

DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DES MYRIAPODES DANS UN SITE ANTHROPISE ET UN SITE NATUREL DU NORD-EST DE L'ALGERIE

Kahina HOUD-CHAKER¹, Ouided MAAMCHA², Tarek DAAS²,
Amel BENAMARA² & Patrick SCAPS^{3*}

SUMMARY. — *Spatio-temporal distribution of Myriapods in an anthropized site and a natural site in north-eastern Algeria.* — Chilopoda and Diplopoda, were studied in two areas located in north-eastern Algeria (anthropized site of Annaba and natural site of El Tarf). Pitfall traps were used to collect individuals during one year (June 2006 to May 2007). In total, 901 Chilopoda and 411 Diplopoda were collected. Spatio-temporal diversities were evaluated for the two taxa. Our results suggest that the soil physico-chemical edaphic parameters such as the quantity of alluvium, the proportion of organic matter or the pH but also climatic parameters such as the amount of precipitation and the relative humidity of air have a significant influence on the abundance and spatial distribution of Chilopoda and Diplopoda with a clear difference of behaviour between the two taxa. The estimation of the intensity of perturbation due to human activities influencing the ecological diversity of the two taxonomic groups studied indicated that Annaba area, which is more anthropized than that of El Tarf, loosed in terms of Chilopoda and Diplopoda diversity.

RÉSUMÉ. — Les Chilopodes et les Diplopodes présents au niveau de deux sites localisés dans le nord-est de l'Algérie (site anthropisé d'Annaba et site naturel d'El Tarf) ont été étudiés par piégeage durant une année (juin 2006 à mai 2007). Au total 901 Chilopodes et 411 Diplopodes ont été récoltés. Les diversités spatio-temporelles des deux taxons ont été évaluées. Nos résultats suggèrent que les paramètres physico-chimiques édaphiques tels que le taux de limon, le pourcentage de matière organique ou le pH mais aussi les paramètres climatiques tels que le volume de précipitation et le taux d'hygrométrie qui en résulte ont une influence significative sur l'abondance et la répartition spatiale des Chilopodes et des Diplopodes avec une nette différence de comportement entre les deux taxons. L'estimation de l'intensité des perturbations introduites par l'homme influençant la diversité écologique des deux taxons indique que la région d'Annaba, qui est plus anthropisée que celle d'El Tarf, subit une perte en matière de diversité concernant à la fois les Chilopodes et les Diplopodes.

En sus des variations climatiques, les activités humaines (exploitation des terres, déforestation, urbanisation, pollutions industrielles, etc.) jouent depuis des siècles un rôle critique dans l'évolution de la biodiversité et la dynamique des paysages méditerranéens (McCracken *et al.*, 1995). Aujourd'hui, ces facteurs de perturbation menacent l'équilibre écologique des écosystèmes méditerranéens (De Belair, 1990 ; Aronson *et al.*, 1998 ; Errol & Benhouhou, 2007).

Le sol est un écosystème caractérisé par une très forte abondance et une grande variété d'organismes possédant tous des caractéristiques génétiques uniques et appartenant à des

¹ Département d'agronomie, Centre universitaire d'El Tarf, El Tarf, Algérie

² Laboratoire de Biologie Animale Appliquée, Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Badji Mokhtar, 23 000 Annaba, Algérie

^{3*} auteur pour la correspondance : Laboratoire de Biologie Animale, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq Cédex, France. E-mail : patrick.scaps@univ-lille1.fr

niveaux trophiques différents ; ces organismes remplissent chacun des fonctions écologiques essentielles (Ghilarov, 1977 ; Giller, 1996). La richesse et l'abondance de la pédofaune sont contrôlées par des facteurs régionaux tels que les conditions climatiques, l'altitude, le type de végétation (Toutain, 1987 ; Bernier, 1996 ; Grossi & Brun, 1997 ; Materna, 2004), ainsi que par des facteurs locaux tels que le type d'humus, le pH, l'humidité et la constitution chimique du sol (Ponge, 1993 ; Paquin & Coderre, 1997 ; Feener & Schupp, 1998 ; Bird *et al.*, 2000 ; Loranger *et al.*, 2001 ; Kuznetsova, 2002 ; Magura *et al.*, 2003 ; Scheu *et al.*, 2003 ; Cassagne *et al.*, 2003). Le sol constitue une entité vivante et dynamique, en perpétuelle évolution, pouvant être perturbé par de nombreux facteurs ; parmi ces derniers, les pressions anthropiques deviennent de plus en plus préoccupantes. L'impact de ces pressions est d'autant plus important que les vitesses de dégradation des sols peuvent être rapides alors que les processus de formation et de régénération sont extrêmement lents. L'érosion, le tassement, l'appauvrissement en matières organiques, l'imperméabilisation, les contaminations par des substances organiques et minérales sont autant de facteurs provoqués ou accentués par les activités humaines. Ils affectent le fonctionnement, les processus d'évolution des sols ainsi que la viabilité des écosystèmes associés à la pédosphère.

La pédofaune est largement dominée par les Arthropodes. En conséquence, toutes les modifications portant sur les populations d'Arthropodes ont des répercussions importantes sur le fonctionnement de l'écosystème du sol (Bedano *et al.*, 2006). Les Myriapodes constituent l'un des groupes d'Arthropodes les moins bien étudiés (Bedano *et al.*, 2006). Or, de par leurs activités biologiques, ces organismes interviennent de façon considérable dans la structure, la fertilité et la composition du sol. Les Diplopodes saprophages, en se nourrissant de débris végétaux ou animaux, participent à la décomposition de la matière organique et au renouvellement du sol (Lebrun, 1987 ; Anderson, 1988 ; Kautz & Topp, 1998). En se déplaçant à l'intérieur du sol ils contribuent à l'aération de celui-ci, augmentent le drainage de l'eau et génèrent une bioturbation importante assurant une dispersion des éléments minéraux et organiques dans les différents horizons du sol. Les Chilopodes sont des prédateurs situés au sommet des chaînes alimentaires. En se nourrissant d'autres organismes vivants du sol, ils contrôlent leurs populations.

L'objectif de cette étude est d'étudier l'influence des facteurs environnementaux sur la distribution spatio-temporelle et l'abondance des Myriapodes provenant d'un site anthropisé et d'un site naturel du nord-est de l'Algérie. En effet, les études portant sur les Myriapodes du nord de l'Afrique sont extrêmement rares mis à part quelques articles dédiés à la systématique de quelques espèces de Diplopodes publiés lors de ces 20 dernières années et des travaux anciens ponctuels datant des années 1900-1930 réalisés par des explorateurs français. De plus, les études concernant l'impact des facteurs environnementaux sur la distribution spatiale des Myriapodes à l'échelle planétaire sont également très rares (Müller *et al.*, 1978 ; Dunger & Steinmetzger, 1981 ; Voigtländer & Düker, 2001).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

SITES D'ÉTUDE

Deux sites localisés au niveau du nord-est de l'Algérie ont été sélectionnés pour cette étude (Fig. 1). Les sites d'échantillonnage correspondent à des milieux ouverts avec une couverture végétale peu dense. La roche-mère est constituée de grès de Numidie et les sols de couleur brunâtre voir noirâtre sont généralement profonds avec une texture argileuse renfermant en moyenne 6 % d'éléments grossiers. Les deux sites sont situés à la même altitude et le climat est de type méditerranéen (Benyacoub & Chabi, 2000).

Site N°1. – La région d'Annaba est largement ouverte sur le littoral méditerranéen avec 80 km de côte. Elle s'étend sur 1412 km². Elle est richement arrosée, les précipitations étant comprises entre 650 et 800 mm/an. La température moyenne est de 16 °C. Annaba est la quatrième ville d'Algérie au plan économique. C'est une ville industrielle qui accueille deux grands complexes industriels, l'un sidérurgique réputé à l'échelle mondiale et l'autre producteur d'engrais. Les travaux récents effectués au sein de notre laboratoire, réalisés dans le cadre de plusieurs projets de recherche nationaux en écotoxicologie, attestent que la biodiversité des écosystèmes terrestre et marin est affectée par cette pollution. Le site d'échantillonnage est localisé dans la partie nord-est de cette région (36°52' N, 7°45' E).

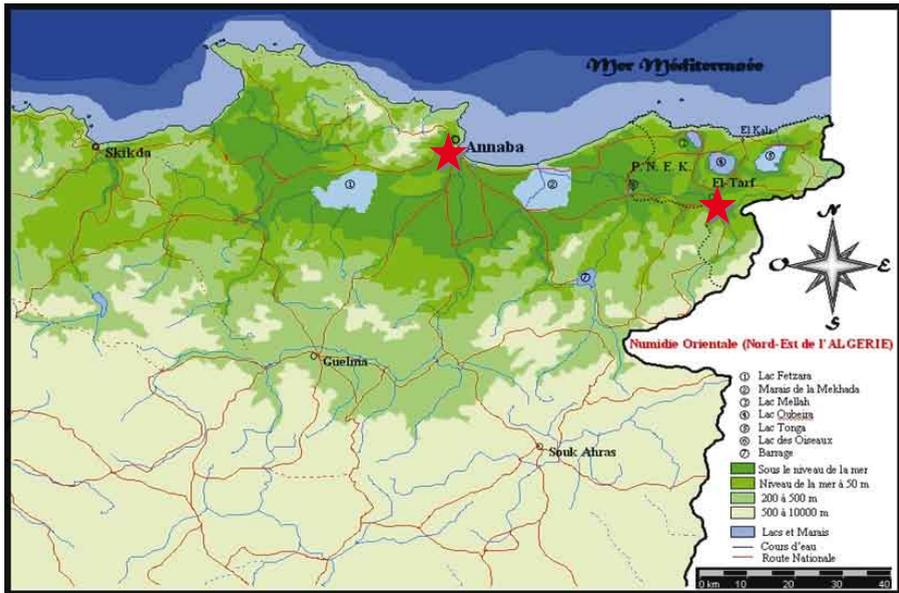


Figure 1. — Localisation géographique des sites d'étude.

