

EFFET DE LA CONTAMINATION DE LA LITIÈRE PAR LES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES SUR LA SURVIE ET LA CROISSANCE D'*ARMADILLIDIUM VULGARE* (CRUSTACE, ISOPODE)

Hajer KHEMAISSIA (*), N. LOUATI et K. NASRI-AMMAR

Université de Tunis El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, Laboratoire de Diversité, Gestion et Conservation des
Systèmes Biologiques, LR18ES06, Tunis, Tunisie

* hajer_kh@yahoo.fr

ملخص

تأثير تلوث الغذاء بالعناصر المعدنية على بقاء ونمو *Armadillidium vulgare* : من أجل تسليط الضوء على تأثير المجموعة على الاستجابات الفسيولوجية ، وهي البقاء على قيد الحياة ومعدل الوفيات والنمو لدى *Armadillidium vulgare* في مواجهة تلوث الغذاء بعنصرين من العناصر المعدنية النزرة ، الكاديوم (Cd) والزنك (Zn) ، تم تحقيق شرطين تجريبيين: فرد واحد أو مجموعة من 10 أفراد. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها معدل وفيات منخفض للأفراد مما يجعل من الممكن تأكيد مقاومة هذا النوع في مواجهة العناصر النزرة المعدنية المطبقة. لقد لاحظنا أيضًا أن الأفراد يميلون إلى استهلاك الغذاء الملوث بالزنك وكذلك عن طريق خلط الكاديوم / الزنك وتجنب الغذاء الملوث بالكاديوم ، وهذا السلوك يؤدي إلى فقد الوزن أثناء الأسابيع الأولى من التعرض لأدنى تركيز. **الكلمات المفتاحية:** قشريات، تلوث، أثر معدني، تجنب، نمو.

RÉSUMÉ

Afin de mettre en évidence l'effet de groupe sur les réponses physiologiques à savoir survie, mortalité et croissance d'*Armadillidium vulgare* face à la contamination de la litière par deux éléments traces métalliques, le cadmium (Cd) et le zinc (Zn), deux conditions expérimentales ont été réalisées : individu seul ou groupe de 10 individus.

Les résultats obtenus ont montré un taux de mortalité faible des individus maintenus permettant ainsi de confirmer la résistance de cette espèce vis-à-vis des ETM appliqués. Nous avons remarqué également que les individus ont tendance à consommer la litière contaminée par le Zn ainsi que par le mélange du Cd/Zn et évitent la litière contaminée par le Cd. Ce comportement d'évitement se traduit par une perte de masse durant les deux premières semaines d'exposition à la concentration la plus faible.

Mots clés : Crustacé terrestre, contamination, ETM, évitement, croissance.

ABSTRACT

Effect of litter contamination by trace metal elements on survival and growth of *Armadillidium vulgare* (Crustacea, Isopoda): In order to highlight the physiological responses of *Armadillidium vulgare* to litter contamination by cadmium (Cd) and zinc (Zn), two experimental conditions are performed: single individual or groups of 10 individuals.

The obtained results showed a weak mortality of individuals kept in groups confirming thus the resistance of this species to the applied trace elements. We also noticed that individuals tend to consume litter contaminated with Zn as well as the mixture Zn/Cd and avoid the litter contaminated by Cd. This avoidance behavior results in a loss of mass during the two firsts weeks of exposure to the lowest concentration.

Keywords: Terrestrial crustacean, contamination, trace element, avoidance, growth.

INTRODUCTION

Dans les écosystèmes terrestres, les invertébrés du sol, plus particulièrement les Arthropodes, occupent la plus grande diversité des niches et des micro-habitats (Wolter, 2001 ; Herrick, 2002). Parmi ces Arthropodes, les isopodes terrestres tiennent une place particulière au sein de la classe des Crustacés. Ils jouent un rôle majeur dans l'écologie du sol. Ils participent à la régularisation de l'activité microbienne et servent ainsi à l'aération du sol et au renouvellement des éléments nutritifs (Zimmer *et al.*,

2003). Ils contribuent également à la dégradation de la matière organique (Quadros et Araujo, 2008).

