

Rôle des paramètres de conception, de gestion et de maintenance des périmètres irrigués dans la transmission et la lutte contre la bilharziose au Maroc central

Hammou Laamrani, Eline Boelee

Au Maroc, les premiers cas de bilharziose uro-génitale étaient diagnostiqués en 1914 à Marrakech. De nombreuses études avaient démontré par la suite que la maladie était répandue dans les oasis au sud du pays, le long du versant sud de l'Atlas. Le développement des ressources en eau et l'extension des périmètres irrigués a créé des conditions favorables au développement et à la prolifération de populations de mollusques hôtes intermédiaires. Parallèlement, la migration des populations des zones d'endémie vers les plaines irriguées qui ont connu un essor économique et social a eu pour conséquence l'introduction de la maladie dans les périmètres nouvellement irrigués (carte 1). Cela a été le cas pour le périmètre de Zaïo au Nord et ceux de Tadla et de Tessaout Amont au Centre du pays. Les efforts de lutte contre la bilharziose déployés par le ministère de la Santé ont abouti à la maîtrise de la situation mais le risque de ré-émergence du problème

demeure éminent tant que l'objectif d'élimination de la maladie n'a pas été atteint [3]. Le principal atout dans l'effort de lutte demeure la chimiothérapie par des campagnes de masse où tous les cas détectés sont systématiquement traités. En plus, la lutte contre l'hôte intermédiaire par l'emploi de molluscicides chimiques constitue un moyen adjuvant. Au cours des dernières années, le recours aux méthodes de lutte environnementale a été adopté par le ministère au vu de la flambée des prix des molluscicides chimiques et leurs effets nocifs sur la faune non cible. L'expérience acquise dans l'utilisation des méthodes de lutte environnementale dans le périmètre irrigué de Tessaout Amont a montré la faisabilité et l'efficacité de certaines modifications du milieu dans la lutte contre le mollusque hôte intermédiaire, *Bulinus truncatus* [4, 5].

La présente étude a pour objectif de montrer le rôle de la conception des ouvrages d'irrigation et de la gestion de l'eau en termes de fréquence et de durée d'irrigation dans l'écologie et la dynamique des populations d'une part, et du contrôle des populations de l'hôte intermédiaire par des méthodes d'ingénierie simple dans les périmètres irrigués modernes, d'autre part. L'hypothèse de départ est que la compréhension de l'épidémiologie de la schistosomiase passe par une connaissance de l'écologie de l'hôte intermédiaire [6, 7]. Cette connaissance sert aussi de base à la conception et à la mise en place de méthodes de lutte adé-

quates, y compris des mesures d'engineering élémentaires peu coûteuses, durables et efficaces [8].

Matériel et méthode

Région d'étude

Le périmètre de Tessaout Amont est situé dans la partie Est de la plaine du Haouz à 70 km à l'est de Marrakech (carte 1). Il s'agit d'une plaine à vocation agricole avec essentiellement la culture de céréales et d'oliviers. La superficie irriguée est de 53 000 ha et la région appartient à l'étage bioclimatique aride. Les précipitations moyennes annuelles sont de 300 mm avec 200 mm au nord du périmètre (570 m d'altitude) et 400 mm dans la partie Sud (780 m d'altitude). La saison pluvieuse s'étend d'octobre à mai et est suivie d'une saison sèche. La température moyenne annuelle est de 20 °C avec des maxima allant jusqu'à 45 °C et des minima allant jusqu'à - 5 °C en hiver. L'évaporation moyenne mensuelle varie de 64 mm en janvier à 350 mm en août.