Site N°1. – La région d'El-Tarf est limitée au nord par la mer Méditerranée et à l'est par la Tunisie. Elle bénéficie d'une reconnaissance internationale de par son ensemble de zones humides unique au Maghreb. Ainsi, elle est préservée par la convention RAMSAR (1970) et a été déclarée comme étant une réserve de la biosphère par l'UNESCO (1990) étant donné sa richesse en matière de biodiversité animale et végétale, à la fois terrestre et marine. Elle occupe une superficie de 3339 km². Les moyennes annuelles des précipitations et des températures sont respectivement de 910 mm et 18°C. Le site d'échantillonnage est localisé dans la partie sud de la commune d'El-Tarf (36°44' N, 8°17' E).

TECHNIQUE DE PIÉGEAGE ET IDENTIFICATION DES SPÉCIMENS

Pour chaque site étudié, cinq quadrats mesurant 20 m de longueur et de largeur ont été choisis de manière aléatoire et, au sein de chaque quadrat, cinq pièges de type « Pitfall trap » d'un diamètre de 8,5 cm et d'une profondeur de 17 cm remplis d'une solution de formaldéhyde à 5 % (Dufréne, 1988) ont été disposés au hasard. Les Myriapodes tombés dans ces pièges ont été récoltés deux fois par mois (Heliölä *et al.*, 2001) pendant une année (juin 2006 à mai 2007). Les spécimens collectés ont été conservés dans l'alcool à 70°. Le comptage et l'identification des individus piégés ont été réalisés sous la loupe binoculaire selon Demange (1981).

ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS

Cinq carottes de sol ont été prélevées par quadrat mensuellement, puis les carottes de chaque quadrat ont été mélangées de façon à obtenir un échantillon élémentaire représentatif de chaque quadrat. Les carottes de sol ont été prélevées jusqu'à une profondeur de 15 cm.

La granulométrie a été déterminée par la méthode densimétrique basée sur la variation de la masse volumique d'une suspension de 50 g de terre et 25 ml de solution d'hexaméthaphosphate de sodium 5 % au cours de la sédimentation à l'aide d'un hydromètre ASTM n° 152 H (Mathieu & Pieltain, 1998). La matière organique du sol a été quantifiée par la méthode de Walkley-Black modifiée (1934) suite à une oxydation par le dichromate de potassium et l'acide sulfurique. L'acidité du sol (pH eau) a été mesurée au moyen d'un pH mètre (HANNA instruments P209) en utilisant une suspension de 20 g de sol (poids sec) dans 40 ml d'eau distillée. L'azote total a été mesuré après traitement à l'acide sulfurique et à l'eau oxygénée à l'aide d'un distillateur Kjeldahl selon la méthode décrite dans Hach (1989). Par ailleurs, une station météorologique située dans la zone d'étude nous a permis d'obtenir des données concernant la température de l'air, les précipitations et l'humidité atmosphérique.

ANALYSE STATISTIQUE

Lors de l'étude de la distribution spatio-temporelle des populations, trois indices d'agrégation ont été utilisés, à savoir, (a) l'indice d'agrégation, dit variance relative « λ^2 », (b) l'indice d'agrégation-dispersion, paramètre de la distribution binomiale négative « k » (Bliss & Fisher, 1953), (c) l'indice de dispersion spatiale-couverture « IA » (Cancela da Fonseca, 1966, 1982 ; Elliott, 1971 ; Cancela da Fonseca & Stamou, 1982).

Les diversités taxonomique, spatiale et temporelle des deux taxons étudiés (Chilopodes, Diplopodes) ont été calculées à partir de l'indice de Shannon-Weaver « H' » (1949).

Le coefficient de corrélation de rang de Spearman « rs, » (Siegel, 1956 ; Cancela da Fonseca, 1968, 1982) a été utilisé afin de mettre en évidence le type de relation existant entre l'abondance des deux taxons étudiés et les facteurs environnementaux climatiques et édaphiques.

La différence en matière de biodiversité entre le site non anthropisé d'El Tarf et le site anthropisé d'Annaba a été évaluée par la méthode des « gains » et des « pertes » Vm

$$\text{où } Vm = (Em - Cm) / (Em + Cm)$$

Em est la valeur d'un paramètre *m* du site anthropisé, Cm est la valeur du même paramètre *m* du site non anthropisé pris comme témoin.

Si $Em > Cm$ la différence est positive, la biodiversité du site E est plus importante ; si $Em < Cm$ la différence est négative, la biodiversité du site E est moins importante et si $Em = Cm$ la différence est nulle, la biodiversité des deux sites est similaire (Cancela da Fonseca, 1990 ; Cancela da Fonseca & Sarkar, 1996). Cette différence a aussi été mesurée par l'indice du degré de changement de la biodiversité « Δ » où $\Delta = \sum Vm/K$ (Cancela da Fonseca & Sarkar, 1996).

RÉSULTATS

COMPARAISON DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX DES DEUX SITES ÉTUDIÉS

En ce qui concerne la température et le volume des précipitations, les données enregistrées ne diffèrent pas significativement entre les deux sites étudiés (Tab. I). Par contre, les données relatives à l'analyse physico-chimique des sols indiquent des différences hautement significatives concernant le pourcentage d'hygrométrie ($t = 4,38^{***}$, $n = 12$), le pH ($t = 5,70^{***}$) et les teneurs en azote total ($t = 4,23^{***}$) et en matière organique du sol ($t = 3,81^{***}$) (Tab. I). En outre, la granulométrie des deux sols n'est pas statistiquement différente (Tab. I), les sols étant essentiellement de texture argileuse dans les deux cas.

RELATION ENTRE LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET L'ABONDANCE DES MYRIAPODES

Durant cette étude, 1312 individus ont été piégés, dont 901 Chilopodes et 411 Diplopodes. Le nombre de Chilopodes récoltés à Annaba est plus important qu'à El Tarf (495 individus contre 406) alors que c'est l'inverse pour les Diplopodes (280 individus contre 131).

Le tableau II présente les valeurs des coefficients de corrélation de rang de Spearman entre l'abondance des Chilopodes et des Diplopodes et les facteurs environnementaux pour les deux sites étudiés.

TABLEAU I

Facteurs environnementaux des deux sites étudiés

Sites	El Tarf	Annaba	Test-t
Facteurs	<i>m</i> ± e.s.	<i>m</i> ± e.s.	t (a)
Température (°C)	20,36 ± 1,96	17,86 ± 2,15	1,08 ns
Précipitation (mm)	80,48 ± 22,15	69,47 ± 25,23	0,33 ns
Hygrométrie (%)	77,83 ± 1,81	64,38 ± 2,47	4,38***
pH	8,07 ± 0,15	7,01 ± 0,11	5,70***
Azote (N) total (%)	0,83 ± 0,02	0,70 ± 0,03	4,23***
Matière organique (%)	1,22 ± 0,08	0,89 ± 0,04	3,81***
Sable (%)	16,81 ± 2,07	17,86 ± 2,15	0,34 ns
Limons (%)	27,83 ± 1,23	31,14 ± 1,10	2,21 ns
Argile (%)	55,55 ± 2,10	51,11 ± 1,36	0,72 ns

m : moyenne ; e.s. : écart-standard à la moyenne ; ns : non significatif ; * significatif ($p < 0,05$) ; ** très significatif ($p < 0,01$) ; *** hautement significatif ($p < 0,001$)

TABLEAU II

Relation entre les facteurs environnementaux et l'abondance des deux taxons (*Chilopodes* et *Diplopodes*) au niveau des deux sites étudiés (coefficient de corrélation de rang de Spearman)

Sites	El Tarf	Annaba	El Tarf	Annaba
Facteurs	Chilopodes		Diplopodes	
Température (°C)	(-)0,78**	(-)0,53*	0,03ns	(-)0,69*
Précipitations (mm)	0,76**	0,68*	0,25 ns	0,41 ns
Hygrométrie (%)	0,60*	0,28 ns	0,17 ns	0,67*
pH	(-)0,63*	(-)0,45 ns	0,38 ns	0,62*
Azote (N) total (%)	0,01 ns	0,68*	0,58*	0,99**
Matière organique (%)	0,57*	0,37 ns	0,24 ns	0,37 ns
Sable (%)	0,30 ns	0,10 ns	(-)0,60*	(-)0,40 ns
Limons (%)	(-)0,70*	(-)0,20 ns	0,90*	0,50*
Argile (%)	0,30 ns	(-)0,30 ns	(-)0,10 ns	(-)0,30 ns

$n1 = n2 = 12$; ns : non significatif ; * significatif ($p < 0,05$) ; ** très significatif ($p < 0,01$) ; *** hautement significatif ($p < 0,001$)

L'abondance des *Chilopodes* est corrélée de façon positive avec le volume des précipitations et de façon négative avec la température au niveau des deux sites étudiés. Par ailleurs, à El Tarf l'abondance des *Chilopodes* est corrélée de façon positive avec les pourcentages d'hygrométrie et de matière organique du sol et de façon négative avec le pH et la quantité de limons du sol tandis qu'à Annaba elle est corrélée de façon positive avec le pourcentage d'azote total du sol.