Ces organismes, en contact direct avec les différents horizons du sol, sont exposés à la contamination (Kammenga *et al.*, 2000). Récemment, ils sont devenus des modèles préférés pour les études écotoxicologiques (Agodi *et al.*, 2015 ; Vijver *et al.*, 2005) vu leur rôle crucial dans les premières étapes de restauration des écosystèmes pollués ou endommagés (Frouz *et al.*, 2006, 2007). Ils sont ainsi considérés comme des indicateurs biologiques fiables de la biodiversité des sols et du stress environnemental (Paoletti et Hassall, 1999).

Puisque la litière constitue la principale source de nourriture pour les isopodes terrestres, et que ces

organismes représentent un maillon important du réseau trophique servant à l'alimentation d'autres animaux comme les araignées et les oiseaux, les chercheurs se sont intéressés à l'évaluation de la biodisponibilité des contaminants métalliques dans l'environnement et via les chaînes trophiques (Hopkin, 1989, 1990; Hopkin et Martin, 1985; Hopkin *et al.*, 1993). Il a été démontré que la croissance et la mortalité des isopodes terrestres sont fortement influencées par la quantité et la qualité des ressources alimentaires (Kautz *et al.*, 2000, Zimmer et Topp, 1997, 2000). Ces auteurs ont également montré chez *Porcellio scaber* nourri avec des litières acides présentant une faible activité microbienne, une diminution de la reproduction tels que nombre et taille des juvéniles, la durée de la période de gestation.

Afin d'apporter des informations complémentaires sur les effets induits par les éléments traces sur ces organismes, nous nous proposons dans ce présent travail d'étudier, sous conditions contrôlées du laboratoire, les réponses biologique et physiologique d'*Armadillidium vulgare*, espèce anthropophile colonisant les milieux les plus variés, face à la contamination de la litière. Nous testerons les hypothèses suivantes : (1) la réponse biologique de ces organismes (survie, croissance et/ou variation de poids) serait-elle différente en fonction des conditions expérimentales ? (2) Ces organismes seraient-ils capables de détecter et d'éviter ces éléments traces?

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude et protocoles expérimentaux

La collecte est réalisée à la main à la Faculté des Science de Tunis (N 36°49'57" E 10°08'48"). Des feuilles d'*Eucalyptus* collectées au niveau du même site sont contaminées par les métaux lourds puis utilisées comme nourriture pour les animaux. Deux éléments traces sont choisis : le cadmium (Cd) et le zinc (Zn), et sont appliqués seuls ou en synergie (Cd/Zn).

Des solutions mères de 10ml (1g/L) de Chlorure de Cadmium (CdCl₂) et de Chlorure de Zinc (ZnCl₂) sont préparées pour la contamination des feuilles (Kohler *et al.*, 1996). Pour chaque métal deux concentrations sont choisies : Cd (C1 = 100, C2 = 200 mg/L), Zn (C1 = 1500, C2 = 2500 mg/L) et Cd/Zn (C1 = 100/1500, C2 = 200/2500 mg/L). Nous avons choisi de tester la réponse d'*A. vulgare* face à la contamination de la litière par les ETM sous les conditions suivantes : (1) individu mis seul et (2) 10 individus maintenus en groupe.

- Individu seul : Pour chaque métal (Cd, Zn et Cd/Zn) et pour chaque concentration (C1 et C2), 5 boîtes en plastiques (6,5 * 3,7 cm) contenant chacune 1g de litière contaminée sont préparées. Un lot

témoin (5 boîtes) est également préparé ; il s'agit d'une litière humidifiée uniquement avec de l'eau bidistillée.

- Groupe de 10 individus : Six boîtes en plastiques (7 * 5,8 cm) contenant chacune 5g de litière contaminée par Cd C1, Cd C2, Zn C1, Zn C2, Cd/Zn C1 et Cd/Zn C2 sont préparées. Un lot témoin est également préparé pour chaque espèce.

Toutes les boîtes ainsi préparées sont maintenues au laboratoire sous une photopériode de type jour long (LD 16 : 8) et une température constante (environ 20 °C). Les spécimens sont pesés à la date de la mise en expérience (J0) à l'aide d'une balance de précision (Radwag WTB 200). Leur masse est déterminée toutes les semaines durant 21 jours (à J7, J14 et J21). La mortalité est également notée durant l'expérimentation. Pour mieux comprendre la réponse des individus (gain ou perte de masse) à chaque semaine, nous avons calculé le taux d'accroissement entre les semaines selon la formule suivante :

$$\text{Taux d'Accroissement (\%)} = [(m_{J1} - m_{J0}) / m_{J0}] * 100$$

Avec : m_{J0} : masse à la date J0 et m_{J1} : masse à la date J+7.

