

Étude rétrospective sur *Planorbarius metidjensis* et son rôle comme hôte intermédiaire potentiel dans la transmission de *Schistosoma haematobium* dans la région du Souss-Massa (Maroc)

B. Yacoubi (*,1), A. Moukrim (1), P. Vignoles (2), D. Rondelaud (2), A. Zekhnini (1)

(1) Laboratoire systèmes aquatiques : milieu marin et continental, Faculté des sciences, Université Ibn Zohr, BP 8106, 80000 Agadir, Maroc

(2) INSERM U 1094, Faculté de pharmacie, Université de Limoges, 87025 Limoges, France

*yacoubi.bouchra@gmail.com

4970 reçu le 22 octobre 2019, accepté le 13 mars 2020

Abstract: A retrospective study on *Planorbarius metidjensis* and its role as a potential intermediate host in the transmission of *Schistosoma haematobium* in the Souss-Massa region (Morocco)

A research retrospective study was carried out by our team on *Planorbarius metidjensis* to highlight its epidemiological role as a potential host snail of *Schistosoma haematobium* in the Souss-Massa region. Contrary to the habitats colonized by *Bulinus truncatus*, the main host snail, those of *P. metidjensis* are located in altitude (above 300 m). The best results of the experimental infections with *S. haematobium* were obtained using juvenile planorbids 2 to 3 mm in diameter and a dose of five miracidia per snail. No snail naturally infected with the parasite was found when dissecting 3457 adult bulinids and 2470 adult planorbids. Despite the location of its habitats in altitude, *P. metidjensis* is a potential intermediate host of *S. haematobium* and it is important to follow these populations, as those of *B. truncatus*, in the future to avoid possible reoccurrence of indigenous cases of the disease.

Résumé :

Une étude rétrospective des travaux de notre équipe sur *Planorbarius metidjensis* a été réalisée afin de souligner son rôle épidémiologique comme mollusque hôte potentiel de *Schistosoma haematobium* dans la région du Souss-Massa. À l'inverse des habitats colonisés par *Bulinus truncatus*, le principal mollusque hôte, ceux de *P. metidjensis* sont localisés en altitude (plus de 300 m). Les meilleurs résultats de l'infestation expérimentale avec *S. haematobium* ont été obtenus en utilisant des planorbes juvéniles de 2 à 3 mm en diamètre et une dose de cinq miracidiums par individu. Aucun individu infesté naturellement par le parasite n'a été trouvé lors de la dissection de 3457 bulins adultes et de 2470 planorbes adultes. Malgré la localisation de ses habitats en altitude, *P. metidjensis* est un hôte intermédiaire potentiel de *S. haematobium* et il importe de surveiller dans l'avenir ces populations, comme celles du bulin, afin d'éviter la réapparition éventuelle de cas autochtones de la maladie.

Bulinus truncatus
Planorbarius metidjensis
Schistosoma haematobium
Hôte intermédiaire
Infestation expérimentale
Paramètres physico-chimiques
de l'eau
Aït Baha
Assaka
Ida Ou Gnidif
Imouzzar
Massa
Sidi Belkacem
Tanalt
région du Souss-Massa
Maroc
Maghreb
Afrique du Nord

Bulinus truncatus
Planorbarius metidjensis
Schistosoma haematobium
Intermediate host
Experimental infection
Physico-chemical parameters of
water
Aït Baha
Assaka
Ida Ou Gnidif
Imouzzar
Massa
Sidi Belkacem
Tanalt
Souss-Massa region
Morocco
Maghreb
Northern Africa

Introduction

Au Maroc, la détection des premiers cas de bilharziose humaine date de plus d'un siècle. La maladie s'est largement répandue dans le pays à partir de 1967 en raison de la construction de nombreux barrages et du développement des zones irriguées (3,12). Cela a conduit à la mise en place d'un programme de contrôle intégré au début des années 1970 comprenant, entre autres, le dépistage et le traitement de la maladie dans la population, ainsi que le contrôle de la transmission de *Schistosoma haematobium* par la lutte chimique contre le mollusque hôte et/ou des modifications de l'environnement dans lequel il vit (3,12). L'application de ce programme sur le terrain s'est traduite par une diminution progressive du nombre de patients atteints de schistosomose dans le pays : de 35.596 cas en 1983 à 95 cas en 2003 (14,16). Dans la wilaya d'Agadir, par exemple, ce nombre est passé de 5763 patients infestés en 1975 à 3 en 2005 et à une absence de cas humains de 2006 à 2008 (12). Les efforts de lutte réguliers et le déficit pluviométrique (> 20 %) de 1990 à 2000 ont entraîné l'assèchement naturel des canaux d'irrigation, une réduction dans la densité des mollusques hôtes ainsi que dans celle de leurs habitats (1,2,12). Deux espèces de Planorbidae, à savoir *Bulinus truncatus* et *Planorbarius metidjensis*, ont été identifiées comme hôtes intermédiaires dans le cycle évolutif du parasite au Maroc. Le bulin a été reconnu comme le mollusque hôte principal de *S. haematobium* (1,2) tandis que *P. metidjensis* n'aurait qu'un rôle secondaire (12). La sensibilité expérimentale de la planorbe aux isolats locaux du parasite a été étudiée par plusieurs auteurs. Southgate et al (22) n'ont pas réussi à obtenir le développement larvaire complet de *S. haematobium* avec émission de cercaires. Par contre, des émissions cercariennes ont été obtenues chez *P. metidjensis* lors d'essais ultérieurs pratiqués par notre équipe (19,20,28) ou par Khallaayoune et Laamrani (11). Sur une gamme de diamètres de coquille, comprise entre 1 et 6 mm, la tranche la plus sensible pour l'infestation de *P. metidjensis* se situait entre 2,1 et 3 mm avec une prévalence de 63 % (28,29). Ces premiers essais ont été complétés par une expérience en laboratoire sur la sensibilité de plusieurs populations de planorbes à l'infestation expérimentale (25) et des études écologiques sur les habitats du bulin et de la planorbe dans la province d'Agadir (26,27).