Sites d'étude

Tessaout Amont est l'exemple type d'un périmètre moderne d'irrigation gravitaire au Maroc. L'eau y est distribuée à partir du barrage Moulay Youssef qui alimente une station hydroélectrique puis un barra-

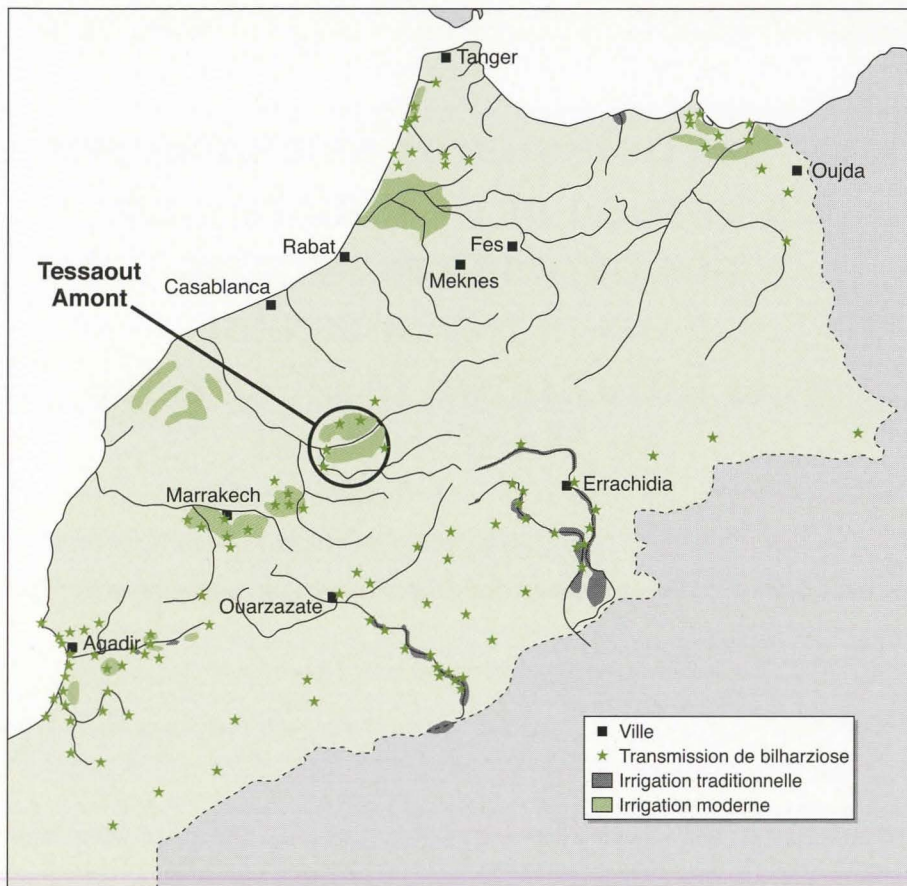
H. Laamrani : Département de biologie, Faculté des sciences Semlalia, BP 155, Gueliz Marrakech, Maroc.

<laamrani2001@yahoo.co.hk>

E. Boelee : International Water Management Institute, PO Box 2075, Colombo, Sri Lanka. <e.boelee@cgiar.org>

Tirés à part : E. Boelee

Thèmes : Système agricole ; Eau, irrigation.



Carte 1. Répartition des périmètres irrigués et de la bilharziose au Maroc (d'après [1] et [2]). La région d'étude, le périmètre du Tessaout Amont, est située au Maroc central (indiqué par le cercle).

Map 1. Irrigated areas and sites of qchistosomiasis transmission in Morocco (after [1] and [2]). The study area, the Tessaout Amont irrigation system in Central Morocco, is indicated by a circle.