Analyse statistique

Le test non paramétrique de Wilcoxon est utilisé pour comparer les masses pondérales entre les 2 concentrations pour chaque métal utilisé.

RESULTATS

Effet des éléments traces métalliques sur la mortalité des individus d'*A. vulgare*

Quelles que soient les conditions expérimentales, aucune mortalité n'est observée chez les spécimens d'*A. vulgare* maintenus individuellement depuis la date de la mise en expérience jusqu'à la fin. De même, aucune mortalité n'est observée chez le lot témoin.

Chez les individus témoins mis en groupe (Figure 1), 10% de mortalité est notée au bout de la 2^{ème} et la 3^{ème} semaine d'expérimentation. Ce même pourcentage est observé chez les individus exposées à la Zn C2 depuis la 1^{ère} semaine jusqu'à la fin de l'expérimentation. L'application des deux métaux ensemble n'a induit aucune mortalité avec la concentration C1 ; alors qu'avec une concentration C2 ce taux est élevé à 20% depuis la première semaine d'exposition.

Effet des éléments traces métalliques sur la croissance pondérale des individus d'*A. vulgare* *Individu seul*

La masse pondérale des individus du lot témoin ainsi que ceux nourris avec la litière contaminée subit des fluctuations d'une semaine à une autre. Entre J0 et

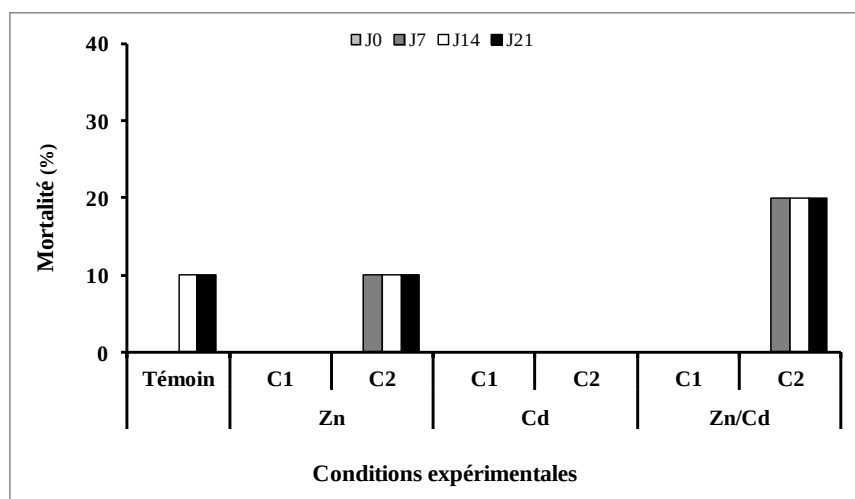


Figure 1 : Mortalité des spécimens d'*Armadillidium vulgare* maintenus en groupe. J0, J7, J14 et J21 : nombre de jours après l'exposition ; C1 et C2 : concentrations du métal

J21, les masses corporelles minimales varient entre 80 et 83, 72 et 79, 65 et 69, 106 et 107, 67 et 69 et entre 63 et 67 mg lorsque la litière est contaminée par le Cd C1, Cd C2, Zn C1, Zn C2, Zn/Cd C1 et Zn/Cd C2 respectivement. Cependant, les masses corporelles maximales correspondantes aux conditions de contamination susmentionnées oscillent entre 172 et 178, 147 et 159, 152 et 171, 162 et 171, 107 et 114 et entre 141 et 155 mg respectivement.

Etant donné les fluctuations de masse observées entre les semaines, nous avons choisi de comparer les

masses moyennes entre J0 et J21 afin de déterminer le gain ou la perte en masse suite à la contamination. Les résultats obtenus montrent que, quel que soit le métal et quelle que soit la concentration, un gain en masse est observée (Tableau 1). Il en est de même pour le lot témoin. L'analyse statistique montre une différence significative pour Zn ($p = 0,028$) et pour Zn/Cd ($p = 0,006$) tandis que pour le Cd, la différence de masse entre les 2 concentrations nominales n'est pas significative ($p = 0,179$).