L'abondance des *Diplopodes* est corrélée de façon positive avec les quantités d'azote total et de limons du sol au niveau des deux sites étudiés. En outre, à El Tarf l'abondance des *Diplopodes* est corrélée de façon négative avec le pourcentage de sable du sol alors qu'à Annaba elle est corrélée de façon positive avec le pourcentage d'hygrométrie et le pH du sol et de façon négative avec la température.

FLUCTUATIONS SAISONNIÈRES DES POPULATIONS DE MYRIAPODES

Le nombre de *Chilopodes* piégés varie de façon importante pendant l'année au niveau des deux sites étudiés (Fig. 2A). À El Tarf, c'est pendant l'été, période la plus chaude et la plus sèche de l'année que le nombre de *Chilopodes* piégés est le plus faible. Ce dernier augmente en automne parallèlement à l'augmentation du volume des précipitations pour atteindre un pic au mois de janvier, période de l'année la plus irriguée (238 mm de précipitations). De nombreux individus ont été piégés à Annaba au printemps et en automne, périodes caractérisées par des températures clémentes et des précipitations plus ou moins importantes.

C'est à la fin de l'automne (mois de novembre), période de l'année pendant laquelle les précipitations sont les plus abondantes et les températures les plus douces (après la période de sécheresse et de chaleur estivale et avant la période de froid hivernal) que nous avons piégé le plus de *Diplopodes* au niveau des deux sites étudiés (Fig. 2B). Le nombre d'individus piégés le reste de l'année varie de façon considérable à El Tarf tandis qu'à Annaba les *Diplopodes* sont présents essentiellement à la fin de l'automne et au début de l'hiver (période s'étalant d'octobre à janvier).

DISTRIBUTION SPATIALE DES MYRIAPODES

L'analyse des indices de distribution spatiale (λ^2) des *Chilopodes* et des *Diplopodes* durant les 12 mois d'étude au niveau des deux sites étudiés indique, d'une façon générale, une distribution agrégative à l'exception de certains mois où elle est aléatoire (pendant les mois de mai et d'août pour les *Diplopodes* et les *Chilopodes* respectivement) (Tab. IIIa & IIIb).

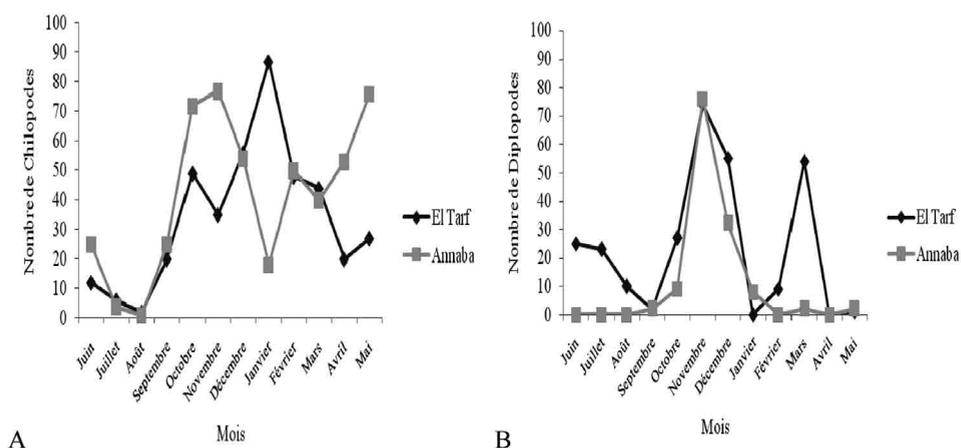


Figure 2. — Fluctuations annuelles des populations de Chilopodes (A) et de Diplopodes (B) au niveau des deux sites étudiés.

Quel que soit le site étudié, la distribution des Chilopodes varie selon les saisons. Ainsi, elle est régulière de mars à décembre puis devient irrégulière en hiver (janvier et février, $k = 275,23$ et 460 respectivement). Par contre, la distribution des Diplopodes est régulière durant toute l'année sauf en été pour le site d'El Tarf (juillet, $k = 70,53$).

L'indice de dispersion spatiale-couverture (IA) mesure le degré d'asymétrie des différents taxons (Cancela da Fonseca, 1966). Les valeurs les moins élevées de IA indiquent une couverture plus homogène du milieu par les individus. Les deux taxons couvrent les deux sites étudiés de façon plus ou moins étendue et homogène pendant toute l'année sauf en été pour les Chilopodes et à la fin de l'été (septembre) et au printemps pour les Diplopodes où la couverture est minimale ($IA = 1$) (Tab. IIIa & IIIb).

TABLEAU IIIa

Indices d'agrégation (λ^2 , k et IA) des deux taxons (Chilopodes et Diplopodes) pendant la période d'étude dans la région d'El Tarf

Taxons	Chilopodes	Diplopodes	Chilopodes	Diplopodes	Chilopodes	Diplopodes
Mois	λ^2		k		IA	
Juin	1,38	2,70	6,40	2,94	0,34	0,33
Juillet	2,67	0,94	0,72	70,53	0,67	0,20
Août	2,00	1,25	0,40	8,00	1,00	0,32
Septembre	3,38	2,00	1,68	0,40	0,41	1,00
Octobre	3,44	1,72	4,02	7,48	0,27	0,25
Novembre	1,43	1,84	16,33	17,67	0,20	0,16
Décembre	3,77	28,36	4,05	0,40	0,26	0,72
Janvier	0,94	-	275,24	-	0,10	-
Février	1,02	1,78	460,80	2,31	0,15	0,44
Mars	1,05	14,19	3,83	0,82	0,09	0,51
Avril	2,38	-	2,91	-	0,35	-
Mai	3,02	1,00	2,68	0,00	0,34	1,00

TABLEAU III B

Indices d'agrégation (λ , k et IA) des deux taxons (*Chilopodes* et *Diplopodes*) pendant la période d'étude dans la région d'Annaba

Taxons	Chilopodes	Diplopodes	Chilopodes	Diplopodes	Chilopodes	Diplopodes
Mois	λ^2		k		IA	
Juin	2,00	-	5,00	-	0,28	-
Juillet	4,00	-	0,27	-	1,00	-
Août	1,00	-	0,00	-	1,00	-
Septembre	2,30	2,00	3,85	0,40	0,30	1,00
Octobre	1,41	1,78	0,99	2,31	0,13	0,44
Novembre	2,16	2,68	13,25	9,06	0,17	0,19
Décembre	5,30	3,48	2,51	2,58	0,31	0,33
Janvier	2,03	0,81	3,50	8,53	0,34	0,38
Février	0,55	-	22,22	-	0,11	-
Mars	3,06	2,00	3,88	0,40	0,28	1,00
Avril	4,04	-	3,49	-	0,28	-
Mai	5,18	2,00	3,32	0,40	0,26	1,00

ÉVALUATION DE LA BIODIVERSITÉ DES SITES ÉTUDIÉS

En tenant compte seulement de deux groupes taxinomiques (*Diplopodes* et *Chilopodes*), la diversité spécifique n'indique que leur degré de proportionnalité, exprimé en termes de dominance (D_i) et de poids (H_i) au sens statistique. Les *Chilopodes* étant plus nombreux que les *Diplopodes* quel que soit le site étudié, l'indice de dominance est donc plus important à Annaba ($D_i = 0,66$) qu'à El Tarf ($D_i = 0,51$) (Tab. IV). Toutefois, les *Diplopodes* sont plus représentatifs que les *Chilopodes* ($H_i = 0,36$ à El Tarf et $H_i = 0,32$ à Annaba), du fait de leur moindre probabilité d'occurrence (p_i). En raison d'une probabilité d'occurrence plus semblable à El Tarf qu'à Annaba, l'indice de diversité est plus important à El Tarf ($H' = 0,67$ nats) qu'à Annaba ($H' = 0,51$ nats) (Tab. IV).

Deux autres catégories de diversité ont été calculées, la diversité spatiale qui est en relation avec la répartition des taxons à la surface du sol, et la diversité temporelle qui est en relation avec l'évolution de leurs populations tout au long de l'année. La diversité spatiale (annuelle) des *Chilopodes* est plus homogène à Annaba ($H' = 1,60$ nats) qu'à El Tarf ($H' = 1,57$ nats), alors que celle des *Diplopodes* est plus homogène à El Tarf ($H' = 1,58$ nats) qu'à Annaba ($H' = 1,56$ nats) (Tab. V).