ge de compensation. Ensuite, des canaux primaires de section trapézoïdale d'une longueur totale de 55 km, et où l'eau coule à ciel ouvert, desservent des canaux secondaires, cimentés, de section circulaire, débits et longueurs parfois au ras du sol. Ceux-ci, à leur tour, conduisent l'eau aux canaux tertiaires qui desservent une main d'eau, soit un débit de 30 l/s aux canaux quaternaires qui sont en terre et qui alimentent les parcelles. À la sortie des canaux secondaires et tertiaires, et au niveau des pistes et passages piétons, un système de siphons conçus avec un puisard amont (édifice cubique d'environ 2 m x 1 m x 1 m) et un puisard aval (mêmes dimensions) reliés par une buse souterraine (de 6 m en moyenne). La mise en eau est contrôlée à l'aide d'un système de vannes, vannettes et modules à masques. Les siphons étant sous le niveau du sol, ils contiennent en permanence de l'eau qui est utilisée en tant que source d'eau par les villageois. La gestion et

l'entretien du réseau sont assurés en partie par les usagers et en partie par l'Office de mise en valeur agricole du Haouz, agence gouvernementale responsable de la gestion et de l'exploitation du réseau.

Irrigation

L'eau délivrée au niveau d'un canal tertiaire est partagée entre plusieurs agriculteurs. Le débit total de 30 l/s est desservi par alternance entre les ayants-droits. Ce système de rotation permet une économie d'eau d'au moins 25 % par rapport à l'alimentation permanente du système d'irrigation. Dans les périodes à pluviométrie normale, la saison agricole est intensive entre avril/mai et septembre/octobre et la mise en eau devient intermittente, tout comme elle peut être arrêtée pendant des semaines hors de cette saison, en particulier après les précipitations. Le programme de la campagne agricole est établi en coordination entre les agriculteurs et les

autorités qui gèrent le réseau et est limité par les besoins en eau des cultures, la capacité du barrage et par les pratiques d'assolement.

Méthodologie

Dans l'étude de la distribution des mollusques sur l'ensemble du réseau d'irrigation, des échantillons ont été prélevés à l'aide d'une drague rectangulaire (200 mm x 100 mm) munie d'un filet moustiquaire d'un vide de maille de 0,8 mm.

Dans l'étude de l'effet de la gestion de l'eau sur la dynamique des populations de *Bulinus truncatus* et des possibilités de lutte environnementale, quatre siphons ont été choisis en fonction de la disponibilité de données précises sur la durée (en minutes) et la fréquence de l'irrigation au cours du mois. La durée de mise en eau et sa fréquence ont été notées par l'agriculteur qui assure la distribution du tour d'eau au niveau de chaque canal tertiaire, pour l'ensemble du mois durant une année, de novembre 1996 à octobre 1997. Au niveau de chacun de ces puisards, un prélèvement mensuel de mollusques a été effectué dans quatre sites.

Le rôle des méthodes de lutte contre les mollusques par modification de l'environnement a été évalué dans des siphons par comparaison avec un témoin n'ayant fait l'objet d'aucune modification. La première méthode de lutte évaluée consistait à couvrir 57 siphons afin de créer des conditions d'obscurité permanente. La couverture des siphons était réalisée à l'aide de dalles fer munies d'une portière permettant à la population d'accéder à l'eau stagnante tout en créant une obscurité permanente qui nuirait indirectement (et/ou directement) aux mollusques. La seconde méthode avait pour but d'évaluer l'effet des curages répétés des siphons sur les populations de mollusques. Réalisés par les agriculteurs, ces curages ont été effectués à trois reprises : au début, au milieu et à la fin de la campagne d'irrigation.

Analyse des données

Dans l'étude transversale de la distribution des bulins en fonction de la conception des ouvrages d'irrigation, la comparaison entre habitats a été faite par l'analyse de la variance à un seul facteur après transformation Log_{10} (densité +1).

Dans l'étude longitudinale de l'effet de la gestion de l'eau sur la densité des hôtes intermédiaires, pour chaque puisard, le

nombre de mollusques récoltés a été exprimé en tant que proportion de l'ensemble des mollusques récoltés durant l'année de suivi. Cela afin de contrôler les différences de densité de bulins entre siphons au démarrage de l'étude. Ensuite, la racine carrée de cette proportion a été transformée en utilisant une fonction arc sinus [9] afin d'obtenir une distribution normale et de stabiliser la variance. L'association entre la densité transformée et la fréquence (nombre de lâchers d'eau) et la durée (nombre d'heures) d'irrigation au cours du mois a été testée en utilisant l'analyse factorielle de la variance tout en ajustant l'effet du mois. L'analyse hiérarchique a été utilisée et l'effet du mois a été testé avant et après introduction des variables durée et fréquence d'irrigation. Ces analyses ont été faites séparément pour la période pré-irrigation (novembre/avril) et post-irrigation (mai/octobre).