Tableau 1 : Variation de la masse corporelle moyenne $\pm$ écart type (mg) en fonction des concentrations nominales des métaux (Cd, Zn et Zn/Cd) durant la période d'exposition des spécimens d'*Armadillidium vulgare* maintenus isolés.

		J 0	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3
Zn	Témoin	111,8 $\pm$ 17,5	112,6 $\pm$ 20,4	113,2 $\pm$ 16,8	113,8 $\pm$ 16,5
	C1	102,2 $\pm$ 41,1	107,6 $\pm$ 47,4	107 $\pm$ 47,5	109,2 $\pm$ 43,7
	C2	129 $\pm$ 24,4	135,8 $\pm$ 21,1	134,6 $\pm$ 26,2	133,4 $\pm$ 27,1
Cd	C1	128,8 $\pm$ 38,2	136,8 $\pm$ 39,1	136,6 $\pm$ 39,8	136,4 $\pm$ 40,6
	C2	113,2 $\pm$ 35,3	117,8 $\pm$ 38,2	116,4 $\pm$ 35,7	119,4 $\pm$ 36,8
Zn/Cd	C1	87,4 $\pm$ 18,4	90,2 $\pm$ 17,6	92 $\pm$ 26,1	89 $\pm$ 21,4
	C2	107,4 $\pm$ 40,2	117 $\pm$ 34,5	111,4 $\pm$ 43	114,2 $\pm$ 41,6

Le calcul du taux d'accroissement entre les semaines montre que quels que soient le métal et la concentration, un gain en masse est observé durant la 1^{ère} semaine d'exposition (Figure 2). Cependant, une perte de masse est notée au bout de la 2^{ème} semaine, exception faite pour le Zn/Cd C1. Cette perte est maintenue jusqu'à la fin de l'expérience pour le Zn C2, Cd C1 et Zn/Cd C1.

Individus maintenus en groupe

La masse moyenne des individus exposés aux différentes concentrations nominales de chaque ETM montre des fluctuations d'une semaine à une autre (Tableau II). Depuis la date de la mise en expérience (J0) jusqu'à la fin (J21), une croissance en masse est observée quel que soit le métal et quelle que soit la concentration. Les différences en masses entre les 2 concentrations nominales pour chaque métal sont

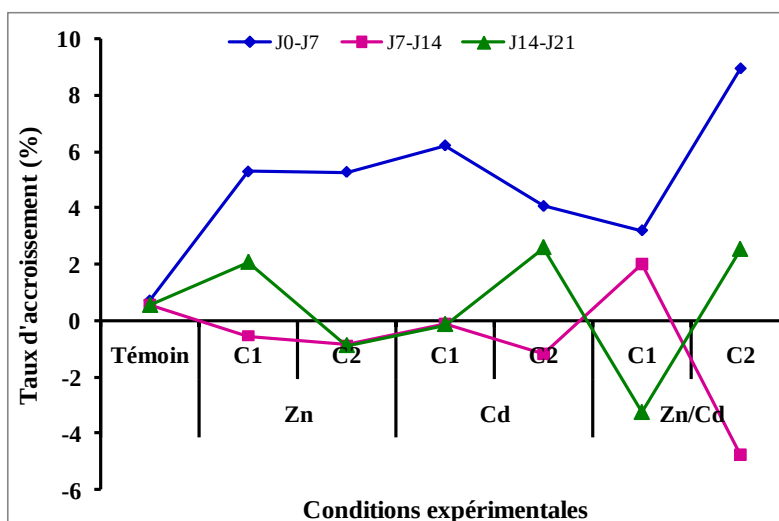


Figure 2 : Variation hebdomadaire du taux d'accroissement (%) chez les spécimens d'*Armadillidium vulgare* exposés individuellement à une litière contaminée par le Cd, Zn et le Zn/Cd. J0, J7, J14 et J21 : nombre de jours d'exposition.

Tableau II : Variation de la masse corporelle moyenne $\pm$ écart type (mg) en fonction des concentrations nominales des métaux (Cd, Zn et Zn/Cd) durant la période d'exposition des individus d'*Armadillidium vulgare* maintenus en groupe.