TABLEAU IV

Diversité spécifique des *Chilopodes* et des *Diplopodes* au niveau des deux sites étudiés

Sites	El Tarf				Annaba				
	Taxons	Moyenne	p_i	D_i	$H_i(-)$	Moyenne	p_i	D_i	$H_i(-)$
Chilopodes		81,20	0,59	0,35	0,31	99,00	0,79	0,62	0,18
Diplopodes		56,00	0,40	0,16	0,36	26,20	0,20	0,04	0,32
Total, D , H'		137,20	1,00	0,51	0,67	125,20	1,00	0,66	0,51
Hr			97,56 %				74,02 %		
Hmax					0,69				

p_i : abondance relative spécifique ; D_i : dominance relative ; D : dominance ; H' : diversité spécifique ; Hr : diversité spécifique relative ; Hmax : diversité spécifique maximale

TABLEAU V

Diversité spatiale des Chilopodes et des Diplopodes au niveau des deux sites étudiés

Taxons			Chilopodes			Diplopodes			
Sites	Prélèvement	Nombre	pi	Di	Hi	Nombre	pi	Di	Hi
EL TARF	Q1	87	0,21	0,04	0,33	39	0,13	0,01	0,27
	Q2	56	0,13	0,01	0,27	71	0,25	0,06	0,34
	Q3	111	0,27	0,07	0,35	44	0,15	0,02	0,29
	Q4	94	0,23	0,05	0,33	67	0,23	0,05	0,34
	Q5	58	0,14	0,02	0,27	59	0,21	0,04	0,32
	Total	406	1,00	0,21	1,57	280	1,04	0,21	1,58
	Hr			97,84 %			98,40 %		
ANNABA	Q1	100	0,20	0,04	0,32	21	0,1603	0,02	0,29
	Q2	85	0,17	0,03	0,30	42	0,3206	0,10	0,36
	Q3	111	0,22	0,05	0,33	23	0,1756	0,03	0,30
	Q4	105	0,22	0,04	0,32	18	0,1374	0,01	0,27
	Q5	94	0,18	0,36	0,31	27	0,2061	0,04	0,32
	Total, D, H'	495	0,99	0,61	1,60	131	1	0,26	1,56
	Hr			99,74 %			97,04 %		
Hmax					1,60				

Q : prélèvement ; pi : abondance relative ; Di : dominance relative ; D : dominance ; H' : diversité ; Hr : diversité spatiale relative ; Hmax : diversité spatiale maximale

En ce qui concerne les Chilopodes, la diversité temporelle annuelle, relativement importante, est comparable pour les deux sites étudiés ($H' = 2,23$ et $2,24$ nats à El Tarf et Annaba respectivement) (Fig. 3). La diversité temporelle mensuelle la plus faible est enregistrée en été (août) au niveau des deux sites étudiés ($H_i = 0,02$ et $0,01$ nats à El Tarf et Annaba respectivement) et celle la plus importante est observée en hiver (janvier, $H_i = 0,33$ nats) à El Tarf et pendant les mois d'octobre, novembre et mai à Annaba ($H_i = 0,28$ nats).

La diversité temporelle annuelle des Diplopodes est du même ordre de grandeur que celle des Chilopodes à El Tarf mais nettement moins importante à Annaba ($H' = 1,20$ nats, Fig. 3). La diversité temporelle mensuelle la plus élevée est observée en automne à El Tarf ($H_i = 0,35$ nats) et en hiver (décembre) à Annaba ($H_i = 0,33$ nats).

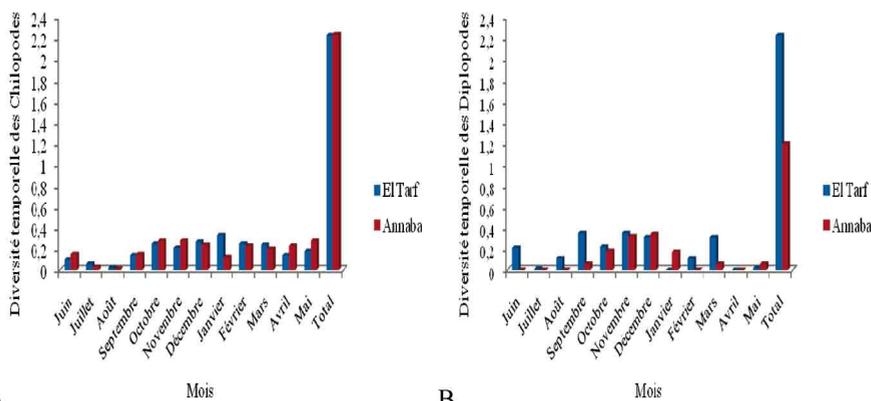


Figure 3. — Diversité temporelle mensuelle (H_i) des Chilopodes (A) et des Diplopodes (B) au niveau des deux sites étudiés.

ÉVALUATION DES RISQUES « PERTE » ET « GAIN » DE LA BIODIVERSITÉ

Les Chilopodes sont plus abondants au niveau du site anthropisé d'Annaba (+ 9,88 %) qu'au niveau du site naturel d'El Tarf alors que c'est l'inverse pour les Diplopodes (- 36,25 %) ; cependant, dans l'ensemble, le site d'Annaba contient moins de Myriapodes (- 4,47 %) que celui d'El Tarf (Tab. VI). L'étude des indices de diversité (taxinomique, spatiale et temporelle) indique que l'anthropisation entraîne une perte des effectifs de Diplopodes à Annaba (Tab. VI).

L'analyse de la biodiversité « Annaba » versus « El Tarf » révèle que l'abondance des Chilopodes tend à être plus marquée à Annaba (+ 1,89 %) contrairement à celle des Diplopodes ($\Delta = (-) 19,99 \%$), la région d'Annaba constituant un biotope plus favorable aux Chilopodes qu'aux Diplopodes. En outre, le degré de changement de la biodiversité des Myriapodes est négatif à Annaba par rapport à El Tarf ($\Delta = (-) 1,56 \%$) (Tab. VII).

TABLEAU VI

Évaluation des risques (V) « perte » et « gain » de la biodiversité des deux taxons au niveau des deux sites étudiés

Sites	Taxons	Moyennes	Hi, H' taxo	H' spac	H' temp
Annaba versus El Tarf	Chilopodes	+9,88 %	(-)25,15 %	+0,96 %	+0,32 %
	Diplopodes	(-)36,25 %	(-)5,54 %	(-)0,69 %	(-)29,88 %
	Myriapodes	(-)4,57 %	(-)13,72 %	(-)0,69 %	(-)2,49 %

Hi, H' taxo : diversité taxinomique ; H' spac : diversité spatiale ; H' temp : diversité temporelle

TABLEAU VII

Degré de changement de la biodiversité Δ ($K = 6$) au niveau des deux sites étudiés

		ΣV	Δ
Annaba versus El Tarf	Chilopodes	+11,33 %	+1,89 %
	Diplopodes	(-)119,98 %	(-)19,99 %
	Myriapodes	(-)9,33 %	(-)1,56 %

ΣV : somme des changements ; Δ : degré de changement ; K : nombre de paramètres de l'étude (indices écologiques utilisés)

DISCUSSION

L'utilisation de pièges de type « Pitfall trap » avantage la capture des Arthropodes de grande taille (Daas *et al.*, 1995). Néanmoins, cette technique fournit une comparaison intéressante de la structure trophique des communautés d'invertébrés du sol (Pontégnie *et al.*, 2005). Il convient, malgré tout, de signaler que les individus de petite taille sont sous-estimés par cette méthode.

Au total 1312 Myriapodes ont été piégés au cours de cette étude. Il est difficile de comparer nos résultats avec ceux obtenus par d'autres auteurs dans des régions et des biotopes différents en raison des disparités liées au climat local, à la nature du sol, à la durée et à la fréquence des prélèvements ainsi qu'aux méthodes de récolte utilisées (Hamra-Kroua & Cancela da Fonseca, 2009). Nous citerons, à titre d'exemple, les valeurs enregistrées par Daas *et al.*, (1995) dans la région d'Annaba où 685 et 340 Myriapodes ont été respectivement piégés durant une année au niveau d'une forêt d'eucalyptus et d'une steppe de type méditerranéen en utilisant la même méthode de piégeage.

Par ailleurs, l'augmentation de la masse totale de la végétation engendre une augmentation du nombre d'espèces d'invertébrés présents (Odum, 1971 ; Bormann & Likens, 1979 ; Wardle,

2002). Les invertébrés saprophages jouent un rôle plus important dans le fonctionnement de l'écosystème forestier que les phytophages et les prédateurs (Dajoz, 1998). L'absence de litière diminue la diversité des organismes du sol notamment de la faune épigée (Lavelle *et al.*, 2006). Les sols dénudés présentent une densité et une diversité faibles dues au déficit en ressources trophiques (Di Castri & Astidillo, 1966). En général les Diplopodes fuient les champs et restent cantonnés dans des habitats particuliers ou dans des zones de répartition limitée (Demange, 1981). Les Diplopodes colonisent les biotopes fermés, humides et frais (David *et al.*, 1998) alors que les Chilopodes sont adaptés aux milieux chauds et secs (Cloudsley-Thompson & Crawford, 1970). Ces raisons expliquent très vraisemblablement pourquoi nous avons récolté plus de Chilopodes que de Diplopodes dans les deux sites étudiés où les points d'échantillonnage correspondent à des milieux ouverts avec une couverture végétale très peu dense.

