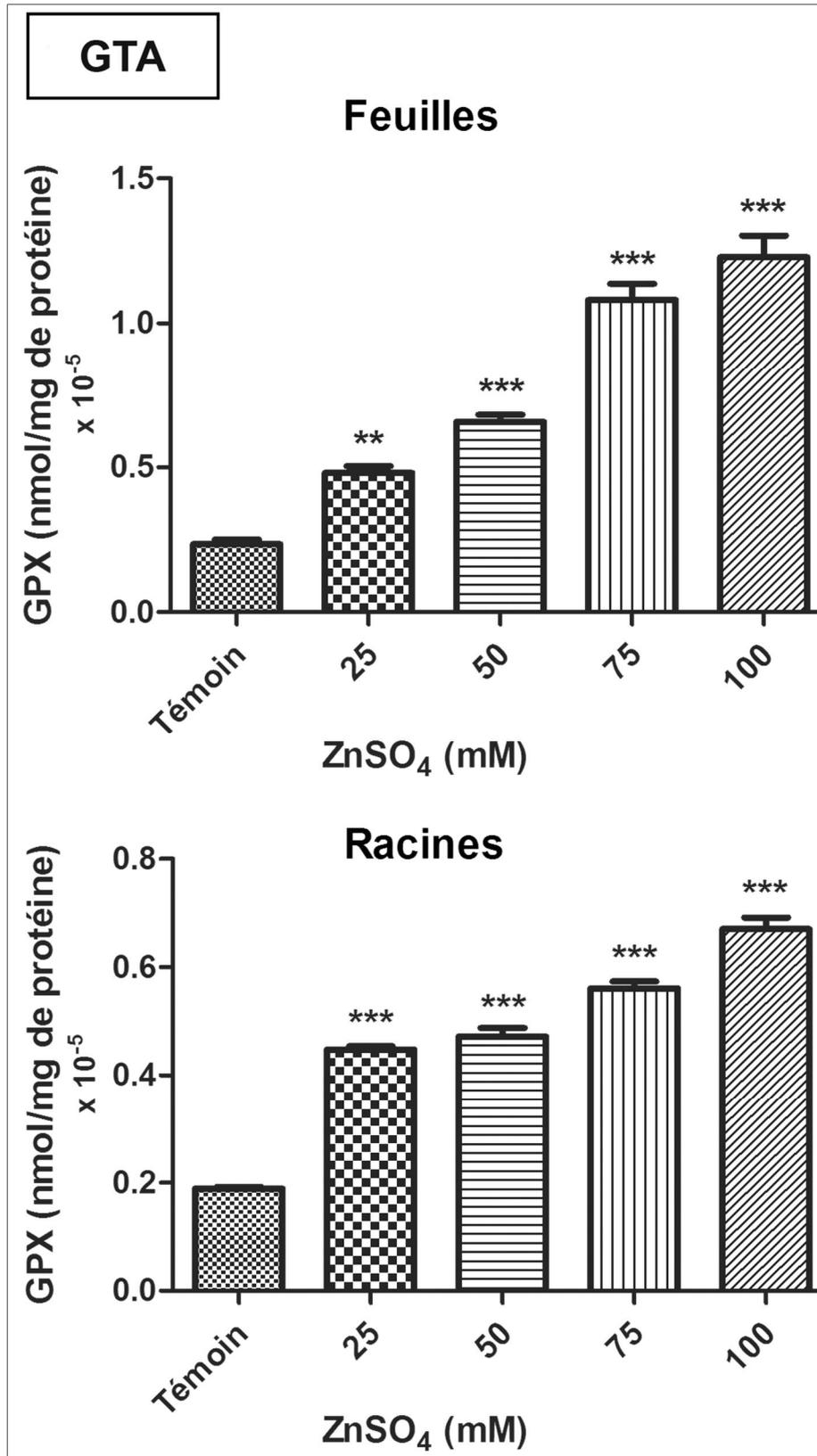


Figure 48. Effet de Zinc sur l'activité de guaiacol peroxydase (GPX) dans les feuilles et les racines de la variété *GTA dur*.

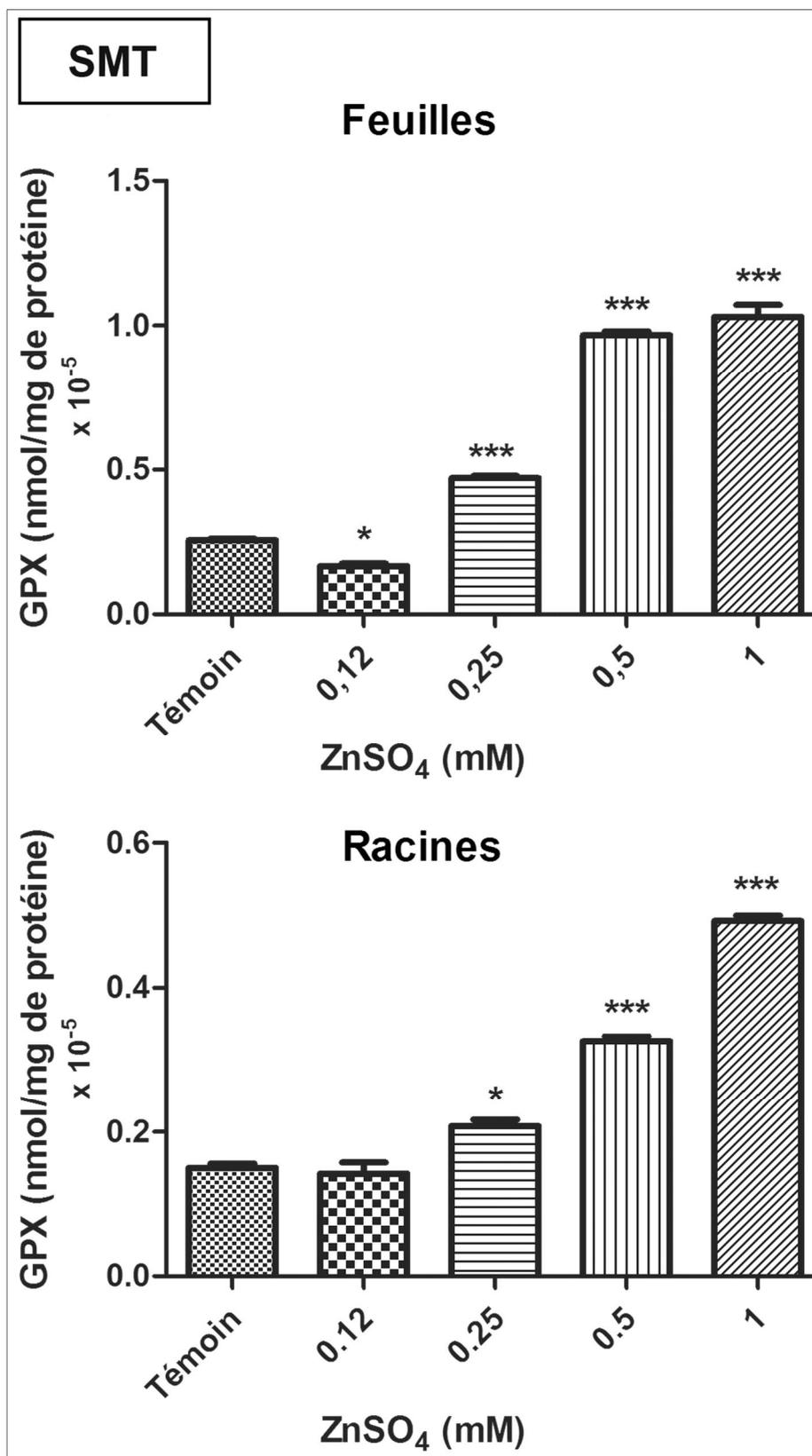


Figure 49. Effet de Zinc sur l'activité de guaïcol peroxydase (GPX) dans les feuilles et les racines de la variété *Semito*.