Dans la région du Souss-Massa, il existe une différence nette entre les habitats de *P. metidjensis* et ceux occupés par le bulin. Les premiers sont situés en altitude (de 340 m à 1360 m), tandis que le bulin

est plutôt une espèce de plaine (de 8 m à 727 m) (26,27). De plus, le nombre de sites occupés par la planorbe est supérieur à ceux colonisés par le bulin (27). Malgré cette localisation particulière des habitats, la conclusion formulée par Southgate et al (22) sur le rôle mineur, que la planorbe jouerait dans l'épidémiologie de la maladie au Maroc, semble être un facteur limitant pour la réalisation d'études sur cette espèce. C'est ainsi que *P. metidjensis* n'a pas été récolté dans les études d'Amarir et al (1), alors que les auteurs concluent à l'interruption du cycle évolutif de *S. haematobium* dans le pays, quelle que soit l'espèce du mollusque hôte. Devant cet état de fait, il nous a paru opportun de faire une étude rétrospective sur les résultats que notre équipe a obtenus lors de nos études écologiques et parasitologiques sur la planorbe, et d'analyser ces données en fonction des observations faites sur des mollusques hôtes d'autres Digènes.

Matériel et méthodes

Investigations sur le terrain

Le protocole d'étude a déjà été publié (27). Il comprend deux étapes. Dans un premier temps, cinq oueds : Oued Massa, Oued Souss, Oued Tafsrert, Oued Tamraght et Oued Tamri, ainsi que leurs affluents, ont été prospectés de manière systématique entre 1990 et 1993 pour y rechercher des habitats colonisés par *B. truncatus* ou par *P. metidjensis*, et étudier la dynamique de leurs populations (18). Dans une deuxième étape (1995-1998), des investigations sur les espèces de mollusques et des mesures physico-chimiques ont été réalisées en mars dans chaque station avec *B. truncatus* ou *P. metidjensis*, ainsi que dans 12 autres sites voisins des précédents, mais dépourvus de bulins ou de planorbes. Le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissous ont été mesurés directement dans l'eau de chaque site (entre 10 et 11 heures). Des échantillons d'eau ont été recueillis à 10 cm sous la surface et ont été transportés au laboratoire entre 4° et 6° C et à l'obscurité. Des mesures de routine pour l'ammonium, le CaCO₃, les chlorures, les matières en suspension, les nitrates, les phosphates, le potassium, le sodium et les sulfates ont alors été effectuées selon la méthodologie de Rodier (21). Dix espèces de mollusques ont été trouvées dans une ou plusieurs de ces stations et ont été identifiées selon les clés proposées par Brown (5) et Ghamizi (9) pour les mollusques marocains.

Les valeurs individuelles enregistrées pour les 12 paramètres physico-chimiques ont été soumises à une analyse en composantes principales pour détecter

Tableau I

Principales caractéristiques de l'infestation expérimentale de *Planorbarius metidjensis* par des isolats locaux de *Schistosoma haematobium*. Tous les élevages ont été maintenus à 24°-26° C et les coquilles des individus infestés à leur mort étaient hautes de 5 à 6 mm en moyenne. Ass., assèchement débutant lors de la première émission de cercaires

Main features of the experimental infection of *Planorbarius metidjensis* with sympatric isolates of *Schistosoma haematobium*. All snail aquaria were maintained at 24°-26°C and the shells of infected individuals at their death were 5 to 6 mm in diameter. Ass., drying starting at the first cercarial shedding