RELATION ENTRE LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET L'ABONDANCE DES MYRIAPODES

L'hygrométrie des deux sites étudiés diffère significativement, la région d'El Tarf étant plus humide que celle d'Annaba. Ce taux d'humidité plus grand à El Tarf est lié à l'évaporation de l'eau des lacs présents dans cette région ainsi qu'à l'importante transpiration de la masse végétale forestière qui représente plus de 70 % de la surface de cette région (Benyacoub & Chabi, 2000). Nous avons également noté des différences significatives concernant la constitution chimique des deux sols (pH, pourcentages de matière organique et d'azote total). Le sol d'El Tarf est plus alcalin et plus riche en matière organique et en azote total que celui d'Annaba.

Le sol constitue une entité vivante et dynamique, constamment soumise aux pressions anthropiques (érosion, tassement, appauvrissement en matières organiques, imperméabilisation, contaminations par des substances organiques et minérales) pouvant entraîner des perturbations fortes pour la pédofaune largement décrites dans la littérature scientifique (ISO, 1998 ; Crouau *et al.*, 1999 ; Cole *et al.*, 2001 ; Migliorini *et al.*, 2005).

D'après Toop *et al.* (2005), certains facteurs environnementaux peuvent exercer une action synergique sur la répartition des espèces du sol. En outre, ces facteurs agissent sur le cycle de mue et les cycles gamétogénétiques des Chilopodes (Descamps, 1971 ; Herbaut, 1975 ; Joly, 1976). D'après les résultats des tests de corrélation concernant les facteurs climatiques, on peut conclure que les Chilopodes des deux sites étudiés ont tendance à fuir les températures élevées. Nos résultats sont en parfaite concordance avec ceux obtenus par Daas *et al.* (1995) qui indiquent également que les Chilopodes évitent les températures élevées dans la région d'Annaba. En outre, selon Zimmer *et al.*, (2000), la distribution des Diplopodes est principalement influencée par la température. De plus, d'après Iatrou & Stamou (1989), l'augmentation de température entraîne une augmentation de la production du nombre d'œufs dans les ovaires de *Glomeris balcanica* (Diplopode).

Le déficit de saturation de l'air en vapeur d'eau entraîne la perte d'eau par dessiccation chez les Chilopodes (Cloudsley-Thompson & Crawford, 1970). Par ailleurs, les conditions d'humidité influencent le mode de répartition de nombreux Diplopodes (Toop *et al.*, 2005). Nos résultats indiquent que l'augmentation du taux d'hygrométrie entraîne uniquement une augmentation de l'abondance des Chilopodes à El Tarf et des Diplopodes à Annaba.

Cloudsley-Thompson & Crawford (1970) ont montré que certains genres de Chilopodes tels que les scolopendres sont capables de retenir de façon plus efficace l'eau corporelle, ce qui suggère une adaptation aux milieux secs. De plus, les Diplopodes possèdent un système efficace de fermeture des trachées leur assurant une certaine résistance à la dessiccation (Bachelier, 1978). Daas *et al.* (1995) ont noté des divergences en matière d'affinité climatique selon les sexes chez *Eupolybothrus nudicornus* (= *Bothropolys elongatus*) (Chilopode) les femelles ont tendance à fuir les hautes températures tandis que les mâles y sont indifférents. Par ailleurs, selon Iatrou & Stamou (1989) l'humidité relative de l'air n'influence pas la consommation alimentaire de *Glomeris balcanica* (Diplopode). Ces observations expliquent les divergences de comportement des deux taxons face aux conditions d'hygrométrie rencontrées dans les deux sites étudiés. Selon Daas *et al.* (1995), il existe une corrélation positive entre la pluviosité et l'abondance des Chilopodes dans la région d'Annaba, les individus recherchant un milieu suf-

fisamment humide afin d'assurer un développement correct des œufs. Nos résultats vont dans ce sens en ce qui concerne les Chilopodes, alors qu'aucune corrélation positive entre la pluviosité et l'abondance des Diplopodes n'a été mise en évidence quel que soit le lieu de récolte. Selon Bachelier (1978), les Diplopodes s'enfoncent en profondeur lorsque les conditions du milieu deviennent hostiles (excès d'eau, chaleur, froid, sécheresse, présence de prédateurs) mais ils remontent en surface afin de s'alimenter. Ces déplacements verticaux sont saisonniers, nyctéméraux ou irréguliers.

L'importance de la vie dans les sols dépend en tout premier lieu de leur richesse énergétique (Bachelier, 1971). Les litières, par leur contenu minéral, leur richesse en glucides, protéines, lignines, etc. peuvent influencer l'activité de la faune du sol. Ainsi, Ouédraogo *et al.* (2004) ont montré que la densité des termites sur des parcelles agricoles de zones semi arides africaines est fortement corrélée à la nature de la matière organique. Les Diplopodes favorisent la décomposition de la matière organique (Piéri, 1989 ; Ouédraogo *et al.*, 2004) et, de ce fait, augmentent le stock d'humus du sol (Janssen, 1993). La qualité de l'humus (David *et al.*, 1993) et la présence de sols acides ou calcaires (Kime, 1992) influencent la répartition spatiale et l'abondance des Diplopodes ; le taux de minéralisation exerce également une action à la fois sur la croissance et le mode de répartition des arthropodes saprophages (Zimmer *et al.*, 1996 ; Zimmer & Topp, 2000). Par ailleurs, l'acidité du sol affecte de façon négative l'abondance des Diplopodes (Toop *et al.*, 2005). Néanmoins, nos résultats indiquent une relation positive entre l'abondance des Diplopodes et l'acidité du sol à Annaba ; ceci est peut-être dû, comme l'a indiqué Blower (1955), au fait que les ions calcium (présents en abondance dans les sols à pH élevé) limitent la perméabilité de l'épiderme, freinant ainsi les phénomènes d'endosse, facteur important pour les Myriapodes lors de la ponte et des mues. En outre, Marcuzzi (1970) a démontré expérimentalement que certaines espèces de Diplopodes ne manifestent pas de préférence pour les litières les plus calcaires. D'après Thiele (1959), *Cydindroiulus nitidus* (Diplopode) n'est pas trop gêné par un milieu acide ou une nourriture pauvre en calcium. Wallwork (1976) et Dajoz (1998) notent également la résistance de certaines espèces de Diplopodes à l'acidité du sol. Concernant les éléments chimiques, Herbke (1962) a constaté que les Diplopodes sont plus nombreux dans des sols calcaires et cultivés d'Allemagne en absence d'apport d'engrais azotés. Certains taxons de Diplopodes sont également plus nombreux et diversifiés dans les parcelles ayant reçu du fumier d'écurie, encore que ce fumier n'a que peu ou pas d'influence pour certaines espèces (Bachelier, 1978). D'après Bachelier (1971), l'azote est un élément essentiel à la faune du sol servant à la synthèse de leurs tissus. Cependant Dunxiao *et al.* (1999) indiquent l'absence de relation entre l'abondance des Chilopodes et le taux de matière organique. Ces données expliquent en grande partie d'une part, les relations significatives entre l'abondance des Myriapodes et surtout des Diplopodes et l'azote total du sol et, d'autre part, l'indifférence des Myriapodes en général au taux de matière organique considéré lors de cette étude.

D'après les tests de corrélation concernant la composition granulométrique du sol et l'abondance des taxons étudiés, on peut en déduire que les Diplopodes préfèrent les sols contenant un pourcentage important de limons contrairement aux Chilopodes qui ont tendance à fuir les sols riches en limons. Cependant, Dunxiao *et al.* (1999) indiquent l'existence d'une relation étroite entre la quantité de sable présente dans le sol et l'abondance des Diplopodes, la quantité de sable dans le sol étant corrélée de façon positive avec l'abondance des Diplopodes. Par ailleurs, Daas *et al.* (1995) signalent l'importance de la présence de cailloux dans et sur le sol qui constitue un élément favorable à l'établissement d'une population de scolopendres (Chilopodes).

FLUCTUATIONS ANNUELLES DES POPULATIONS DE MYRIAPODES

Les différentes espèces de la macrofaune du sol ne sont présentes que dans la mesure où leurs périodes de reproduction et de développement larvaire s'ajustent sur les variations climatiques périodiques (Tréhen *et al.*, 1978). Les Chilopodes et les Diplopodes se reproduisent au printemps et en automne (Demange, 1981 ; Daas *et al.*, 1995, 2003). Selon O'Neill (1968) et Van Der Drift (1975), l'activité alimentaire des Diplopodes adultes mâles et femelles est de

nature périodique (saisonnaire). David (1987) signale que les quantités de matière organique consommées par les Diplopes sont significativement plus importantes en automne et au printemps. En outre, l'instinct de couvée est très développé chez les Chilopodes. Après la ponte (automne, printemps) les femelles s'abritent dans des cavités du sol afin de protéger leur ponte (Demange, 1981). Selon Cloudsley-Thompson & Crawford (1970), les Myriapodes évitent le froid de l'hiver en creusant plus profondément des galeries dans le sol.