		J 0	Semaine 1	Semaine2	Semaine 3
	Témoins	81,7 $\pm$ 28,5	81 $\pm$ 29,8	86,3 $\pm$ 27,4	86,8 $\pm$ 25,4
Zn	C1	76,8 $\pm$ 41,5	78,4 $\pm$ 42,1	80,7 $\pm$ 39,9	80,9 $\pm$ 38,9
	C2	54,9 $\pm$ 30	62,6 $\pm$ 29,1	63,6 $\pm$ 25,5	61,9 $\pm$ 28,3
Cd	C1	91,4 $\pm$ 41	90,1 $\pm$ 38,2	89,8 $\pm$ 36,5	92,2 $\pm$ 34,9
	C2	55,1 $\pm$ 34,1	56,4 $\pm$ 32,6	59 $\pm$ 36,6	59 $\pm$ 33,2
Zn/Cd	C1	52,1 $\pm$ 32,4	51,9 $\pm$ 30,7	59 $\pm$ 37,3	53,7 $\pm$ 31
	C2	32,6 $\pm$ 11,8	35 $\pm$ 9,1	36,1 $\pm$ 13,3	38,5 $\pm$ 11,2

hautement significatives ($p < 0,0001$; $p = 0,018$ et $p = 0,013$ respectivement pour le Cd, Zn et Zn/Cd).

L'analyse du taux d'accroissement montre un gain en masse important durant la 1^{ère} semaine d'exposition

au Zn C2 (14%) (Figure 3). Ce taux est également important lorsque les deux ET sont associés.

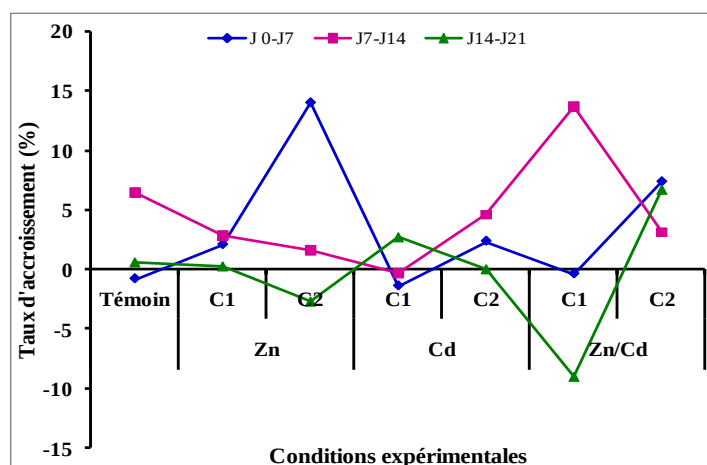


Figure 3 : Variation hebdomadaire du taux d'accroissement (%) chez les spécimens d'*Armadillidium vulgare* maintenus en groupe et exposés à une litière contaminée par le Cd, Zn et le Zn/Cd. J0, J7, J14 et J21 : nombre de jours d'exposition.

DISCUSSION

Dans le présent travail nous nous sommes intéressés à l'étude des effets de la contamination de la litière par deux éléments traces à savoir le cadmium (Cd) et le zinc (Zn) chez l'isopode terrestre, *Armadillidium vulgare*.

Les résultats obtenus ont montré des taux de mortalité faibles aussi bien chez les individus isolés que ceux maintenus en groupe. Ces résultats suggèrent que la forme volvationnelle du corps d'*A. vulgare* pourrait expliquer la capacité des spécimens de cette espèce à faire face à des situations stressantes, en l'occurrence la contamination de la litière. Cette résistance face aux contaminants a été également observée chez d'autres groupes d'Arthropodes. Chez les lombrics, une mortalité non significative a été notée même chez les individus maintenus sous la concentration la plus élevée de Cd (Morgan et Morgan, 1992). Cet auteur suggère que c'est la présence des protéines de métallothionéine qui permettraient la détoxification du Cd présent en excès. En revanche, nous avons montré que le taux de mortalité le plus élevé est observé vers la fin de l'expérimentation (21 jours). Ce résultat a été également observé chez les individus d'*Orchestia mediterranea* soumis aux mêmes conditions expérimentales (Jelassi *et al.*, 2019). Zidar *et al.* (2004) ont confirmé qu'une durée d'exposition de 14 jours pourrait être suffisante pour révéler une réponse physiologique dans ce type d'expérience. Ces auteurs ont montré que les isopodes terrestres exposés à une litière contaminée, atteignent rapidement leur charge corporelle critique et par conséquent l'augmentation de la durée d'exposition peut conduire à des taux de mortalité encore plus élevés.