1.2 Atténuation du stress

1.2.1 Paramètres morphologiques

1.2.1.1 Taux de germination

Dans le chapitre I, l'analyse des résultats montre que la concentration de NaCl dans le milieu influe sur le taux de germination pour les deux variétés de blé dur « *GTA dur* » et « *Semito* » comparativement au témoin. Toutefois, dans le chapitre II, nous observons, que le taux de germination des deux espèces étudiées semble indifférent à l'application de différentes doses de Zinc et ne présente pas de différence significative ($p > 0,05$) vis-à-vis du niveau de traitement.

En outre, l'interaction du stress salin avec le Zinc illustré dans la (**Figure 50**), révèle une amélioration de taux de germination par rapport aux graines soumises au stress salin seul. L'analyse de la variance a un seul critère de classification montre que l'application du Zinc a avec la plus faible dose de stress salin (25 mM) à révéler une variance significative ($p < 0,05$), tandis qu'avec les doses 50, 75 et 100 mM NaCl, l'ajout de Zinc enregistre une variance très hautement significative ($p < 0,001$).

D'après les résultats dans la (**Figure 50**), on remarque que l'application de la dose 0,25 mM ZnSO₄ avec 50 mM NaCl, enregistre une augmentation de 26,67% avec le stress salin seul pour atteindre un pourcentage de germination de 100% chez la variété *GTA dur*. L'application de Zinc à 0,12, 0,25 et 0,5 mM induit une augmentation de 38,88%, 35,76% et 34,21% par rapport aux plantules traitées avec la dose 75 mM NaCl seul. Avec la plus forte dose de NaCl, l'addition de Zinc a amélioré d'une façon très hautement significative le taux de germination, où il passe de 26,66% à 63,33%, 73,33%, 56,66% et 50% avec les doses 0,12, 0,25, 0,5 et 1 mM ZnSO₄.

Chez la variété *Semito* (**Figure 51**), l'ajout des doses 0,12 et 0,25 mM ZnSO₄ à la dose 25 mM NaCl a amélioré le taux de germination d'une façon hautement significative. Avec les doses 50 et 100 mM on remarque une augmentation très hautement significative, elle atteint le taux de 96,66% avec 50 mM NaCl et 0,25 mM Zn.

Donc on peut dire que l'application de Zinc a un effet positif significatif en atténuant l'impact nocif du stress salin appliqué sur les graines de blé dur.

1.2.1.2 Longueur des feuilles et des racines

Les (**Figure 52, Figure 53, Figure 55, Figure 54**) représente l'effet du Zinc sur l'élongation racinaire et foliaire des plantes de blé dur soumises ou non au stress salin. Nous remarquons que les traitements par les différentes concentrations de stress salin provoquent une diminution significative des longueurs moyennes des feuilles et des racines des deux variétés de blé dur.

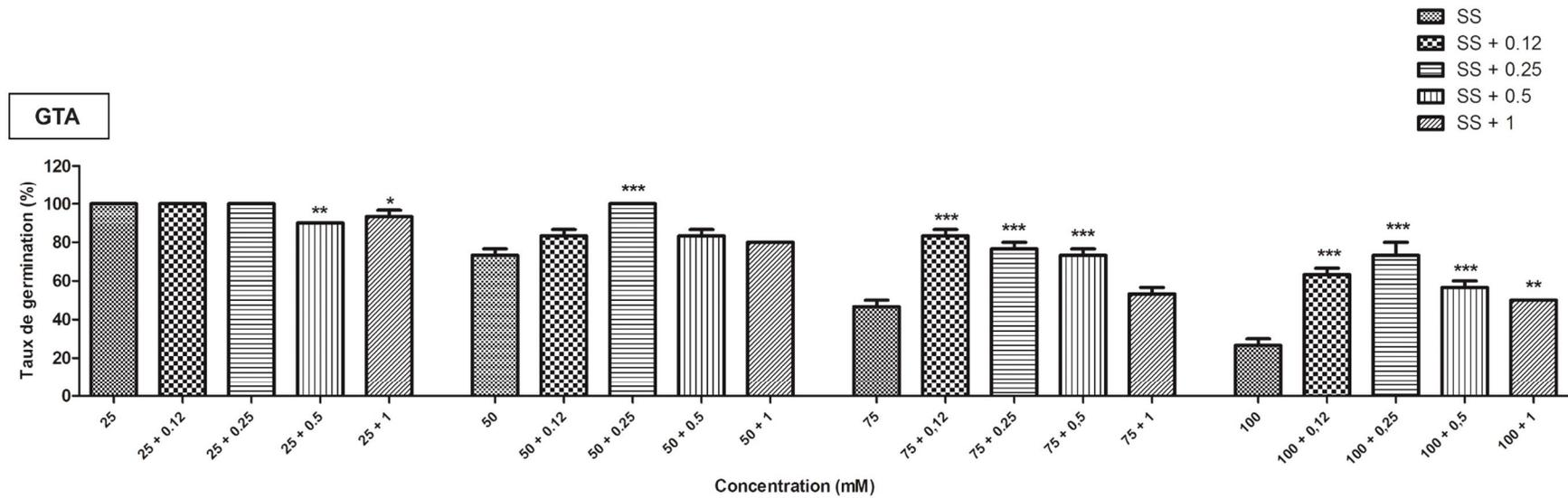


Figure 50. Effet de Zinc sur la germination de la variété *GTA dur* soumise au stress salin

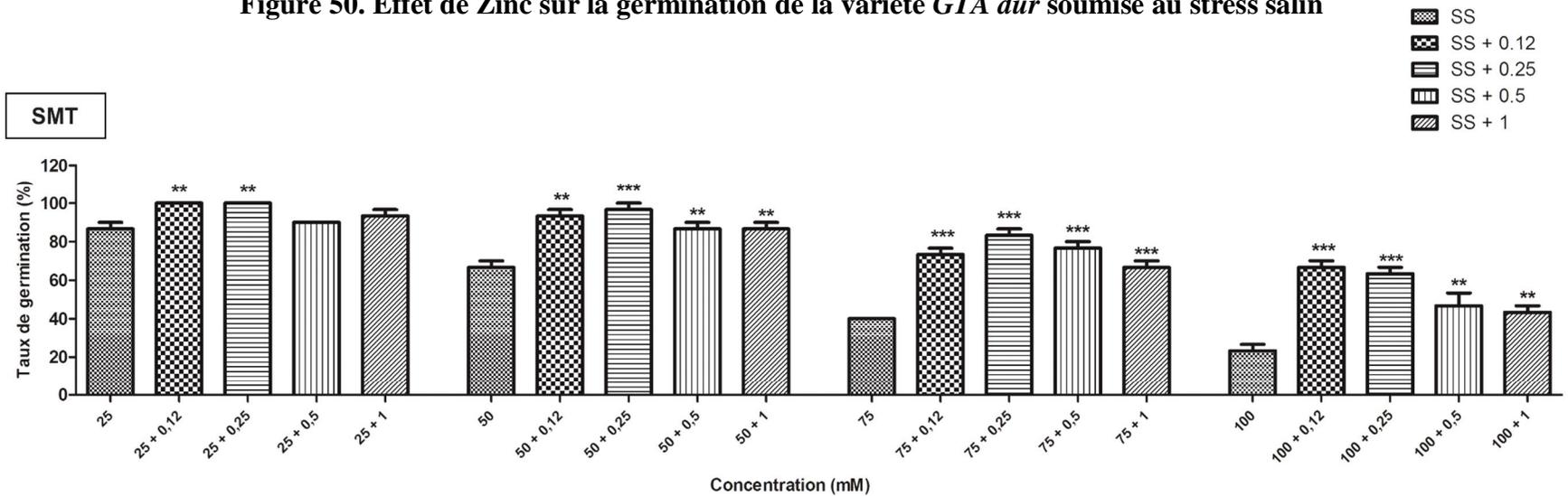


Figure 51. Effet de Zinc sur la germination de la variété *Semito* soumise au stress salin