Origine géographique des planorbes		Nombre de miracidiums par mollusque	Survie en % au 30 ^e ou au 35 ^e jour	Nombre de mollusques infestés (%)	Nombre de cercaires émises*
Population	Diamètre et nombre lors de l'exposition				
Sensibilité des nouveau-nés au parasite (19)					
Sidi Belkacem	< 2 mm, 100	5	65 %	45 (69,2 %)	1935 (1101)
Influence de la dose miracidienne (20)					
Sidi Belkacem	< 2 mm, 100	1	29 %	5 (16,9 %)	1728 (1284)
	< 2 mm, 100	2	39 %	28 (73,6 %)	1570 (1288)
	< 2 mm, 100	5	48 %	42 (86,5 %)	1935 (1101)
Influence de la taille de la planorbe lors de l'exposition (29)					
Sidi	1-2, 50	2	82 %	10 (24,3 %)	Pas de données
Belkacem	2,1-3, 50	2	92 %	29 (63,0 %)	
	3,1-4, 50	2	78 %	13 (33,3 %)	
	4,1-5, 50	2	66 %	6 (18,1 %)	
	5,1-6, 50	2	70 %	1 (2,8 %)	
Variabilité interpopulationnelle de l'infestation (25)					
Sidi	2-3 mm, 60	2	98,3 %	38 (65,1 %)	3343 (940)
Belkacem					
Imouzzer	2-3 mm, 58	2	91,4 %	34 (64,1 %)	3346 (1165)
Ida Ou Gnidif	2-3 mm, 60	2	96,7 %	37 (62,7 %)	1398 (745)
Effet d'un assèchement expérimental (30)					
Sidi					
Belkacem					
Pas d'ass.	2-3 mm, 82	2	92,3 %	69 (63,4 %), divisé en 3	3351 (970)
5 jours d'ass.				lots de 23	2243 (1121)
10 jours d'ass.					1136 (603)

* Moyenne (écart type).

les principales caractéristiques de l'environnement (24). Une analyse des correspondances multiples a ensuite été utilisée pour relier les caractéristiques environnementales et la présence des espèces (13). La relation entre la présence des mollusques hôtes et les caractéristiques environnementales a été étudiée à l'aide d'une régression logistique binaire (en utilisant une régression pas-à-pas descendante, basée sur les statistiques de Wald). Les odds ratios (OD) ont également été calculés pour indiquer le risque.

Infestations expérimentales de la planorbe

Le tableau 1 indique les conditions dans lesquelles les infestations expérimentales réalisées par notre équipe ont été réalisées. Des nouveau-nés (moins de 72 heures de vie) ont été utilisés jusqu'en 1996 (19,20). Par la suite, des juvéniles mesurant 2 à 3 mm de diamètre ont été utilisés car c'est la tranche d'âge pour laquelle la prévalence de l'infestation était la plus élevée (28,29).

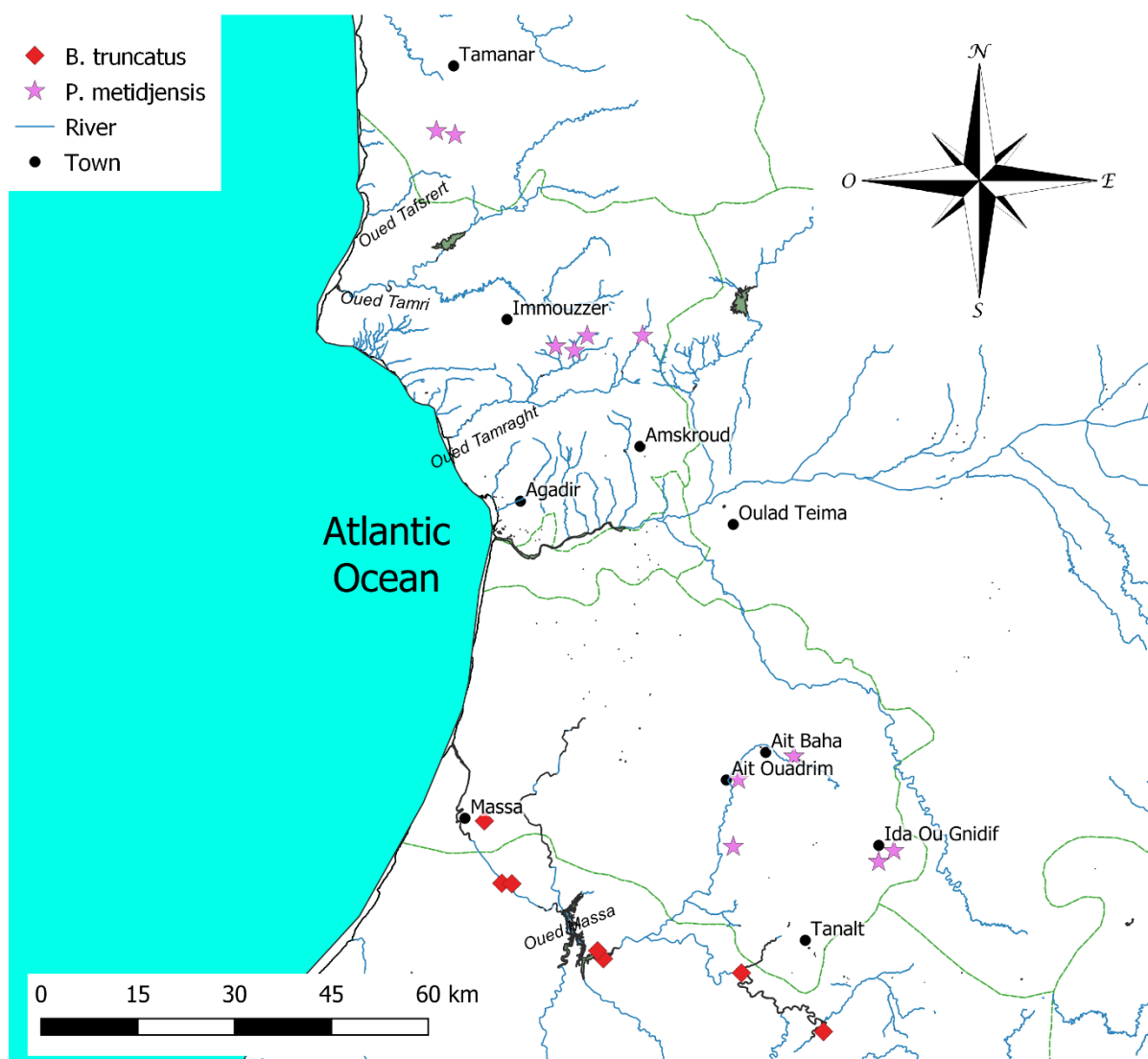
Le protocole de l'infestation a déjà été publié dans