Concernant l'étude de la variation de la masse pondérale en fonction de la concentration et du type de métal, nous avons remarqué une nette différence de masse entre le lot témoin et les lots contaminés confirmant ainsi notre hypothèse de départ. Quelles que soient les conditions expérimentales, un gain en masse entre le début (J0) et la fin de l'expérimentation (J21) est observé contrairement à la plupart des isopodes terrestres à savoir : *Porcellio scaber*, *Porcellio dilatatus*, *Oniscus asellus* (Godet *et al.*, 2011 ; Odendaal et Reineke, 1999, 2003 ; Calhã *et al.*, 2006 ; Witzel, 2000 ; Jones et Hopkin, 1998) ainsi qu'aux Amphipodes talitridés tels que *Orchestia montagui* et *O. mediterranea* (Jelassi *et al.*, 2018, 2019) ou une perte en masse a été signalée suite à l'exposition au Cd considéré comme un élément non essentiel. Ces auteurs ont expliqué ce résultat par le fait que les animaux dépensent plus d'énergie pour la détoxification du Cd en excès (Calhã *et al.*, 2011). Par ailleurs, la capacité des individus d'*A. vulgare* à croître malgré la contamination par ce métal témoigne leur tolérance vis-à-vis de la contamination.

Cependant, une perte en masse est enregistrée une semaine après l'exposition à la litière contaminée par le Cd. Ce résultat pourrait être expliqué par l'existence d'un comportement d'évitement vis-à-vis de ce métal. Ce comportement est également noté chez les individus de *Porcellio laevis* (Odendaal et Reineke, 1999 ; Ghemari *et al.*, 2017). En effet, Dallinger (1977), Zidar *et al.* (1998) ainsi que Odendaal et Reineke (1998) ont montré que les isopodes terrestres ont la faculté d'éviter une nourriture contaminée par les éléments traces métalliques grâce à la présence de chémorécepteurs situés sur leurs antennes et leurs flagelles et qui sont capables de détecter les contaminants chimiques (Zimmer *et al.*, 1996 ; Godet, 2010).

Cependant, une croissance en masse est notée durant les deux premières semaines d'exposition au Zn ; les individus ont tendance à consommer cet élément essentiel seul ou associé avec le Cd dans le but d'assurer leurs fonctions biologiques essentielles (Epstein et Bloom, 2004 ; Nannoni *et al.*, 2014). De ce fait, plusieurs espèces sont considérées comme macro-concentratrices de Zn telles que les espèces : *Porcellionides pruinosus* provenant de la zone industrielle de Gabès-Ghannouch (Ghemari *et al.*, 2019), *P. scaber* (Dallinger, 1993), *O. mediterranea* (Jelassi *et al.*, 2019) et *O. montagui* (Jelassi *et al.*, 2018). En effet, le Zn intervient dans les voies métaboliques spécifiques ainsi qu'aux processus de fabrication de l'hémocyanine (Bat, 2005). Lorsqu'ils sont administrés simultanément (Zn/Cd), Odendaal et Reineke (1999) et Ghemari (2018) ont montré que la présence du Zn tend à neutraliser l'effet défavorable du Cd chez *P. laevis* entraînant ainsi un gain en masse. En outre, les isopodes terrestres ont des mécanismes de régulation permettant le maintien de leur teneur interne en Zn à un certain niveau sans provoquer la toxicité ; ils sont capables de stocker les métaux en excès sous forme de granule au niveau de l'hépatopancréas (Köhler *et al.*, 1996), de réaliser les phénomènes d'osmorégulation (Rainbow, 2002) et d'élimination (Rainbow et Kwan, 1995).

BIBLIOGRAPHIE

- Agodi A., Oliveri Conti G., Barchitta M., Quattrocchi A., Lombardo B.M., Montesanto G., Messina G., Fiore M., Ferrante M., 2015. - Validation of *Armadillo officinalis* Dumeril, 1816 (Crustacea, Isopoda, Oniscidea) as a bioindicator: In vivo study of air benzene exposure. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 114: 171-178.
- Bat L., 2005. - A Review of Sediment Toxicity Bioassays Using the Amphipods and Polychaetes. *Turk. J. Fish. Aquat. Sc.* 5: 119-139.