L'étude des fluctuations saisonnières des populations de Chilopodes et de Diplopes indique que peu d'individus sont piégés pendant l'été chaud et sec et que le nombre d'individus piégés augmente en automne pour devenir maximal en hiver, période pluvieuse et relativement froide. Des résultats similaires ont été obtenus par Rouabah & Descamps (2001), lors d'une étude portant sur la biologie des Oligochètes dans le Constantinois (est Algérien). Ces variations saisonnières dépendent probablement de l'action combinée de nombreux facteurs externes (température, humidité, photopériode, état de la litière) et de l'influence des facteurs internes intervenant dans le déroulement des grandes étapes du cycle biologique des espèces (mue, ponte, diapause hivernale, mortalité hivernale).

DISTRIBUTION SPATIALE DES MYRIAPODES

Les caractéristiques des habitats additionnées aux caractéristiques physiologiques et comportementales des espèces contribuent à la formation de groupes d'individus de la même espèce ou d'espèces différentes (Cancela da Fonseca & Vannier, 1969). Dans la nature, les distributions au hasard ou en agrégats sont les plus fréquentes, la distribution régulière étant plutôt rare (Vannier & Cancela da Fonseca, 1966). D'après David (1987), la répartition spatiale de la population adulte de *Cylindroiulus nitidus* (Diplope) est de type agrégatif. Lors de l'étude de la distribution des Collemboles du sol dans une forêt de pins, Usher (1969) a constaté que 0,9 % des quadrats étudiés présentaient une distribution régulière, 27,4 % une distribution au hasard et 71,77 % une distribution en agrégats. Nous avons montré au cours de cette étude que la distribution des Diplopes et des Chilopodes des deux sites étudiés est de type agrégatif sauf pendant certains mois où elle s'effectue au hasard. Nos résultats concordent donc parfaitement avec les données issues de la littérature.

L'indice de dispersion spatiale-couverture IA mesure le degré de couverture du biotope par les individus. Il renseigne sur la couverture spatiale des différents individus du peuplement car il est en rapport avec le nombre et l'intensité des agrégats ainsi que le nombre de prélèvements vides. Les valeurs de cet indice indiquent qu'au niveau des deux sites étudiés les Chilopodes ont tendance à être présents dans l'ensemble des prélèvements pendant toute l'année, couvrant mieux le biotope que les Diplopes.

BIODIVERSITÉ DES SITES ÉTUDIÉS

Au cours de cette étude, d'un point de vue taxinomique, deux taxons ont été pris en compte (Chilopodes et Diplopes). Les Chilopodes étant plus nombreux au niveau des deux sites étudiés, les indices de dominance relative (D_i) et de dominance totale (D) des Chilopodes sont plus élevés que ceux des Diplopes. Les milieux ouverts et l'absence de couverture végétale contribuent au réchauffement du sol (Bachelier, 1978 ; Lavelle *et al.*, 1991) et exercent un effet dépressif sur les Diplopes caractérisé par un indice de dominance relative assez faible.

Les indices de diversité spatiale et temporelle ont été calculés afin d'étudier la distribution spatiale et l'évolution annuelle des populations. Les indices de diversité spatiale des deux taxons sont inversés, la distribution des Diplopes étant homogène à El Tarf et celle des Chilopodes à Annaba.

Lors de cette étude nous n'avons pas récolté de Diplopes à certaines périodes de l'année (prélèvements vides) plus particulièrement à Annaba. Ce phénomène peut être expliqué par la migration verticale des Diplopes de la surface du sol vers les horizons les plus profonds pendant l'hiver et l'été (David, 1983), il en résulte ainsi des diminutions apparentes du nombre d'individus récoltés.

ÉVALUATION DES RISQUES « PERTE » ET « GAIN » DE LA BIODIVERSITÉ

Depuis plusieurs millénaires, les activités humaines, en particulier l'agriculture et l'industrie, ont conduit à la transformation progressive d'une grande partie des surfaces terrestres. Le transfert des polluants dans les réseaux trophiques ne se limite pas aux seuls composés organiques. Ainsi, l'augmentation des concentrations en éléments traces métalliques dans les sols suscite de nombreuses études portant sur les risques de pollution engendrées par ces polluants et sur leur transfert dans l'ensemble des maillons de la chaîne trophique via les végétaux et les animaux herbivores. Ces risques paraissent d'autant plus importants que les éléments traces métalliques, contrairement à la plupart des composés organiques, ne sont pas dégradés dans l'environnement (Scheifler, 2002). La pollution environnementale est devenue l'un des problèmes majeurs dans le monde. L'utilisation massive de métaux lourds en agriculture et en milieu industriel (Mule & Lomte, 1994) pendant ces dernières décennies a grandement contribué à la manifestation de ce phénomène. Les métaux lourds exercent des influences néfastes sur la santé des êtres vivants et en particulier de l'homme (Carpenter, 1994) et peuvent provoquer des effets délétères directs et/ou indirects, depuis le niveau moléculaire jusqu'à celui des communautés et des écosystèmes (Chandran *et al.*, 2005).

La méthode des « pertes » et des « gains » de la biodiversité et celle du degré de changement de la biodiversité indiquent une diminution des effectifs de Myriapodes au niveau du site anthropisé d'Annaba par rapport au site naturel d'El Tarf. Ce résultat est comparable à celui obtenu par Cancela da Fonseca & Sarkar (1996) qui ont mis en évidence que la diversité taxinomique et la richesse des microarthropodes du sol (Acariens et Collembolles) diminuent considérablement sous l'intensité des perturbations introduites par l'homme dans les peuplements et les écosystèmes. De leur côté, Massoud *et al.* (1984) notent que le piétinement entraîne une forte diminution des effectifs ainsi qu'une baisse de la diversité taxinomique et de la richesse en Collembolles dans la litière et le sol.

CONCLUSION

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche portant sur une des communautés d'invertébrés du sol peu étudiées, les Myriapodes, mais dont l'impact de leurs activités est fondamental pour la fertilité, la structure et la composition des sols. Elle vise à évaluer la diversité biologique des Myriapodes et tester l'influence des conditions environnementales sur l'abondance et la distribution spatiale des Chilopodes et des Diplopodes provenant d'un site anthropisé (site d'Annaba) et d'un site naturel (site d'El Tarf) du nord-est de l'Algérie.

Le nombre de Diplopodes piégés est plus important à Annaba qu'à El Tarf alors que c'est le contraire pour les Chilopodes. Les paramètres physico-chimiques du sol et les conditions climatiques influencent d'une façon significative l'abondance et la répartition spatio-temporelle des deux taxons. En outre, l'intensité des perturbations liées aux activités humaines influence la diversité écologique des deux taxons. Ainsi, le site anthropisé d'Annaba subit une perte de diversité concernant les deux taxons par rapport au site naturel d'El Tarf.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Messieurs J.J. Geoffroy et J.P. Mauriès de leur accueil au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, et Madame O. Loison, responsable de la Station d'Écologie Végétale et Forestière de Fontainebleau (Paris).

RÉFÉRENCES

- ANDERSON, J.M. (1988). — Spatiotemporal effects of invertebrates on soil processes. *Biol. Fertil. Soils*, 6 : 216-227.
- ARONSON, J., LE FLOC'H, E., DAVID, J.-F., DHILLION, S., ABRAMS, M., GUILLERM, J.-L. & GROSSMANN, A. (1998). — Restoration ecology studies at Cazarils (southern France) : biodiversity and ecosystem trajectories in a Mediterranean landscape. *Landscape and Urban Planning*, 41 : 273-283.