les articles précités. Des individus de taille variable (de < 2 mm jusqu'à 6 mm), provenant d'œufs pondus au laboratoire par des individus adultes récoltés sur le terrain, ont été exposés à 1, 2 ou 5 miracidiums selon la nature de l'expérience à réaliser. Les œufs du parasite provenaient d'urines récoltées chez des écoliers par les techniciens du Service des infrastructures et des actions ambulatoires provinciales (SIAAP) d'Agadir. Les planorbes ont ensuite été élevées en aquariums à 24°-26° C pendant 30 ou 35 jours (selon les expériences) avant d'être placées isolément dans des boîtes de Pétri (diamètre, 35 mm) pour le suivi des émissions cercariennes. Dans tous les cas, la nourriture était constituée par de la salade fraîche. Dans l'expérience de Zekhnini et al (29), les survivants au 30^e jour ont été divisés en trois lots d'importance égale et ces derniers ont été soumis, pour deux d'entre eux, à un assèchement expérimental de 5 ou 10 jours avant que le sédiment ne soit réhydraté. Les émissions cercariennes ont alors été étudiées selon le même mode que ci-dessus. La

Figure 1

Localisation des 11 stations colonisées par *Planorbarius metidjensis* et des sept sites occupés par *Bulinus truncatus* dans la région du Souss-Massa

Location of the 11 stations colonized by *Planorbarius metidjensis* and of the seven sites by *Bulinus truncatus* in the Souss-Massa region



survie des individus au 30^{ème} ou au 35^{ème} jour, la prévalence de l'infestation et le nombre de cercaires émises sont les seuls paramètres considérés dans cette étude rétrospective.

Infestations naturelles éventuelles de la planorbe et du bulin

Des planorbes et des bulins adultes ont été récoltés de 1999 à 2005 dans leurs habitats naturels afin d'y rechercher des individus naturellement infestés par *S. haematobium*. La taille retenue pour ces mollusques est de 6 mm au moins pour *P. metidjensis* et de 7 mm ou plus pour *B. truncatus*. Ces prélèvements ont été effectués en février et en avril, et portent chacun sur 25 à 50 individus par habitat selon l'abondance de la population. Selon les années, plusieurs prélèvements n'ont pas pu être effectués

dans les habitats d'Ait Baha, d'Ida Ou Gnidif ou de Tanalt en raison de leur assèchement précoce dû aux conditions climatiques locales. Après leur transport au laboratoire dans des conditions isothermes, les mollusques ont été disséqués sous un stéréomicroscope. Aucune étude de biologie moléculaire n'a été effectuée sur ces mollusques pour y détecter de l'ADN de *S. haematobium*.