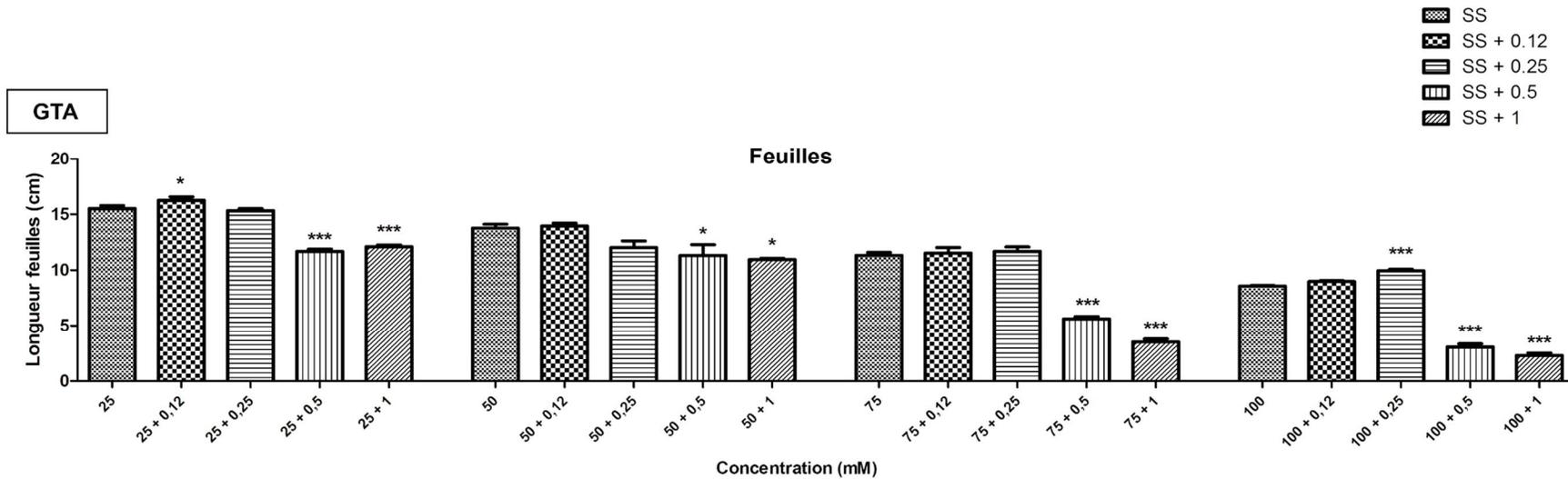


Figure 52. Effet de Zinc sur la longueur des feuilles de la variété *GTA dur* soumise au stress salin

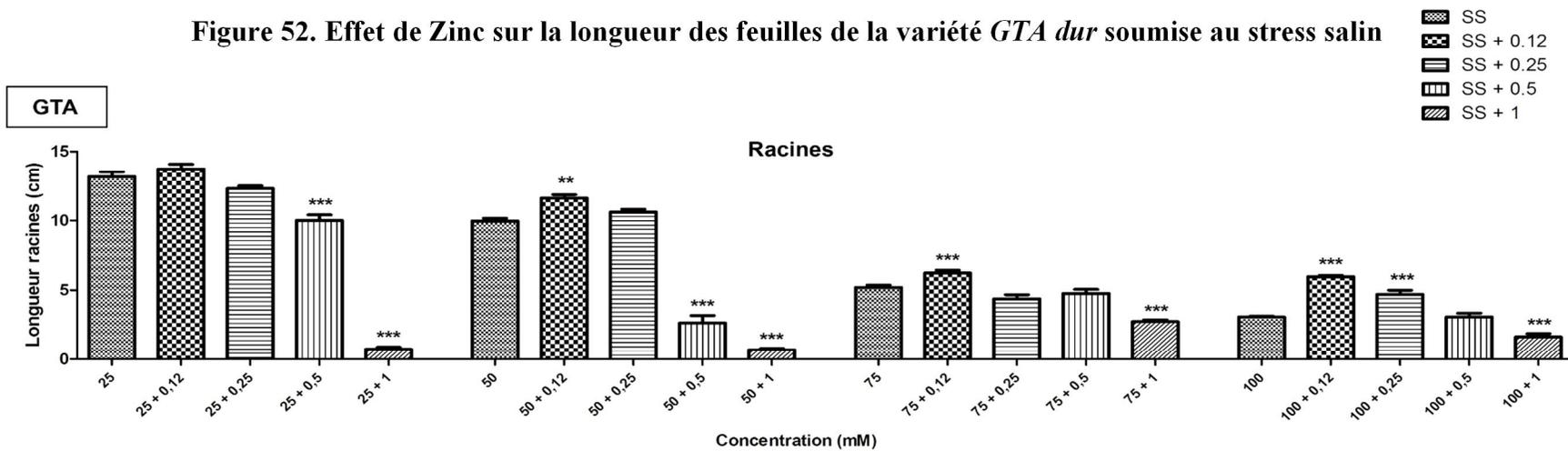


Figure 53. Effet de Zinc sur la longueur des racines de la variété *GTA dur* soumise au stress salin

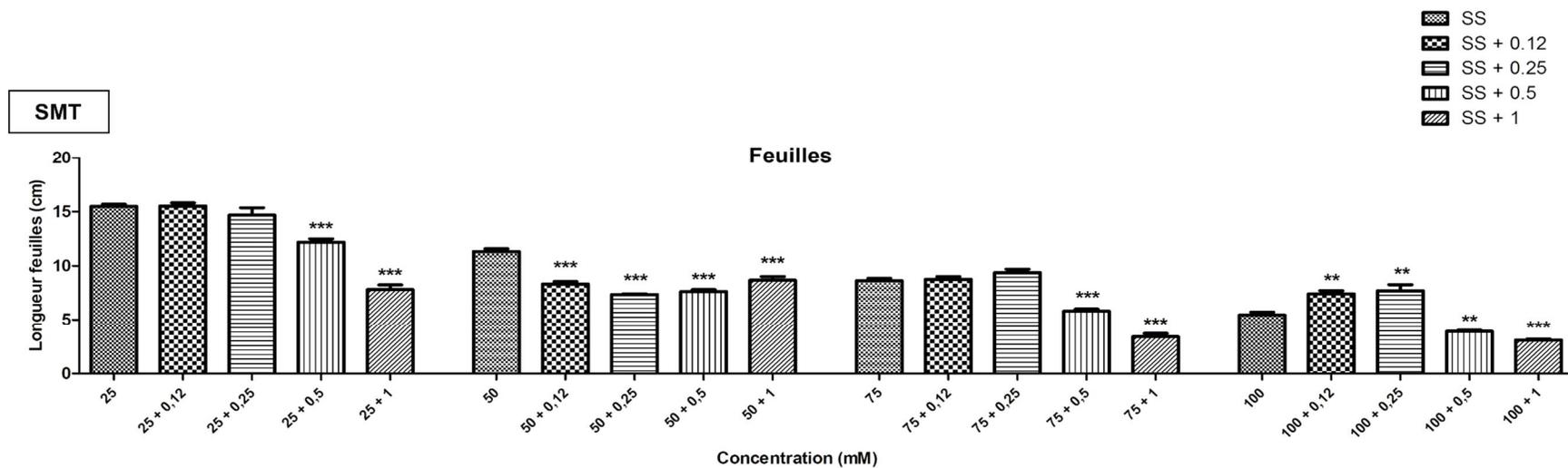


Figure 55. Effet de Zinc sur la longueur des feuilles de la variété *Sémito* soumise au stress salin