- BACHELIER, G. (1971). — La vie animale dans les sols : aspects nouveaux, études expérimentales. Pp 1-43 & 45-82 in : P. Pesson (ed.). *La vie dans le sol*. Gauthier Villars, Paris.
- BACHELIER, G. (1978). — La faune du sol : son écologie et son action. *Documents techniques ORSTOM, Paris*, 38 : 127-175.
- BEDANO, J.C., CANTÚ, M.P., EDMUNDO, E. & DOUCET, M. (2006). — Soil springtails (Hexapoda : Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda : Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina). *Eur. J. Soil. Biol.*, 42 : 107-119.
- BENYACCOUB, S. & CHABI, Y. (2000). — Diagnostic écologique de l'avifaune du parc national d'El Kala. *Synthèse Sci. Technol.*, 7 : 1-98.
- BERNIER, N. (1996). — Altitudinal changes in humus form dynamics in a spruce forest at the montane level. *Plant and Soil*, 178 : 1-28.
- BIRD, S., COULSON, R.N. & CROSSLEY, J.R. (2000). — Impacts of silvicultural practices on soil and litter arthropod diversity in a Texas pine plantation. *Forest Ecol. Manag.*, 131 : 65-80.
- BLISS, C.I. & FISHER, R.A. (1953). — Fitting the negative binomial distribution to biological data. *Biometrics*, 9 : 176-200.
- BLOWER, J.G. (1955). — Millipedes and Centipedes as soil animals. Pp 138-151 in : K. McE. Kevan (ed.). *Soil Zoology*. Proceeding of the University of Nottingham, Second Easter School in Agricultural Science, Butterworths Scientific Publications, London.
- BORMANN, F.H. & LIKENS, G.E. (1979). — *Pattern and process in a forested ecosystem*. Springer, New York.
- CANCELA DA FONSECA, J.P. (1965). — L'outil statistique en biologie du sol. I. Distributions de fréquences et tests de signification. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 2 : 299-332.
- CANCELA DA FONSECA, J.P. (1966). — L'outil statistique en biologie du sol. III. Indices d'intérêt écologique. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 3 : 381-407.
- CANCELA DA FONSECA, J.P. (1968). — L'outil statistique en biologie du sol. IV. Corrélations de rang et affinités écologiques. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 5 : 41-54.
- CANCELA DA FONSECA, J.P. (1982). — *Dynamique des peuplements d'Acarions Oribates en milieu forestier. Aspects méthodologiques*. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud, Orsay.
- CANCELA DA FONSECA, J.P. (1990). — Forest management : impact on soil microarthropods and soil microorganism. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 27 : 269-283.
- CANCELA DA FONSECA, J.P., KIFFER, E., MEZIANE, L., RIHANI, M. & SARKAR, S. (2004). — About biodiversity and ecological niches in soil ecosystems. Pp 53-78 in : S.H. Shakir Hanna & W.Z.A. Mikhail (eds). *Soil zoology for sustainable development in the 21st Century*. Cairo University Press.
- CANCELA DA FONSECA, J.P. & SARKAR, S. (1996). — On the evaluation of spatial diversity of soil microarthropod communities. *Eur. J. Soil. Biol.*, 32 : 131-140.
- CANCELA DA FONSECA, J.P. & STAMOU, G.P. (1982). — L'outil statistique en biologie du sol. VII. L'indice d'agrégation, son application aux populations édaphiques : le cas d'*Achipteria coleoptrata* (Lin.) (Acarina, Oribatida). *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 19 : 465-484.
- CANCELA DA FONSECA, J.P. & VANNIER, G. (1969). — Échantillonnage des microarthropodes du sol. Pp 208-323 in : M. Lamotte & F. Bourlière (eds). *Problèmes d'écologie : échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres*. Masson, Paris.
- CARPENTER, D.O. (1994). — The public health significance of metal neurotoxicity. *Cell. Mol. Neurobiol.*, 6 : 591-597.
- CASSAGNE, N., GERS, C. & GAUQUELIN, T. (2003). — Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France). *Biol. Fertil. Soils*, 37 : 355-361.
- CHANDRAN, R., SIVAKUMAR, A., MOHANDASS, S. & ARUCHAMI, M. (2005). — Effect of cadmium and zinc on antioxidant enzyme activity in the gastropod, *Achatina fulica*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 140 : 422-426.
- CLOUDSLEY-THOMPSON, J.L. & CRAWFORD, C.S. (1970). — Water and temperature relation, and diurnal rhythms of scolopendromorph centipedes. *Ent. Exp. Appl.*, 13 : 187-193.
- COLE, L.J., MCCRACKEN, D.I., FOSTER, G.N. & AITKEN, M.N. (2001). — Using collembola to assess the risks of applying metal-rich sewage sludge to agricultural land in western scotland. *Agric., Ecosyst. & Envir.*, 83 : 177-189.
- CROUAU, Y., CHENON, P., & GISCLARD, C. (1999). — The use of *Folsomia candida* (Collembola, Isotomidae) for the bioassay of xenobiotic substances and soil pollutants. *Appl. Soil Ecol.*, 12 : 103-111.
- DAAS, O., DAAS, T. & DESCAMPS, M. (2003). — Étude de quelques paramètres biologiques chez *Eupolybothrus nudicornis* (Myriapode, chilopode) en vue de leur utilisation pour l'évaluation de la toxicité de composés chimiques utilisés en agriculture. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 128 : 239-246.
- DAAS, T., BOUZERNA, N. & DESCAMPS, M. (1995). — Influence des facteurs écologiques sur la répartition des Chilopodes dans l'Est Algérien. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 120 : 21-27.
- DAJOZ, R. (1998). — *Les insectes et la forêt. Rôle et diversité des insectes dans le milieu forestier*. Technique & Documentation, Paris.
- DAVID, J.-F. (1983). — *Contribution à l'étude des populations de Diplopedes en forêt d'Orléans et de leur rôle dans la dégradation de la litière*. Thèse de 3^{ème} Cycle, Orléans.

- DAVID, J.-F. (1987). — Consommation annuelle d'une litière de chêne par une population adulte du Diplopode *Cylindroiulus nitidus*. *Pedobiologia*, 30 : 299-310.
- DAVID, J.-F., DEVERNAY, S., LOUCOU-GARAY, G. & LE FLOC'H, E. (1998). — Below ground biodiversity in a Mediterranean landscape : Relationships between saprophagous macroarthropod communities and vegetation structure. *Biod. Conserv.*, 8 : 753-767.
- DAVID, J.-F., PONGE, J.-F. & DELECOUR, F. (1993). — The saprophagous macrofauna of different types of humus in beech forests of the Ardenne (Belgium). *Pedobiologia*, 37 : 49-56.
- DE BELAIR, G. (1990). — *Structure, fonctionnement et perspectives de gestion de quatre éco-complexes lacustres et marécageux (El-Kala – Est Algérien)*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier.
- DEMANGE, J.M. (1981). — *Les mille-pattes, Myriapodes*. Boubée, Paris.
- DESCAMPS, M. (1971). — Le cycle spermatogénétique chez *Lithobius forficatus* (Myriapode, Chilopode), influence des facteurs externes sur l'évolution du testicule et des vésicules séminales. *Arch. Zool. Exp. Gén.*, 112 : 731-746.
- DI CASTRI, F. & ASTIDILLO, V. (1966). — Analisis de algunas causas abioticas de variación en la densidad de la fauna del suelo. Pp 371-377 in : *Progressos en Biología del Suelo*. Actas del I Coloquio Latinoamericano de Biología del Suelo. Monogr. I. Unesco Montevideo.
- DUFRENE, M. (1988). — Description d'un piège à fosse efficace et polyvalent. *Bull. Annal. Soc. Roy. Belge Entomol.*, 124 : 282-285.
- DUNGER, W. & STEINMETZGER, K. (1981). — Ökologische Untersuchungen an Diplopoden einer Rasen-Wald-Catena im Thüringer Kalkgebiet. *Zool. Jb. Syst.*, 108 : 519-553.
- DUNXIAO, H., CHUNRU, H., YALING, D., BANWANG, H., LIYUAN, H., MAURIZIO, G. & PAOLETTI, D. (1999). — Relationship between soil Arthropods and soil properties in a suburb of Qianjiang City, Hubei, China. *Critical Rev. Plant Sci.*, 18 : 467-473.
- ELLIOTT, J.M. (1971). — Methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. *Freshwater Biol. Ass. Sci. Pub.*, 25 : 148.
- ERROL, V. & BENHOUGH, S. (2007). — Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *C.R. Biologies*, 330 : 589-605.
- FEENER, J.R. & SCHUPP, E.W. (1998). — Effects of treefall gaps on pathchiness and species richness of Neotropical ant assemblages. *Oecologia*, 116 : 191-201.
- GHILAROV, M.S. (1977). — Why so many species and so many individuals can coexist in the soil. *Ecol. Bull.*, 25 : 593-597.
- GILLER, P.S. (1996). — The diversity of soil communities, the poor man's tropical rain forest. *Biod. Conserv.*, 5 : 135-168.
- GROSSI, J.-L. & BRUN, J.-J. (1997). — Effect of climate and plant succession on lumbricid populations in the French Alps. *Soil Biol. Biochem.*, 29 : 329-333.
- HACH, X. (1989). — *DR/2000 spectrophotometer handbook*. Hach Company, Loveland, Colorado.
- HAMRA-KROUA, S. & CANCELA DA FONSECA, J.P. (2009). — Dynamique saisonnière du peuplement de Collemboles d'un sol agricole de la ferme pilote d'El-Baaraouia (Constantine, Algérie). *Bull. Instit. Sci. Rabat (Sciences de la Vie)*, 31 : 33-43.
- HELIÖLÄ, J., KOIVULA, M. & NIEMELÄ, J. (2001). — Distribution of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) across a boreal forest-clearcut ecotone. *Conserv. Biol.*, 15 : 370-377.
- HERBAUT, C. (1975). — Influence des facteurs externes sur le cycle ovogénétique chez *Lithobius forficatus* (Myriapode, Chilopode). *Arch. Zool. Exp. Gén.*, 116 : 293-302.
- HERBME, G. (1962). — Untersuchungen über das Vorkommen von Tausendfüßlern in landwirtschaftlich genutzten Boden des Dauerdüngungsversuches auf Dikopshof. *Z. Angew. Ent.*, 18 : 13-43.
- IATROU, G.D. & STAMOU, G.P. (1989). — Seasonal activity patterns of *Glomeris balcanica* (Diplopode : Glomeridae) in an evergreen-sclerophyllous formation in northern Greece. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 26 : 491-503.
- ISO (1998). — *Soil quality- inhibition of reproduction of Collembola (Folsomia candida) by soil pollutants*. ISO 11267, Inter. Stand. Org. Ed., Genève, 16.
- JANSSEN, B.H. (1993). — Gestion intégrée de la fertilisation : l'emploi des engrais organiques et minéraux. Pp 99-117 in : H. Van Reuler & W.H. Prins (eds.), *Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique sub-saharienne*. Ponsen et Looijen, Wageningen, Pays-Bas.
- JOLY, R. (1976). — Influence de quelques interventions expérimentales sur l'activité sécrétoire des glandes cérébrales chez *Lithobius forficatus* (Myriapode, Chilopode). *Gen. Comp. Endocrinol.*, 30 : 301-312.
- KAUTZ, G. & TOPP, W. (1998). — Sustainable forest management for improving soil quality. *Forst wissenschaftliches Centralblatt*, 117 : 23-43.
- KIME, R.D. (1992). — On abundance of west-European millipedes. *Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereins in Innsbruck.*, Suppl. 10 : 393-399.
- KUZNETSOVA, N.A. (2002). — Classification of collembolan communities in the East European taiga. Proceedings of the Xth international Colloquium on Apterygota, Ceske' Bude'jovice 2000 : Apterygota at the Beginning of the Third Millennium. *Pedobiologia*, 46 : 373-384.