- Calh a C.F., Soares A.M., Mann R.M. 2006. - Cadmium assimilation in the terrestrial isopod, *Porcellio dilatatus* - Is trophic transfer important? *Sci. Total Environ.* 371: 884-888.
- Calh a C.F., Soares A.M., Loureiro S., 2011. - Effects on survival and reproduction of *Porcellio dilatatus* exposed to different Cd species. *Ecotoxicology* 21: 48-55.
- Dallinger R., 1977. - The flow of copper through a terrestrial food chain. Part III. Selection of an optimum copper diet in isopods. *Oecologia*. 30: 273-276.
- Epstein E., Bloom A.J., 2004. - Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sinauer, Sunderland.
- Frouz J., Elhottova D., Kuraz V., Sourkova M., 2006. - Effects of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed post mining sites: Results of a field microcosm experiment. *Appl. Soil Ecol.* 33: 308-320.
- Frouz J., Vaclav P.I., Tajovsky K., 2007. - The effect of earthworms and other saprophagous macrofauna on soil microstructure in reclaimed and un-reclaimed post-mining sites in central Europe. *Eur. J. Soil Biol.* 43: 184-189.
- Ghemari C., Waterlot C., Ayari A., Leclercq J., Francis D., Nasri-Ammar K., 2017. - Assessment of heavy metals in soil and terrestrial isopod *Porcellio laevis* in Tunisian industrialized areas. *Environ. Earth Sci.* 76: 623.
- Ghemari C., 2018. - Ecophysiologie de la reproduction et  cotoxicologie de l'espèce *Porcellio laevis* (Crustac , Isopode). Thèse de Doctorat, Universit  de Tunis, 253p.
- Ghemari C., Waterlot C., Ayari A., Douay F., Nasri-Ammar K., 2019. - Bioaccumulation of heavy metals in the terrestrial isopod *Porcellionides pruinosus* in the vicinity of Gabes-Ghannouch industrial complex. *Hum. Ecol. Risk Assess.* <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1564621>.
- Godet J.P., 2010. Intérêt des isopodes terrestres dans l'évaluation de la qualité des sols : Recherche de paramètres indicateurs de la pollution par des éléments traces métalliques et contribution   la mise au point d'un outil écotoxicologique de terrain. Thèse de Doctorat, Université de Lille, 251p.
- Godet J.P., Demuyne S., Waterlot C., Lemi re S., Souty-Grosset C., Scheifler R., Douay F., Leprêtre A., Pruvo C., 2011. - Growth and metal accumulation in *Porcellio scaber* exposed to poplar litter from Cd, Pb and Zn contaminated sites. *Ecotox. Environ. Saf.* 74: 451-458.
- Hopkin S.P., 1989. - Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates. London: Elsevier, pp.366.
- Hopkin S.P., Martin M.H., 1985. - Assimilation of zinc, cadmium, lead, copper and iron by the spider *Dysdera crocata*, a predator of woodlice. *B. Environ. Contam. Tox.* 34: 183-7.
- Hopkin S.P., Jones D.T., Dietrich D., 1993. - The isopod *Porcellio scaber* as a monitor of the bioavailability of metals in terrestrial ecosystems: Towards a global "woodlouse watch" scheme. *Sci. Total Environ.* 357-365.
- Jelassi R., Ghemari C., Khemaissia H., Raimond M., Souty-Grosset C., Nasri-Ammar K., 2019. - An assessment of copper, zinc and cadmium contamination and their ecotoxicological effects in *Orchestia mediterranea* Costa, 1853 (Amphipoda, Talitridae). *Chem. Ecol.* 35: 361-378. <https://doi.org/10.1080/02757540.2018.1554062>.
- Jelassi R., Khemaissia H., Ghemari C., Raimond M., Souty-Grosset C., Nasri-Ammar K., 2018. - Ecotoxicological effects of trace element contamination in talitrid amphipod *Orchestia montagui* Audouin, 1826. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26: 5577-5587. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3974-y>.
- Jones D.T., Hopkin S.P., 1998. - Reduced survival and body size in the terrestrial isopod *Porcellio scaber* from a metal-polluted environment. *Environ. Pollut.* 99: 215-223.
- Kammenga J.E., Dallinger M.H., Donker M.H., Kohler H.R., Simonsen V., Triebkorn R., Weeks J.M., 2000. - Biomarkers in terrestrial invertebrates for ecotoxicological soil risk assessment. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 164: 93-147.1
- K hler H.R., H ttenrauch K., Berkus M., Gr ff S., Alberti G., 1996. - Cellular hepatopancreatic reactions in *Porcellio scaber* (Isopoda) as biomarkers for the evaluation of heavy metal toxicity in soils. *Appl. Soil Ecol.* 3: 1-15.
- Morgan J.E., Morgan A.J., 1992. - Heavy metal concentrations in the tissues, ingesta and faeces of ecophysiologically different earthworm species. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1691-1697.
- Nannoni F., Mazzeo R., Protano G., Santolini R., 2014. - Bioaccumulation of heavy elements by *Armadillidium vulgare* (Crustacea, Isopoda) exposed to fallout of a municipal solid waste landfill. *Ecol. Indic.* 49: 24-31.
- Paoletti M.G., Hassal M., 1999. - Woodlice (Isopoda: Oniscidea): Their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agr. Ecosys. Environ.* 74: 157-165.
- Odendaal J.P., Reinecke A.J., 1998. - The effect of high lead concentrations on the mortality, mass