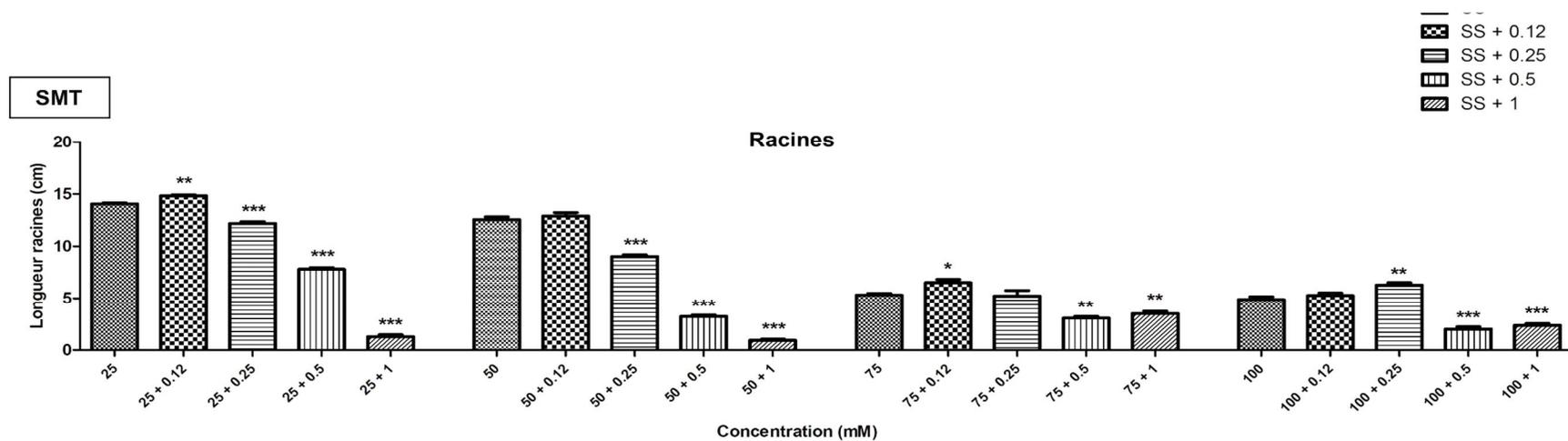


Figure 54. Effet de Zinc sur la longueur des racines de la variété *Sémito* soumise au stress salin

Toutefois, l'addition du Zinc dans la solution nutritive induit une augmentation des longueurs moyennes des racines et des feuilles des plantes de blé dur.

L'application de Zinc avec les faibles doses de stress salin chez variété *GTA dur* n'a pas eu d'effet significative sur la longueur des feuilles. Alors qu'avec la dose 100 mM NaCl on remarque une augmentation avec l'addition de 0,25 mM. Dans les racines, l'application de 0,12 mM Zinc avec 50 mM NaCl et 0,12, 0,25 et 0,5 mM avec 100 mM NaCl a favorisé leurs croissances, ce qui a conduit à l'augmentation des longueurs moyennes racines des lots traités par le stress salin.

Chez la variété *Semito*, avec le faible stress, l'analyse de la variance révèle une variance non significative, pour la partie aérienne que pour les parties souterraines. En revanche avec les fortes doses de stress. On remarque une évolution de la longueur des feuilles en ajoutant 0,5 et 1 mM de Zn au 75 mM NaCl. Avec la plus forte dose stress salin (100 mM), l'ajout de Zinc a évolué la longueur foliaire avec les doses 0,12, 0,5 et 1 mM Zn, et racinaire avec les doses 0,25, 0,5 et 1 mM Zn. Donc, nos résultats ont montré que l'interaction entre le stress salin et le Zinc a un effet positif significatif en atténuant son impact nocif appliqué sur la croissance des plantes de blé dur.

1.2.2 Paramètres biochimiques

1.2.2.1 Synthèse des sucres totaux

Dans le premier chapitre, Nos résultats montrent une augmentation hautement significative des concentrations des sucres solubles totaux dans les feuilles et les racines des plantes traitées au stress salin par rapport à celles des témoins pour les deux variétés de blé dur *GTA dur* et *Semito*.

Le traitement au Zinc dans le 2^{ème} chapitre révèle que le traitement à faibles doses induit une diminution significative des concentrations de sucres par rapport au témoin pour dans les feuilles des deux variétés étudiées, tandis qu'elle enregistre un résultat stable pour la variété *GTA dur* et une diminution dans la variété *Semito* dans les racines.

L'interaction du stress salin et le Zinc chez les deux variétés de blé dur est illustrée dans les figures (**Figure 57**, **Figure 56**, **Figure 58** et **Figure 59**). On remarque que chez la variété *GTA dur*, l'application du Zinc avec la plus faible dose de NaCl (25 mM) n'a pas d'effet significatif sur les concentrations des sucres accumulés dans les feuilles. Tandis qu'avec les plus fortes doses on remarque une diminution de la concentration de sucre avec l'application de 0,12, 0,25 et 0,5 mM ZnSO₄. Dans les racines, avec différentes doses de NaCl, on enregistre une diminution de taux des sucres en ajoutant les deux faibles doses de Zinc (0,12 et 0,25 mM), mais avec la plus forte dose de Zinc (1 mM), on remarque une augmentation très hautement significative.

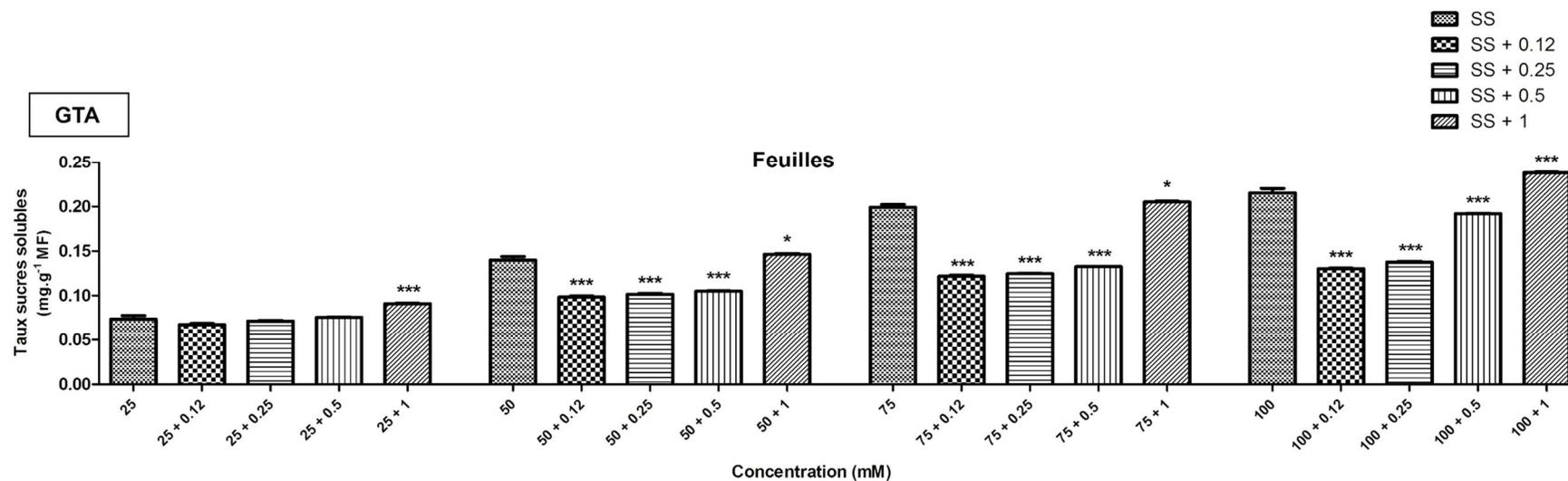


Figure 57. Effet de Zinc sur le taux des sucres totaux dans les feuilles de la variété *GTA dur* soumise au stress salin