Résultats

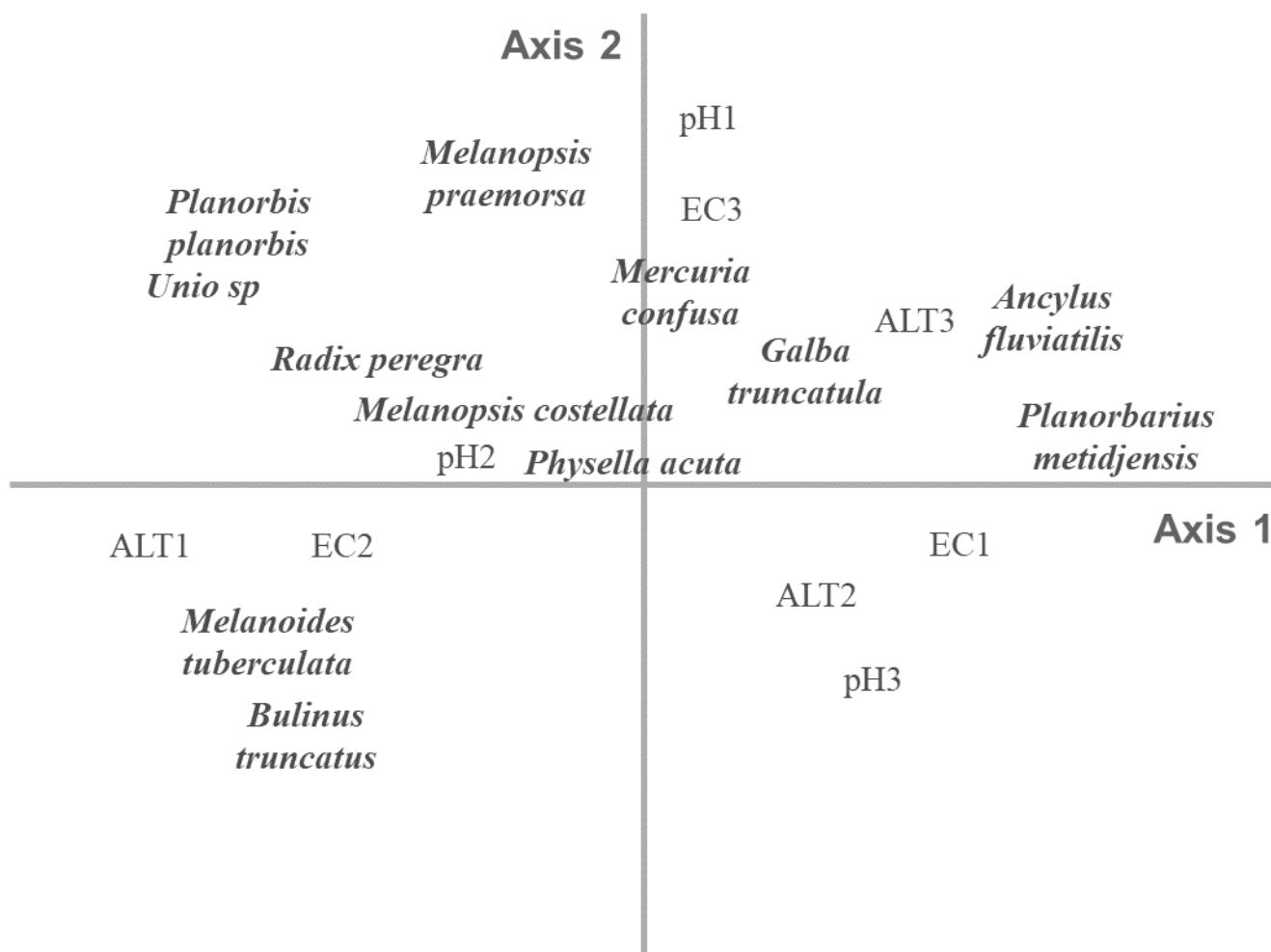
Les habitats de *Planorbarius metidjensis*

Onze stations avec *P. metidjensis* ont été identifiées dans la région du Souss-Massa (Fig. 1). À Sidi Belkacem (650 m d'altitude), une source pérenne et une rivière saisonnière étaient colonisées par *P. metidjensis*. Les trois habitats d'Imouzer, à savoir une

Figure 2

Répartition des 12 espèces de mollusques d'eau douce en relation avec l'altitude (ALT), le pH de l'eau et la conductivité électrique dans l'eau (EC). Les valeurs enregistrées pour chacun de ces paramètres sont classés en trois groupes de valeurs croissantes (1, 2 ou 3) dans cette analyse de correspondance multiple. D'après Yacoubi, Zekhnini, Rondelaud et al., 2007. Habitats of *Bulinus truncatus* and *Planorbarius metidjensis*, the intermediate hosts of urinary schistosomosis, under a semiarid or an arid climate. Parasitol Res 101: 311–316 (Fig. 3, page 315). RightsLink Printable License no. 4666950945666. Avec la permission de Springer Nature.

Distribution of 12 species of freshwater snails in relation to altitude (ALT), pH of water and electrical conductivity in water (EC). The values recorded for each of these parameters are classified into three groups of increasing values (1, 2 or 3) in this multiple correspondence analysis. From: Yacoubi, Zekhnini, Rondelaud et al., 2007. Habitats of *Bulinus truncatus* and *Planorbarius metidjensis*, the intermediate hosts of urinary schistosomosis, under a semiarid or an arid climate. Parasitol Res 101: 311–316 (Fig. 3, page 315). RightsLink Printable License no. 4666950945666. With permission from Springer Nature



source pérenne, un barrage et un canal d'irrigation soumis régulièrement à de courtes périodes d'assèchement naturel (1160-1165 m d'altitude), sont répartis le long de deux affluents de la rivière Oued Tamraght. La présence de la planorbe a également été notée dans une source pérenne à Assaka (340 m d'altitude) dans la haute vallée d'un autre affluent de la rivière Oued Tamraght. Enfin, elle a été trouvée dans une source pérenne et une cascade à Ida Ou Gnidif (1340-1360 m d'altitude) et dans trois autres affluents saisonniers à Aït Baha (altitude comprise entre 540 et 670 m). La planorbe a donc été observée dans des stations d'altitude (plus de 300 m), situées dans la haute vallée de trois rivières.