- and behavior of *Porcellio scaber* Latr. (Crustacea, Isopoda) in laboratory tests. *S. Afr. J. Zool.* 33: 143-146.
- Odendaal J.P., Reinecke A.J., 1999. - The sublethal effects and accumulation of cadmium in the terrestrial isopod *Porcellio laevis* Latr. (Crustacea, Isopoda). *Arch. Environ. Con. Tox.* 36: 64-69.
- Odendaal J.P., Reinecke A.J., 2003. Quantifying histopathological alterations in the hepatopancreas of the woodlouse *Porcellio laevis* (Isopoda) as a biomarker of cadmium exposure. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 56: 319-325.
- Quadros A.F., Araujo P.B., 2008. - An assemblage of terrestrial isopods (Crustacea) in southern Brazil and their contribution to leaf litter processing. *Rev. Bra. Zool.* 25: 58- 66.
- Rainbow P.S., Kwan M.K.H., 1995. - Physiological responses and the uptake of cadmium and zinc by the amphipod crustacean *Orchesto gammarellus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 127: 87-102.
- Rainbow P.S., 2002. - Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what? *Environ. Pollut.* 120: 497-507.
- Vijver M.G., Wolterbeek H.T., Vink J.P.M., Van Gestel C.A.M., 2005. - Surface adsorption of metals onto the earthworm *Lumbricus rubellus* and the isopod *Porcellio scaber* is negligible compared to absorption in the body. *Sci. Total Environ.* 340: 271-280.
- Witzel B., 2000. - The influence of zinc on the up take and loss of cadmium and lead in the woodlouse, *Porcellio scaber* (Isopoda, Oniscidea). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 47: 43-53.
- Wolter V., 2001. - Biodiversity of animals its function. *Eur. J. Soil Biol.* 37: 21-227.
- Zidar P., Kaschl U., Drobne D., Bozic J., Strus J., 1998. - Behavioural response in paired food choice experiments with *Oniscus asellus* (Crustacea, Isopoda) as an indicator of different food quality. *Arh. Hig. Rada Toksiko.* 54: 177-181.
- Zidar P., Drobne D., Strus J., Van Gestel C.A.M., Donker M., 2004. - Food selection as a mean of Cu intake reduction in the terrestrial isopod *Porcellio scaber* (Crustacea, Isopoda). *Appl. Soil Ecol.* 25: 257-265.
- Zimmer M., Kautz G., Topp W., 1996. - Olfaction in terrestrial isopods (Crustacea: Oniscidea): responses of *Porcellio scaber* to the odour of litter. *Eur. J. Soil Biol.* 32: 141-147.
- Zimmer M., Topp W., 1997. - Does leaf litter quality influence population parameters of the common woodlice *Porcellio scaber* (Crustacea: Isopoda)? *Biol. Fert. Soils.* 24: 435-441.
- Zimmer M., Topp W., 2000. - Species-specific utilization of food sources by sympatric woodlice (Isopoda: Oniscidea). *J. Animal Ecol.* 69: 1071-1082.
- Zimmer M., Kautz G., Topp W., 2003. - Leaf litter-colonizing microbiota: supplementary food source or indicator of food quality for *Porcellio scaber* (Isopoda: Oniscidea). *Eur. J. Soil Biol.* 39: 209-216.