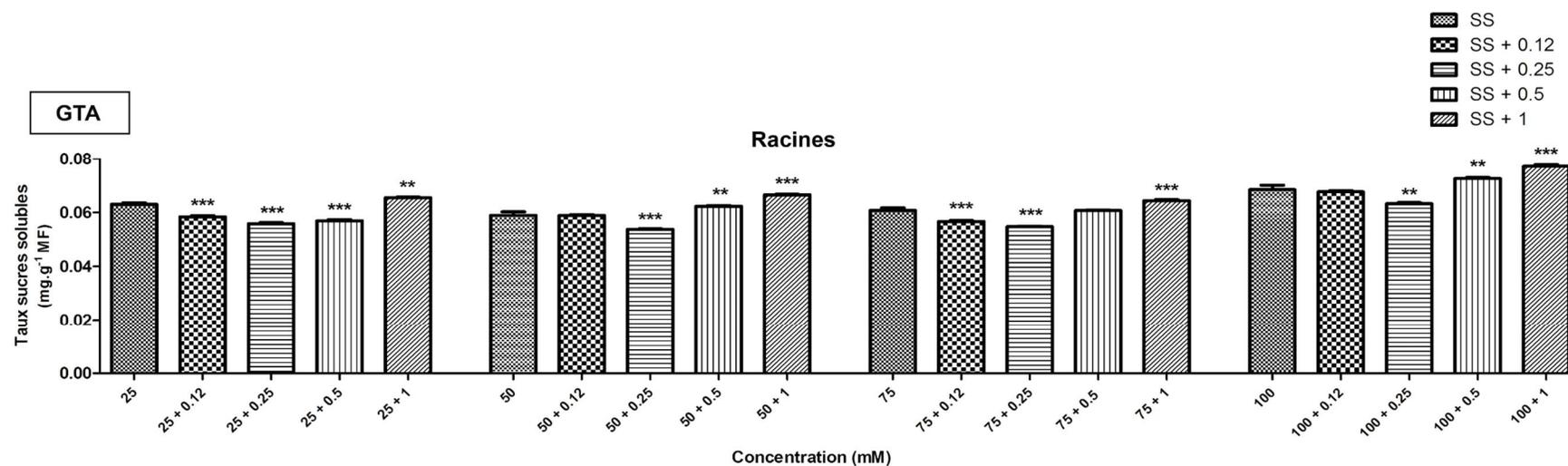


Figure 56. Effet de Zinc sur le taux des sucres totaux dans les racines de la variété *GTA dur* soumise au stress salin

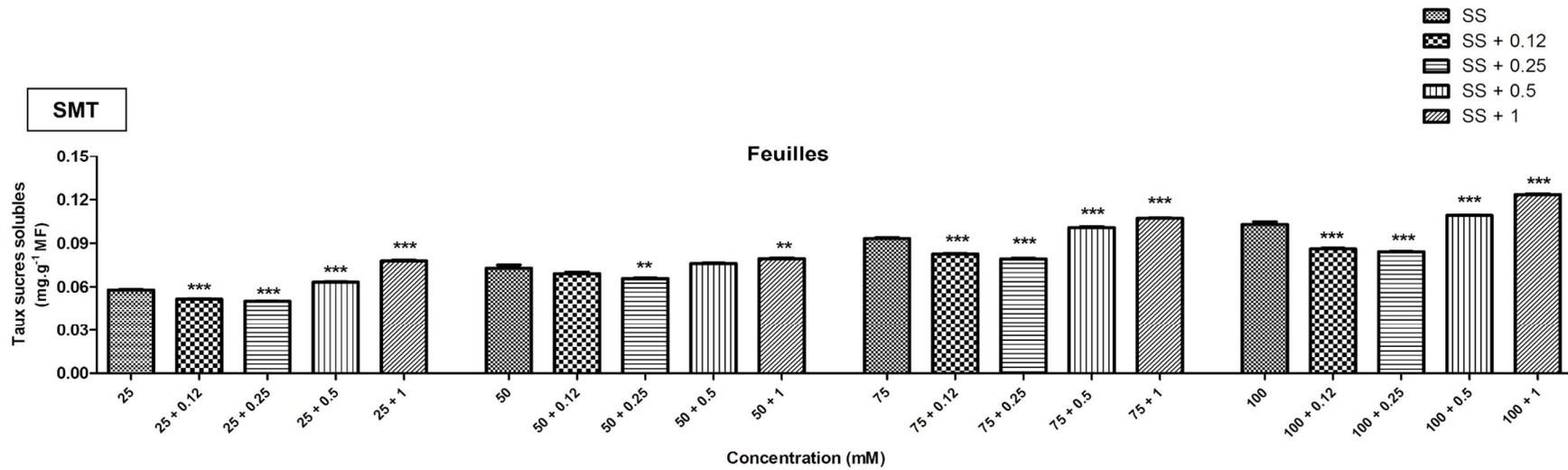


Figure 58. Effet de Zinc sur le taux des sucres totaux dans les feuilles de la variété *Sémito* soumise au stress salin

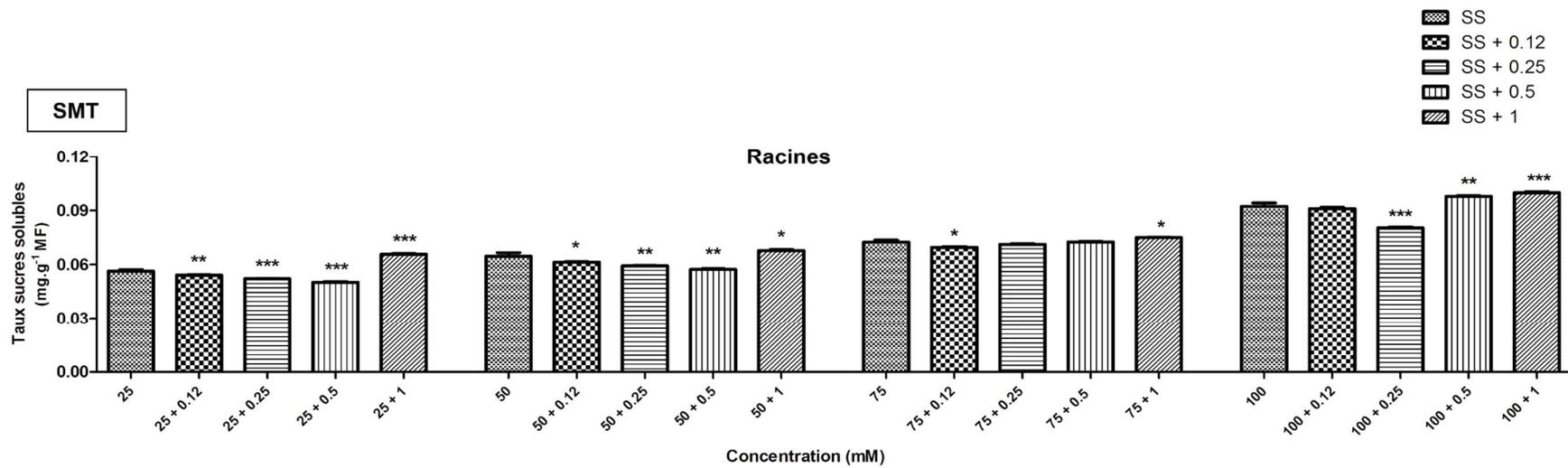


Figure 59. Effet de Zinc sur le taux des sucres totaux dans les racines de la variété *Sémito* soumise au stress salin

1.2.2.2 Synthèse de proline

Dans le 1^{er} chapitre, le taux de proline pour les deux variétés de blé dur a illustré que pour les plus fortes concentrations de stress salin, on a enregistré une augmentation très hautement significative des concentrations de proline accumulés dans les feuilles et les racines.

Le traitement aux différentes doses de ZnSO₄ dans le 2^{ème} chapitre, on enregistre une augmentation hautement significative des doses les plus faibles de traitement dans les feuilles et les racines des deux variétés *GTA dur* et *Semito*.