La présence du bulin a été notée dans un barrage

et une rivière saisonnière dans le district de Tanalt (645 à 727 m d'altitude), et dans deux barrages et trois canaux d'irrigation dans celui de Massa (moins de 100 m d'altitude). Aucune station n'a montré la présence du bulin et de la planorbe dans le même site.

Dix autres espèces de mollusques ont été observées dans les mêmes stations. Les plus fréquentes étaient *Ancylus fluviatilis* dans les sites colonisés par *P. metidjensis* et *Physella acuta* chez ceux habités par *B. truncatus*.

L'analyse en composantes principales a montré que les descripteurs majeurs de l'environnement étaient l'altitude, le pH de l'eau et la conductivité électrique (résultats non présentés). Ces derniers ont été

intégrés dans l'analyse des correspondances multiples (Fig. 2). Les deux premiers axes représentaient 53 % d'inertie. Le bulin *y* est associé à *Melanoides tuberculata* et a été trouvé dans des sites de basse altitude où la conductivité électrique était moyenne. La planorbe est associée à *A. fluviatilis* et ceci à une altitude nettement plus élevée. Les régressions logistiques ont montré que l'altitude (OD = 0,97) et l'oxygène dissous (OD = 2,17) étaient les principales caractéristiques des sites avec *B. truncatus*. Dans le cas de *P. metidjensis*, ces caractéristiques étaient les chlorures (OD = 0,97) et CaCO₃ (OD = 1,1). Ces odds ratios ne sont pas très différents de 1, ce qui indique une description limitée des sites à risque, sauf pour l'oxygène dissous et *B. truncatus*.

Infestations expérimentales de la planorbe

L'analyse du tableau 1 montre que les meilleurs résultats pour la population de Sidi Belkacem ont été obtenus en utilisant des juvéniles mesurant 2,1 à 3 mm de diamètre lors de l'exposition et une dose de 5 miracidiums par individu. Mais l'augmentation du nombre de miracidiums lors de l'exposition ne se traduit pas par celle du nombre moyen de cercaires émises car ce dernier reste dans les mêmes valeurs dans les trois séries d'individus exposés aux miracidiums dès leur naissance. On peut noter, de plus, une variabilité dans la production cercarienne en fonction de l'origine géographique des populations utilisées pour l'expérimentation. Les planorbes d'Ida Ou Gnidif ont fourni une production moyenne de 1398 cercaires par individu infesté au lieu des 3343 et 3346 cercaires dans les groupes de Sidi Belkacem et d'Imouzzer respectivement. Un assèchement expérimental de 5 ou de 10 jours retentit sur la production cercarienne de *S. haematobium* dans le sens d'une diminution et cette baisse est d'autant plus importante que la durée de l'assèchement se prolonge.

Planorbes et bulins récoltés dans leurs habitats

Malgré les 3457 bulins et les 2470 *P. metidjensis* récoltés sur une période de six années, aucun individu n'a été trouvé infesté par *S. haematobium*.

Discussion

Dans la région du Souss-Massa, il existe une démarcation nette entre les habitats de *P. metidjensis* et ceux du bulin. Si la planorbe vit préférentiellement en altitude (de 340 à 1560 m), le bulin est une espèce de plaine et se rencontre essentiellement dans les réservoirs de barrages et les canaux d'irrigation. De plus, aucune station n'a montré la présence des deux espèces. Cette situation a permis

à Yacoubi et al (27) d'émettre l'hypothèse que la planorbe pourrait être l'hôte intermédiaire principal dans les zones d'altitude. Cet habitat particulier de la planorbe dans le sud-ouest marocain suggère que cette espèce soit prise en compte, au même titre que le bulin, dans le contrôle intégré de la schistosomose que le ministère de la santé publique du Royaume a mis en place depuis les années 1970 (3,12). Même si ce programme a abouti à la disparation des cas autochtones de la maladie (12), la surveillance de ces gîtes à planorbes et le contrôle éventuel de leurs populations se révèlent nécessaires car on ne peut exclure une contamination de ces mollusques par des migrants ou des travailleurs saisonniers provenant de pays subsahariens et, par suite, le développement de cas autochtones dans la population locale.