- LAVELLE, P., DECAËNS, T., AUBERT, M., BAROT, S., BLOUIN, M., BUREAU, F., MARGERIE, P., MORA, P. & ROSSI, J.P. (2006). — Soil invertebrates and ecosystem services. *Europ. J. Soil. Biol.*, 42 : 3-15.
- LAVELLE, P., MARTIN, A., BLANCHART, E., GILOT, C., MELENDEZ, G. & PASHANASI, B. (1991). — Conservation de la fertilité des sols de savane par la gestion de l'activité de la macrofaune du sol. *Savanes d'Afrique, terres fertiles*, 12 : 371-400.
- LEBRUN, P. (1987). — Quelques réflexions sur les rôles exercés par la faune édaphique. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 24 : 495-501.
- LORANGER, G., BANDYOPADHYAYA, I., RAZAKA, B. & PONGE, J.F. (2001). — Does soil acidity explain altitudinal sequences in collembolan communities. *Soil Biol. Biochem.*, 33 : 381-393.
- MCCRACKEN, D.I., BIBNAL, E.M. & WENLOCK, S.E. (1995). — *Farming on the edge : the nature of traditional farmland*. Proceeding of the Fourth European Forum on Nature Conservation and Pastoralism. Trujilo
- MAGURA, T., TO THMERE, B. & ELEK, Z. (2003). — Diversity and composition of carabids during a forestry cycle. *Biod. Conserv.*, 12 : 73-85.
- MARCUZZI, G. (1970). — Experimental observations on the role of *Glomeris* sp. in the process of humification of litter. *Pedobiologia*, 10 : 401-406.
- MASSOUD, Z., BETSCH, J.-M. & THIBAUD, J.-M. (1984). — Expérience de piétinement contrôlé du sol d'une forêt périurbaine : effets sur le peuplement de Collemboles. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 21 : 507-518.
- MATHIEU, C. & PIELTAIN, F. (1998). — *Analyse physique du sol. Méthodes choisies*. Lavoisier Technique & Documentation, Paris.
- MATERNA, J. (2004). — Does forest type and vegetation patchiness influence horizontal distribution of soil Collembola in two neighbouring forest sites. *Pedobiologia*, 48 : 339-347.
- MIGLIORINI, P., PIGINO, G., CARUSO, T., FANCIULLI, P.P., LEONZIO, C. & BERNINI, F. (2005). — Soil communities (Acari Oribatida ; Hexapoda Collembola) in a clay pigeon shooting range. *Pedobiologia*, 49, 1-13.
- MULE, M.B. & LOMTE, V.S. (1994). — Effect of heavy metals (CuSO₄ and HgCl₂) on the oxygen consumption of the freshwater snail *Thiara tuberculata*. *J. Environ. Biol.*, 15 : 263-268.
- MÜLLER, H.J., BÄHRMANN, R., HEINRICH, W., MARSTALLER, R., SCHÄLLER, G. & WITSACK, W. (1978). — Zur Strukturanalyse der epigäischen Arthropodenfauna einer Rasen-Katena durch Kescherfänge. *Zool. Jb. Syst.*, 105 : 131-184.
- O'NEIL, R.V. (1968). — Population energetics of the millipede *Narceus americanus* (Beauvois). *Ecology*, 49 : 803-809.
- ODUM, E.P. (1971). — *Fundamentals of ecology*. Saunders, Philadelphia.
- OUEÛRAOGO, E., MANDO, A. & BRUSSAARD, L. (2004). — Soil macrofaunal mediated organic resource disappearance in semi-arid West Africa. *Applied Soil Ecol.*, 27 : 259-267.
- PAQUIN, P. & CODERRE, D. (1997). — Changes in soil macroarthropod communities in relation to forest maturation through three successional stages in the Canadian boreal forest. *Oecologia*, 112 : 104-111.
- PIËRI, C. (1989). — *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara*. Ministère de la Coopération et du Développement, CIRAD-IRAT, Montpellier.
- PONGE, J.-F. (1993). — Biocenoses of Collembola in Atlantic temperate grass-woodland ecosystems. *Pedobiologia*, 37 : 223-244.
- PONTËGNIE, M., WARNAFFE, G.B. & LEBRUN, P. (2005). — Impacts of silvicultural practices on the structure of hemiedaphic macrofauna community. *Pedobiologia*, 49 : 199-210.
- ROUBAH, L. & DESCAMPS, M. (2001). — Biologie des Oligochètes *Lumbricus terrestris*, *Allolobophora chlorohica* et *Dendrobaena pygmaea* dans le Constantinois (Est Algérien), *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 126 : 49-58.
- SCHEIFLER, R. (2002). — *Évaluation de la biodisponibilité et des transferts de polluants métalliques et organiques dans les réseaux trophiques « sol-plantes-invertébrés »*. Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon.
- SCHEU, S., ALBERS, D., ALPHEL, J., BURYN, R., KLAGES, U., MIGGE, S., PLATNER, C. & SALAMON, J.A. (2003). — The soil fauna community in pure and mixed stands of beech and spruce of different ages : trophic structure and structuring forces. *Oikos*, 101 : 225-238.
- SIEGEL, S. (1956). — *Nonparametric statistic for behavioral science*. McGraw-Hill, New York.
- THIELE, H.U. (1959). — Experimentelle Untersuchungen über die Abhkgigkeit bodenbewohnender Tierarten von Kalkgehalt des Standorts. 2. *Angew. Eitt.*, 44 : 1-21.
- TOOP, W., KAPPES, H., KULFAN, J. & ZACH, P. (2005). — Distribution pattern of woodlice (Isopoda) and millipedes (Diplopoda) in four primeval forests of the Western Carpathians (Central Slovakia). *Soil Biol. Biochem.*, 38 : 43-50.
- TOUTAIN, F. (1987). — Activité biologique des sols, modalités et lithodépendance. *Biol. Fert. Soils*, 3 : 31-38.
- TRÉHEN, P., BAILLIOT-DELEPORTE, S., BELLIDO, A., CANCELDA DA FONSECA, J.P., DELETTRE, Y. & DUCROTOY, J.-P. (1978). — Processus de colonisation des formations pionnières de la lande par quelques arthropodes édaphiques. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 103 : 379-384.
- USHER, M.B. (1969). — Some properties of the aggregations of soil arthropods : Collembola. *J. Anim. Ecol.*, 38 : 607-662.

- VAN DER DRIFT, J. (1975). — The significance of the millipede *Glomeris marginata* (Villers) for oak-litter decomposition and an approach of its part in energy flow. Pp 293-298 in : J. Vanek (ed.). *Progress in soil zoology*. The Hague.
- VANNIER, G. & CANCELA DA FONSECA, J.P. (1966). — L'échantillonnage de la micro-faune du sol. *Rev. Ecol (Terre Vie)*, 21 : 77-103.
- VOIGTLÄNDER, K. & DÜKER, C. (2001). — Distribution and species grouping of millipedes (Myriapoda, Diplopoda) in dry biotopes in Saxony-Anhalt, Eastern Germany. *Europ. J. Soil. Biol.*, 37 : 325-328.
- WALKLEY, A. & BLACK, I.A. (1934). — An examination of the Degtjareff for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil. Sci.*, 37 : 29-38.
- WALLWORK, J.A. (1976). — *The distribution and diversity of soil fauna*. Academic Press, London.
- WARDLE, D.A. (2002). — *Communities and ecosystems : linking the aboveground and belowground components*. Princeton University Press, Princeton.
- ZIMMER, M., BRAUCKMANN, H.J., BROLL, G. & TOPP, W. (2000). — Correspondence analytical evaluation of factors that influence soil macro-arthropod distribution in abandoned grassland. *Pedobiologia*, 44 : 695-705.
- ZIMMER, M., KAUTZ, G. & TOPP, W. (1996). — Olfaction in terrestrial isopods (Crustacea : Onischoidea) : responses of *Porcellio scaber* to odour of litter. *Europ. J. Soil. Biol.*, 32 : 141-147.
- ZIMMER, M. & TOPP, W. (2000). — Species-specific utilization of food sources by sympatric woodlice (Isopoda : Onischoidea). *J. Animal. Ecol.*, 69 : 1071-1082.