L'association des deux types de stress dans le milieu d'arrosage, révèle une diminution des concentrations de proline dans les feuilles et les racines en appliquant 0,12 et 0,25 mM Zn avec toutes les doses de stress salin chez la variété *GTA dur* et *Semito*.

Avec les plus fortes doses de NaCl, l'interaction Stress salin-Zinc révèle une augmentation très hautement significative des concentrations de proline (**Figure 60 Figure 61 Figure 63 Figure 62**).

1.2.3 Paramètres enzymatiques

1.2.3.1 Effet de l'addition stress salin/ Zinc sur l'activité de la catalase (CAT)

L'influence de l'addition du Zinc sur l'activité catalase au niveau des feuilles et des racines des plantes de blé dur soumises au stress salin est mise en évidence dans les (**Figure 65, Figure 64, Figure 67, Figure 66**). L'analyse de la variance a seul critère de classification, montre une augmentation très hautement significative dans les feuilles de la variété *GTA dur* avec toutes les doses de traitement.

D'après nos résultats, nous notons que les traitements stress salin ou au Zinc provoquent une augmentation de l'activité catalase chez les plantes de blé dur traitées au niveau foliaire et racinaire par rapport au témoin. Selon nos résultats dans le chapitre addition on remarque, que l'addition du Zinc au stress salin fait augmenter considérablement les concentrations de la catalase chez la variété *Semito* comme chez la variété *GTA dur*.

L'induction de la catalase est plus marquée dans les racines que dans les feuilles et elle est plus remarquable chez la variété *GTA dur* que chez la variété *Semito*.

Le traitement au stress salin a la dose 25 mM enregistre une valeur de $1,426 \cdot 10^{-7}$, qui atteint $2,736 \cdot 10^{-7}$ (nmol/min/mg protéines) et de $9,709 \cdot 10^{-8}$ (nmol/min/mg protéines) à $1,564 \cdot 10^{-7}$ (nmol/min/mg protéines) avec l'addition de 1 mM ZnSO₄ chez la variété *GTA dur* et *Semito* respectivement. Dans les racines, l'addition de la dose 1 mM de Zinc, l'activité catalase passe de $1,378 \cdot 10^{-7}$ (nmol/min/mg protéines) à $5,658 \cdot 10^{-7}$ (nmol/min/mg protéines) et de $7,272 \cdot 10^{-8}$ (nmol/min/mg protéines) à $1,815 \cdot 10^{-7}$ chez la variété *GTA dur* et *Semito* respectivement.

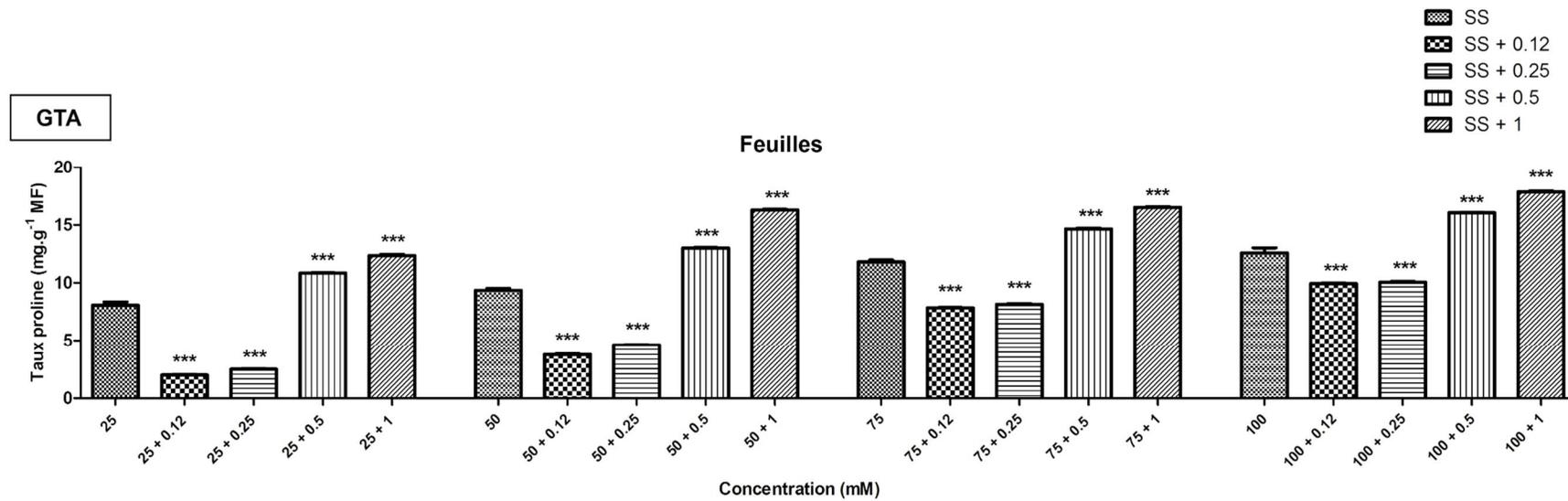


Figure 60. Effet de Zinc sur les concentrations de proline dans les feuilles de la variété *GTA dur* soumise au stress salin

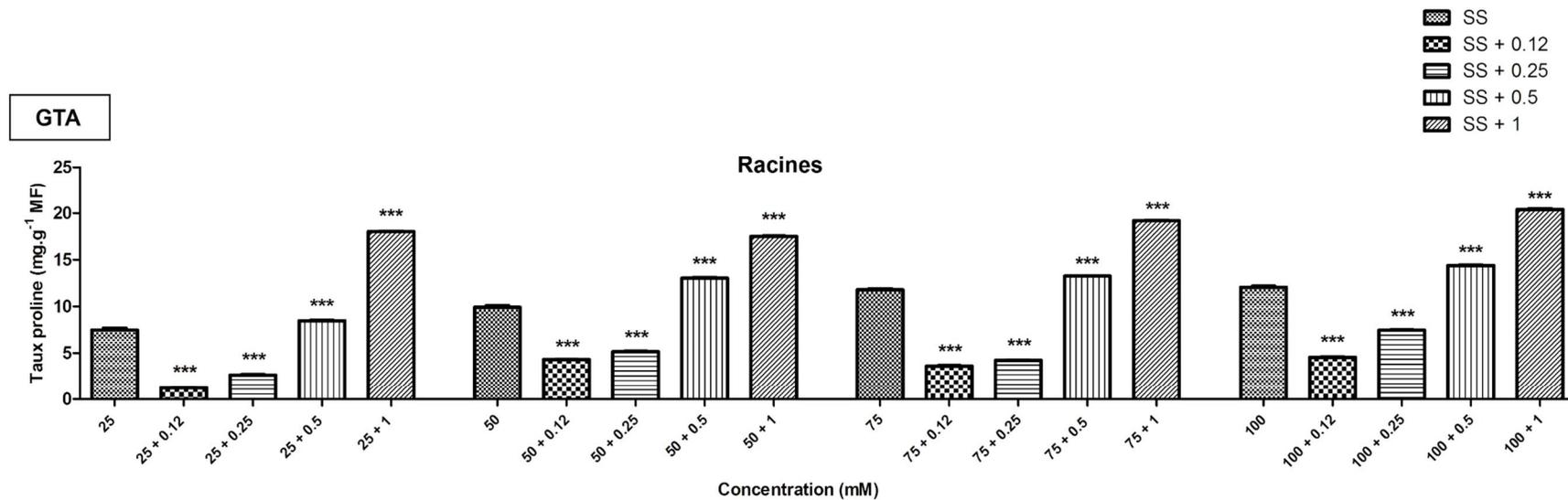


Figure 61. Effet de Zinc sur les concentrations de proline dans les racines de la variété *GTA dur* soumise au stress salin