Dans le cadre de nos expériences, la prévalence la plus élevée a été notée chez des juvéniles mesurant 2 à 3 mm lors de l'exposition et ce taux d'infestation décroît graduellement lorsque le diamètre de la coquille augmente. Ces données nous permettent d'émettre l'hypothèse qu'il existerait un seuil dans l'infestation de *P. metidjensis* au-delà duquel le parasite ne peut pas se développer en raison de l'âge de la planorbe. Seuls les juvéniles et les pré-adultes pourraient mener à terme le développement des formes larvaires de *S. haematobium*. L'explication la plus fréquente proposée par des auteurs pour expliquer cette résistance à l'infestation en fonction de l'âge du mollusque est l'immaturité du système de défense immunitaire chez les juvéniles (7), ce qui permet au parasite de se développer chez ces derniers jusqu'au stade cercaire. Les quelques mollusques infestés, que Khallaayoune et Laamrani (11) ont notés dans le groupe des 8 à 10 mm lors de l'exposition, peuvent s'expliquer par une variabilité de ce seuil selon les populations de planorbes ou par une perturbation de leur système de défense par un agent extérieur comme cela a déjà été rapporté chez une population de *Lymnaea ovata* soumise à des contacts réguliers avec un herbicide dans son habitat avant que les limnées ne soient infestées par *Fasciola hepatica* au laboratoire (8).

Les résultats, que nous avons obtenus sur la prévalence de l'infestation et la production cercarienne dans les séries expérimentales, peuvent aussi s'interpréter en admettant l'existence d'un schistosome hybride du type *S. haematobium* x *Schistosoma bovis* chez un ou plusieurs des écoliers à l'origine des œufs utilisés pour nos expériences, car *P. metidjensis* est connu pour être un hôte intermédiaire naturel de *S. bovis* (17,23). Des hybrides avec cette séquence ont déjà été signalés au Bénin, au Niger et au Sénégal (10) et, plus récemment, en Corse (4). Même si cette

hypothèse est difficile à vérifier sur le terrain en raison de la disparition actuelle de la schistosomose autochtone, elle ne peut être complètement exclue et nécessite d'être prise en compte si des cas humains sont à nouveau détectés dans les zones où vivent les planorbes.

Les résultats négatifs notés lors de la dissection des bulins et des planorbes adultes sont en accord avec ceux que le contrôle intégré de la schistosomose a permis d'obtenir au Maroc (3,12). Il faut noter cependant que le diamètre minimal de 6 mm utilisé pour sélectionner les planorbes adultes dans leurs habitats correspond également à la taille maximale que la plupart des individus infestés atteignent dans le cadre de nos expériences. Dans ces conditions, il est possible que les planorbes sélectionnées dans nos échantillons n'étaient, en fait, constitués que d'individus non parasités.

Conclusion

La localisation de *P. metidjensis* dans des habitats d'altitude de la région du Sous-Massa peut justifier le rôle secondaire de cette espèce comme hôte intermédiaire dans la transmission locale de la schistosomose. Cependant, la planorbe est un hôte intermédiaire potentiel de *S. haematobium* et il importe de surveiller dans l'avenir les populations de ce mollusque afin d'éviter la réapparition éventuelle de cas humains autochtones si ces planorbes étaient contaminées par des migrants ou des saisonniers en provenance d'un autre pays.