Résultats

Rôle de la conception des siphons

Au total, 223 prélèvements ont été effectués au niveau de tous les types d'habitats susceptibles d'être colonisés par des mollusques dans le réseau d'irrigation. Les habitats ont été groupés en huit catégories. Les résultats de cette prospection malacologique sont regroupés dans le *tableau 1* et présentés graphiquement en *carte 2*. Cependant, la fréquence et la densité du bulin ont montré des différences significatives entre habitats ($F = 3,8$; $p < 0,01$). La fréquence de *B. truncatus* la plus élevée sur l'ensemble des 223 points prospectés a été enregistrée au niveau des puisards des canaux tertiaires. La densité la plus élevée au niveau de l'ensemble des canaux cimentés a été enregistrée également au niveau de ces mêmes ouvrages. Les siphons des canaux tertiaires sont caractérisés par une profondeur d'eau dépassant en moyenne 1,10 m, une végétation constituée essentiellement de diatomées, de quelques macrophytes flottantes et d'un dépôt de fin sur les bordures qui peut atteindre une épaisseur de 2 à 3 mm. L'eau coule dans ces ouvrages pendant 10 à 15 % du temps seulement. L'ensemble de ces conditions fait que les siphons tertiaires sont des gîtes favorables au développement des populations de bulins [4].

Tableau 1

Densité moyenne et fréquence de *Bulinus truncatus* au niveau du réseau d'irrigation de Tessaout Amont

Habitat	Nombre de stations	Fréquence	Densité
Canal primaire	13	0	0
Canal secondaire	24	41	3 (5,7)
Siphons secondaires	23	26	19 (75,2)
Siphons tertiaires	113	66	36 (96,8)
Siphons quaternaires	11	27	11 (32,9)
Drains	12	50	61 (137,2)
Canaux traditionnels	22	45	14 (33,4)
Rivière Tessaout	5	0	0

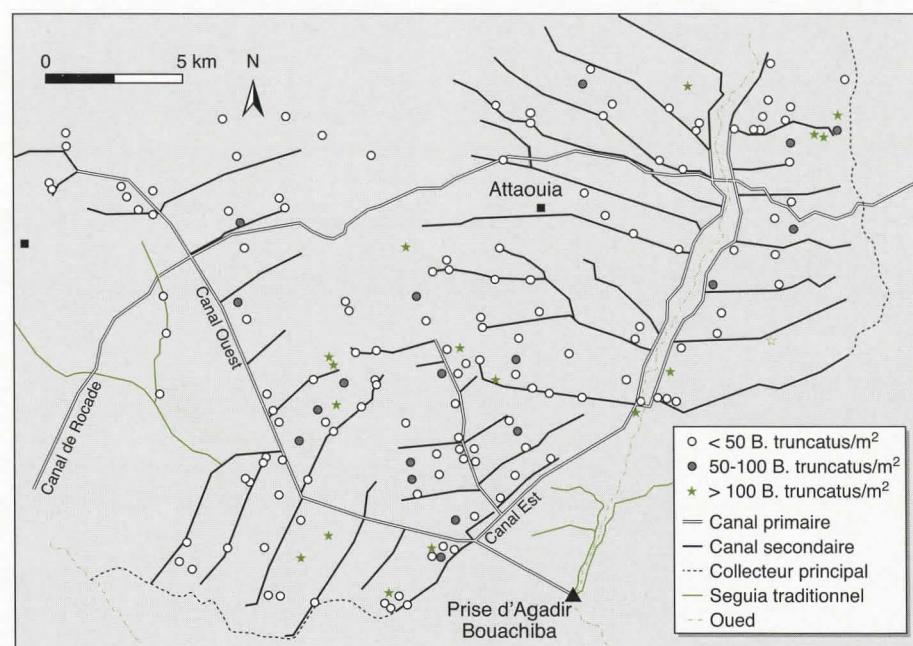
Les chiffres entre parenthèses indiquent l'écart type.