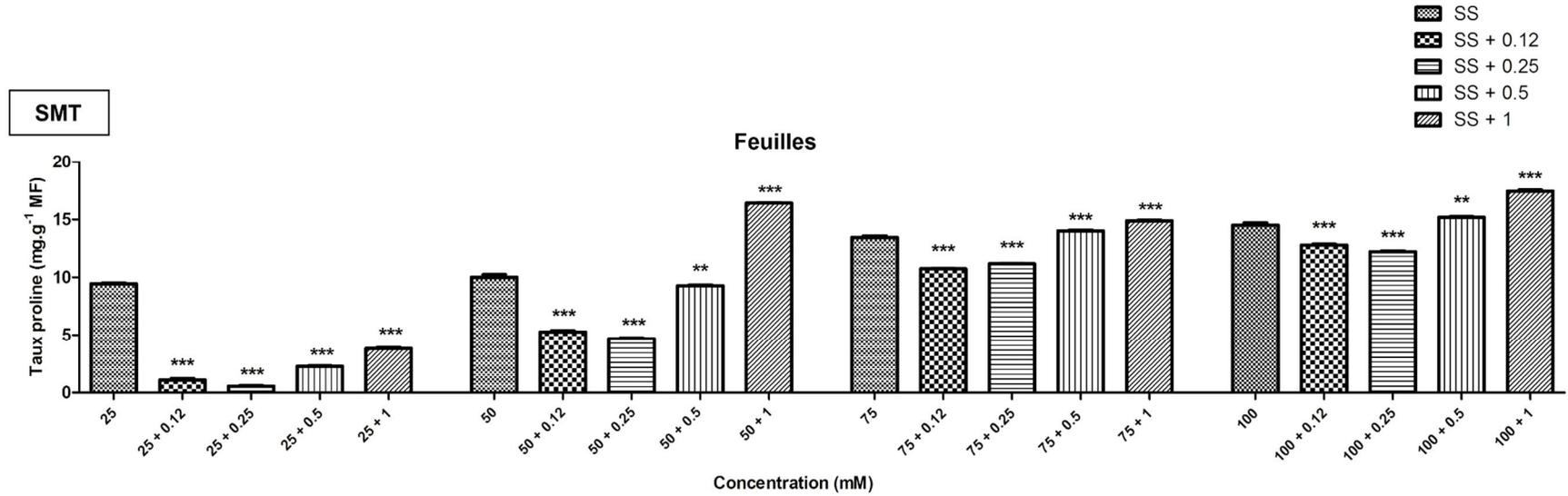


Figure 63. Effet de Zinc sur les concentrations de proline dans les feuilles de la variété *Sémito* soumise au stress salin

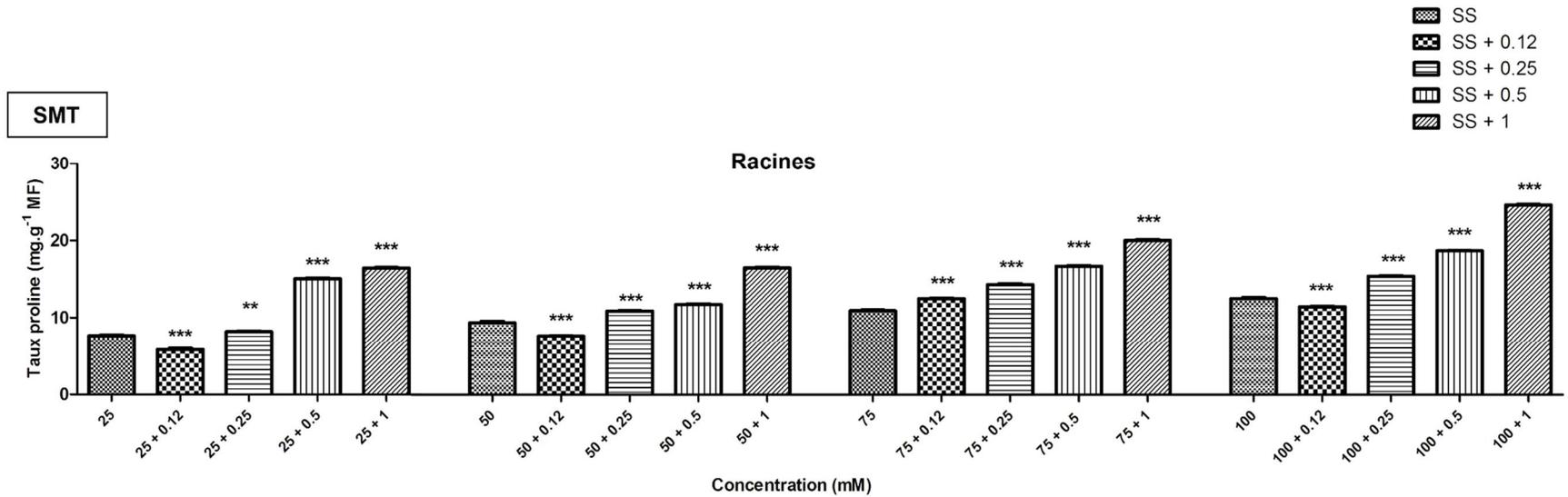


Figure 62. Effet de Zinc sur les concentrations de proline dans les racines de la variété *Sémito* soumise au stress salin

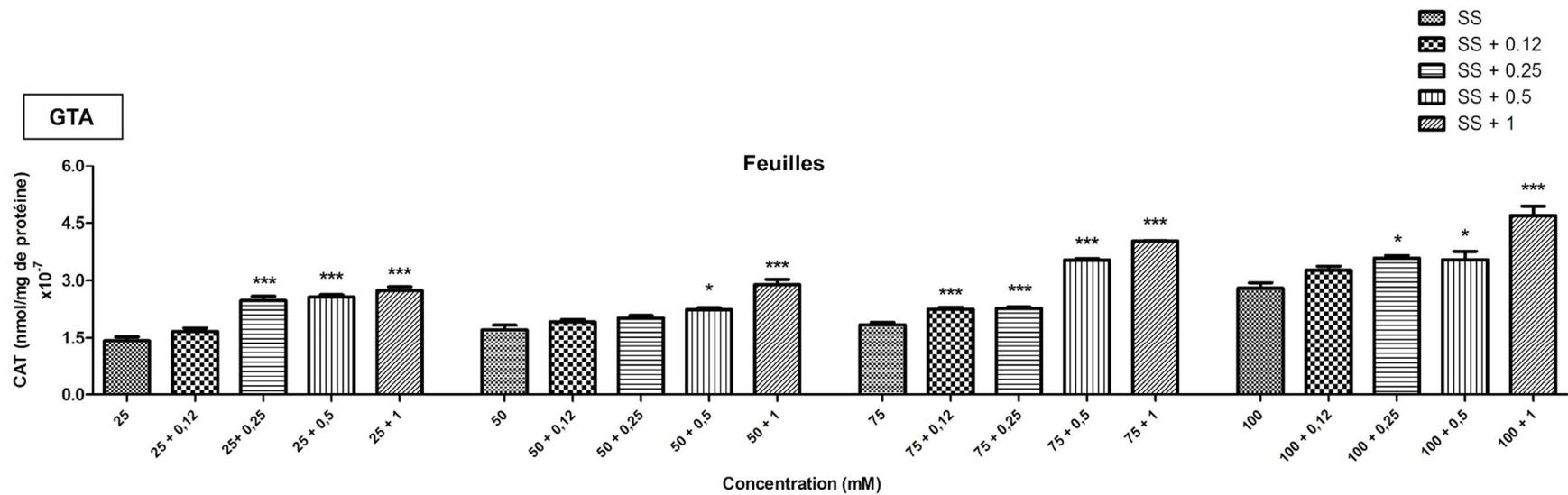


Figure 65. Effet de Zinc sur l'activité de catalase dans les feuilles de la variété *GTA dur* soumise au stress salin