Références

1. Amarir F, Sebti F, Abbasi I, et al (2014) *Schistosoma haematobium* detection in snails by DraI PCR and Sh110/Sm-SI PCR: further evidence of the interruption of schistosomiasis transmission in Morocco. *Parasit Vectors* 7:288. doi: 10.1186/1756-3305-7-288
2. Amarir F, Fellah H, Sebti F et al (2014) Élimination de la bilharziose urinaire au Maroc: arguments sérologiques et malacologiques. *Bull Inst Nat Hyg* 2:2-3
3. Barkia H, Barkia A, Nhammi H, et al (2011) La schistosomiase au Maroc: de sa découverte à l'après-élimination. *East Mediterr Health J* 17(3):250-6
4. Boissier J, Grech-Angelini S, Webster BL, et al (2016) Outbreak of urogenital schistosomiasis in Corsica (France): an epidemiological case study. *Lancet Infect Dis* 16(8):971-9. doi: 10.1016/S1473-3099(16)00175-4. Epub 2016 May 17
5. Brown DS (1994) *Freshwater snails of Africa and their medical importance*. Taylor & Francis, London, 608 p
6. Doumenge JP, Mott KE, Cheung C et al (1987) *Atlas de la répartition mondiale des schistosomoses*. Organisation Mondiale de la Santé, Programme des Maladies Parasitaires. Presses Universitaires, Bordeaux, 400 p
7. Dreyfuss G, Abrous M, Rondelaud D (2000) The susceptibility of *Lymnaea fuscus* to experimental infection with *Fasciola hepatica*. *J Parasitol* 86(1):158-60
8. Dreyfuss G, Vignoles P, Rondelaud D (2000) Variability of *Fasciola hepatica* infection in *Lymnaea ovata* in relation to snail population and snail age. *Parasitol Res* 86(1): 69-73
9. Ghamizi M (1998) *Les mollusques des eaux continentales du Maroc : systématique et bioécologie*. Thèse de Doctorat, Université de Marrakech, 554 p
10. Huyse T, Webster BL, Geldof S, et al (2009) Bidirectional introgressive hybridization between a cat-tle and human schistosome species. *PLoS Pathog* 5(9):e1000571. doi: 10.1371/journal.ppat.1000571. Epub 2009 Sep 4
11. Khallaayoune K, Laamrani H (1995) Experimental study on the compatibility between *Planorbarius metidjensis* and *Schistosoma haematobium* in Morocco. *Res Rev Parasitol* 55:227-30
12. Laaziri M (2012) *Élimination de la schistosomiase au Maroc : une réalité et un succès après trois décennies de lutte*. Organisation Mondiale de la Santé, Bureau Régional de la Méditerranée Orientale, Le Caire, 162 p
13. Lebart L, Piron M, Morineau A (2006) *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. Dunod, Paris, 480 p
14. Ministère de la Santé Publique, Direction de l'Epidémiologie et de la Lutte contre les Maladies, Maroc (1983) *Rapport d'activité annuel des programmes de lutte contre les maladies parasitaires*. *Bull Epidémiol* 1983:11-4
15. Ministère de la Santé Publique, Direction de l'Epidémiologie et de la Lutte contre les Maladies, Maroc (2006) *Etat d'avancement des programmes de lutte contre les maladies parasitaires*. *Bull Epidémiol* 2006:45
16. Ministère de la Santé Publique, Direction de l'Epidémiologie et de la Lutte contre les Maladies, Maroc (2013) *Rapport d'activité annuel des programmes de lutte contre les maladies parasitaires*. *Bull Épidémiol* 2013:28
17. Mouahid A, Théron A (1987) *Schistosoma bovis*: variability of cercarial production as related to the snail hosts: *Bulinus truncatus*, *B. wrighti* and *Planorbarius metidjensis*. *Int J Parasitol* 17(8):1431-4
18. Moukrim A, Zekhnini A, Rondelaud D (1993) Observations écologiques sur les hôtes intermédiaires de *Schistosoma haematobium* Bilharz dans la province d'Agadir (Maroc). *Bull Soc Fr Parasitol* 11:223-30
19. Moukrim A, Zekhnini A, Rondelaud D (1995) A comparative study of the shedding of cercariae of *Schistosoma haematobium* in newborn *Bulinus truncatus* and *Planorbarius metidjensis*. *Parasitol Res* 81(6):537-9
20. Moukrim A, Zekhnini A, Rondelaud D (1996) *Schistosoma haematobium*: influence of the number

- of miracidia on several characteristics of infection in newborn *Planorbarius metidjensis*. Parasitol Res 82(3):267-9
21. Rodier G (2016) L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, Paris, 1824 p
 22. Southgate VR, Wright CA, Laaziri HM, Knowles RJ (1984) Is *Planorbarius metidjensis* compatible with *Schistosoma haematobium* and *S. bovis*? Bull Soc Pathol Exot Filiales 77(4):409-506.
 23. Touassem R, Jourdane J (1986) Etude de la compatibilité de *Schistosoma bovis* du Soudan et d'Espagne vis-à-vis de *Bulinus truncatus* de Tunisie et *Planorbarius metidjensis* du Maroc. Ann Parasitol Hum Comp 61(1):43-54. doi : 10.1051/parasite/198661143
 24. Yacoubi B (1999) Etude de la relation hôte-parasite dans le couple *Planorbarius metidjensis*- *Schistosoma haematobium* dans la Wilaya d'Agadir. Thèse de Doctorat, Université d'Agadir
 25. Yacoubi B, Zekhnini A, Moukrim A et al (1999) *Schistosoma haematobium*: comparative study on infection characteristics in three populations of *Planorbarius metidjensis* from the Agadir region in South Morocco. Parasitol Res 85:239-42
 26. Yacoubi B1, Zekhnini A, Moukrim A, Rondelaud D (2007) Bulins, planorbes et endémie bilharzienne dans le sud-ouest marocain. Bull Soc Pathol Exot 100(3):174-5 [<http://www.pathexo.fr/documents/articles-bull/T100-3-3026-2p.pdf>]
 27. Yacoubi B, Zekhnini A, Rondelaud D, et al (2007) Habitats of *Bulinus truncatus* and *Planorbarius metidjensis*, the intermediate hosts of urinary schistosomosis, under a semiarid or an arid climate. 101(2):311-6. Epub 2007 Mar 6
 28. Zekhnini A (1994) Contribution à l'étude de l'infestation expérimentale chez *Planorbarius metidjensis* Forbes et *Bulinus truncatus* Audouin par *Schistosoma haematobium* Bilharz dans la région d'Agadir (Ma-roc). Thèse de Doctorat, Université d'Agadir
 29. Zekhnini A, Yacoubi B, Moukrim A, Rondelaud D (1997) *Schistosoma haematobium*: comparative studies on prevalence and cercarial shedding according to the shell diameter of *Planorbarius metidjensis* at miracidial exposure. Parasitol Res 83: 303-5
 30. Zekhnini A, Yacoubi B, Moukrim A et al (2002) Effect of a short period of desiccation during the patent period on cercarial shedding of *Schistosoma haematobium* from *Planorbarius metidjensis*. Parasitol Res 88:768-71