Average density and frequency of occurrence of *Bulinus truncatus* in the Tessaout Amont irrigation system (standard deviation is in between brackets)

Rôle de la gestion de l'eau

Bulinus truncatus était présent dans les siphons tout au long de l'année, avec cependant des différences assez importantes entre siphons, et au cours du temps au sein du même siphon. Le *tableau 2* montre que durant la période novembre 1996-avril 1997, la fréquence moyenne de l'irrigation était de moins de

deux lâchers alors que la durée moyenne de la mise en eau des canaux était de moins de dix heures par mois, exception faite de la station Laathamna. Durant les six mois qu'a duré la campagne d'irrigation, la fréquence moyenne de l'irrigation variait de deux à trois lâchers d'eau par mois et la durée minimale de mise en eau (46 heures par mois) a été enregistrée dans la station Dzouz.



Carte 2. Le réseau du Tessaout Amont au Maroc central, avec la répartition spatiale de *Bulinus truncatus*.

Map 2. The Tessaout Amont irrigation system in Central Morocco with the spatial distribution of *Bulinus truncatus*.

Tableau 2

Densité moyenne de *Bulinus truncatus* (\pm écart-type) et fréquence et durée d'irrigation pour les deux saisons avant et après irrigation

	Fréquence moyenne	Durée moyenne (heures)	Densité moyenne
Hors de la saison d'irrigation (novembre 1996-avril 1997)			
Dzouz	1,83 (0-4)	7,7 (0-15,06)	82,2 \pm 30,1
Laathamna	1,83 (0-4)	15,4 (0-46,30)	62,8 \pm 18,0
Lackhaoucha I	1,50 (0-3)	8,9 (0-19,30)	23 \pm 21,2
Lackhaoucha II	1,50 (0-3)	6,2 (0-16,30)	55,3 \pm 42,5
Durant la saison d'irrigation (mai 1997-octobre 1997)			
Dzouz	2,17 (0-4)	46,0 (0-120)	51,3 \pm 28,9
Laathamna	3,17 (1-4)	56,0 (8-160)	96,2 \pm 107,0
Lackhaoucha I	2,83 (1-4)	60,4 (4,45-118)	34,0 \pm 13,9
Lackhaoucha II	2,83 (1-4)	48,6 (6,30-72)	54,7 \pm 32,0

Les chiffres entre parenthèses indiquent les valeurs limites enregistrées.

Average density of *Bulinus truncatus* (\pm standard deviation) and frequency and duration of the water flow before and during the irrigation season (range of values in between brackets)