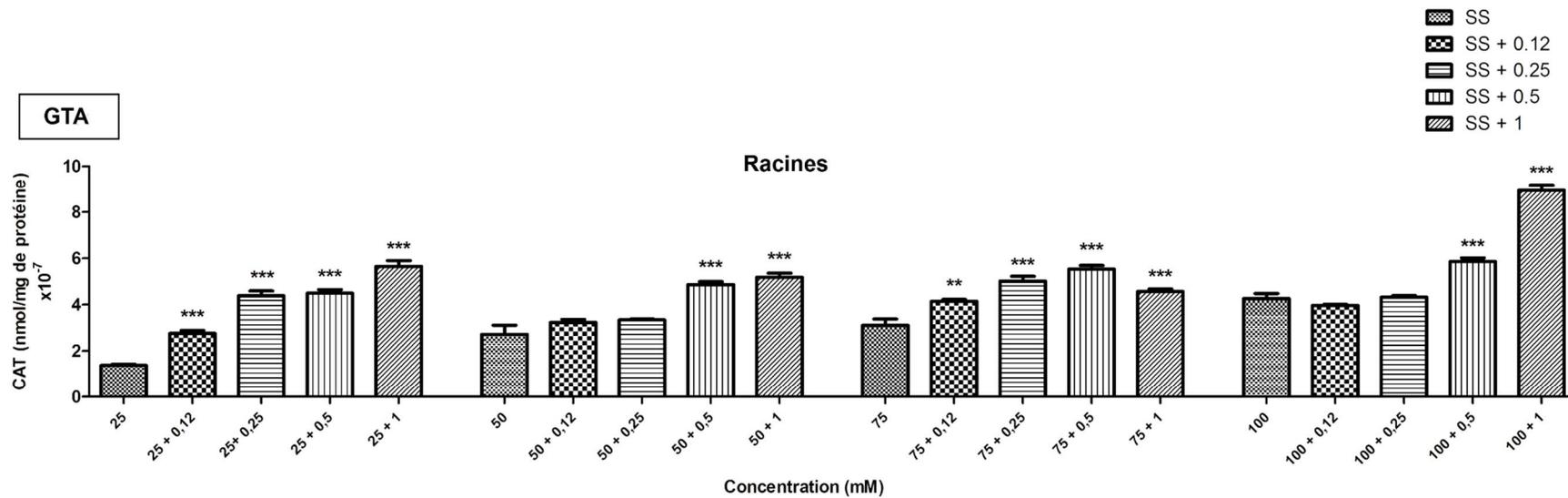


Figure 64. Effet de Zinc sur l'activité de catalase dans les racines de la variété *GTA dur* soumise au stress salin

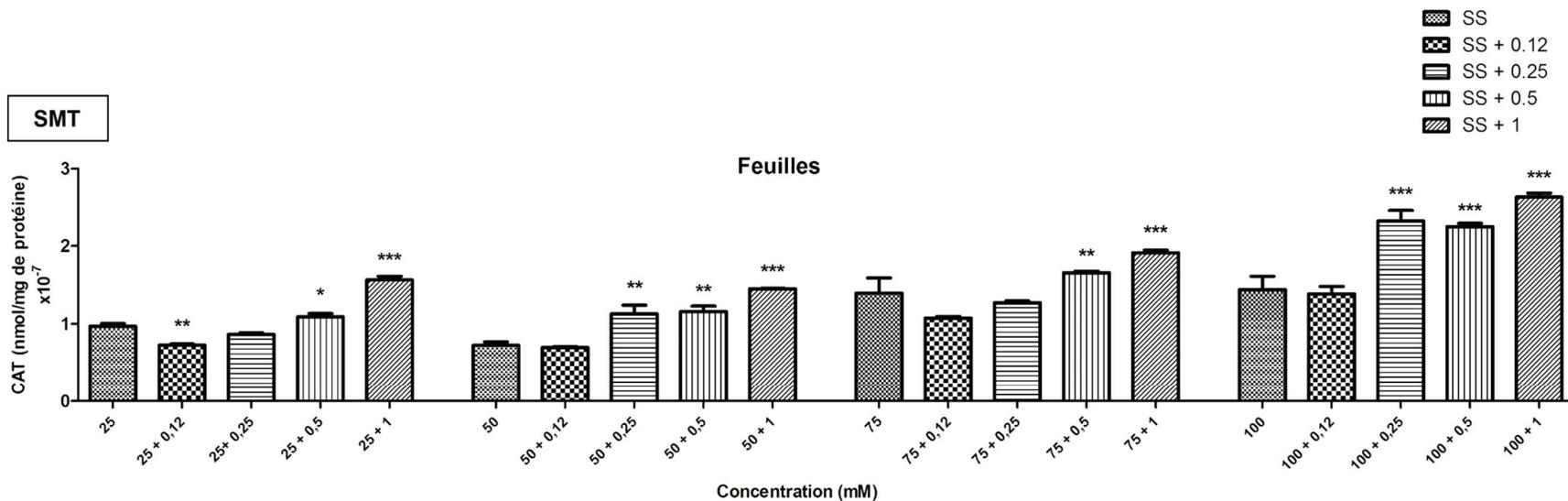


Figure 67. Effet de Zinc sur l'activité de catalase dans les feuilles de la variété *Sémito* soumise au stress salin

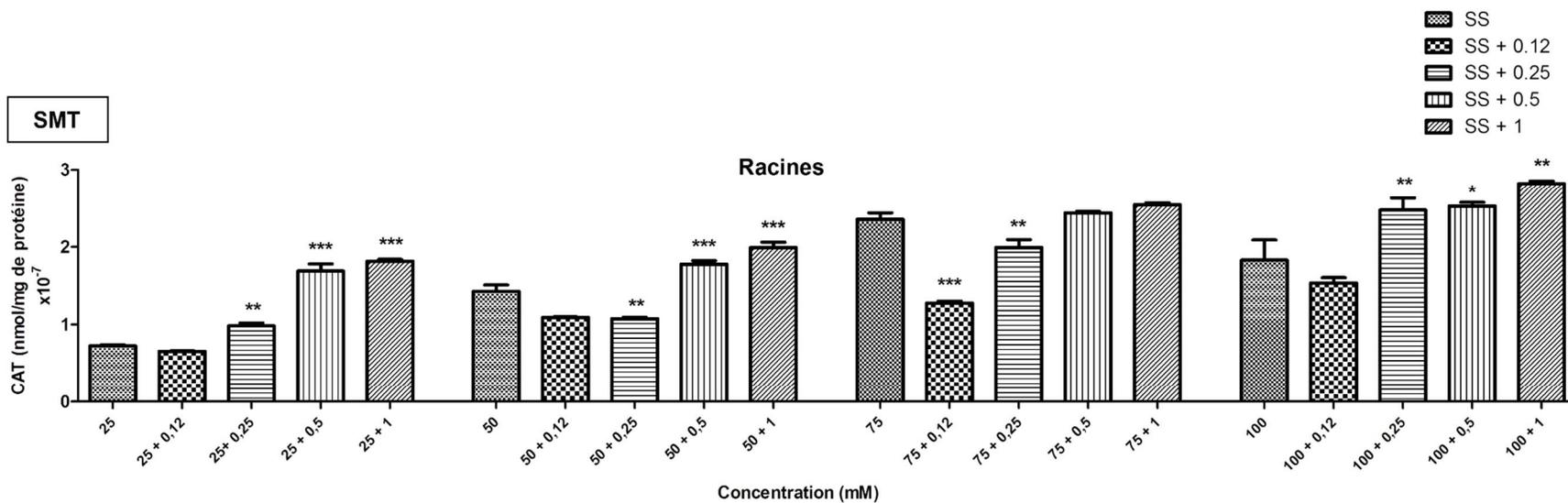


Figure 66. Effet de Zinc sur l'activité de catalase dans les racines de la variété *Sémito* soumise au stress salin