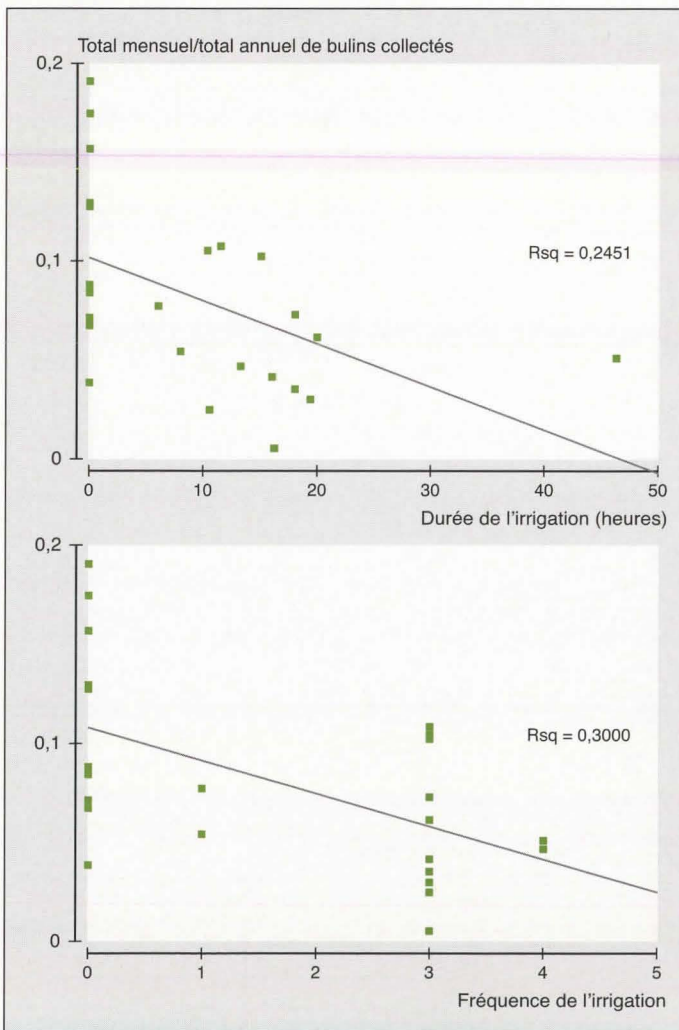


Figure 1. Fonction de la durée mensuelle (A) et de la fréquence moyenne (B) de l'irrigation. (Période novembre-avril.) (R2 significatif à $p < 0,05$ pour la durée d'irrigation et à $p < 0,01$ pour la fréquence d'irrigation).

Figure 1. Relative number of collected snails at a function of the duration (A) and of the average frequency (B) of irrigation flows over the period November-April (R2 is significant at $p < 0.05$ for the duration, and at $p < 0.01$ for the frequency, of irrigation).

L'analyse factorielle simple de la variance a montré que l'effet de la saison sur les variations de densité a été hautement significatif ($F = 4,74$; $p < 0,01$). D'autre part, la fréquence de l'irrigation a eu un effet significatif sur la densité de *B. truncatus* ($F = 8,29$; $p < 0,01$) alors que l'effet de la durée d'irrigation n'était pas significatif. Avant la saison d'irrigation (novembre à avril), l'analyse du nombre de bulins collectés chaque mois par rapport à celui du nombre total annuel montre une corrélation significative avec la fréquence des lâchers d'eau (R^2 significatif à $p < 0,05$) et avec la durée de mise en eau ($p < 0,01$) (figure 1). Lors de la saison d'irrigation (mai à octobre), cette association n'était pas aussi significative.

Effet de la modification du siphon et de la maintenance sur les populations de mollusques

La figure 2 démontre que l'augmentation de la fréquence de l'entretien des siphons a entraîné une diminution rapide et substantielle de la densité des mollusques. Néanmoins, la recolonisation des puisards s'était effectuée à nouveau après quelques mois. L'effet direct du curage est conjugué à son impact sur la végétation (algues et macrophytes) et sur le sédiment qui lui sert de support. La végétation sert à son tour de support pour les œufs et d'abri pour les mollusques juvéniles et adultes.

Si la couverture des siphons par des dalles en métal munies d'une portière est plus rapide et efficace dans la réduction des bulins et de leurs pontes, elle a également l'avantage d'être durable. Elle a aussi abouti à l'élimination des larves de mollusques dans les siphons couverts, par comparaison aux témoins. Cette modification a été appréciée par les agriculteurs.

Discussion

Les résultats obtenus permettent de conclure que la conception des siphons des canaux tertiaires en fait des habitats favorables à *Bulinus truncatus*. La présence de l'eau en permanence dans ces ouvrages et sa mobilité intermittente garantissent la disponibilité d'une source

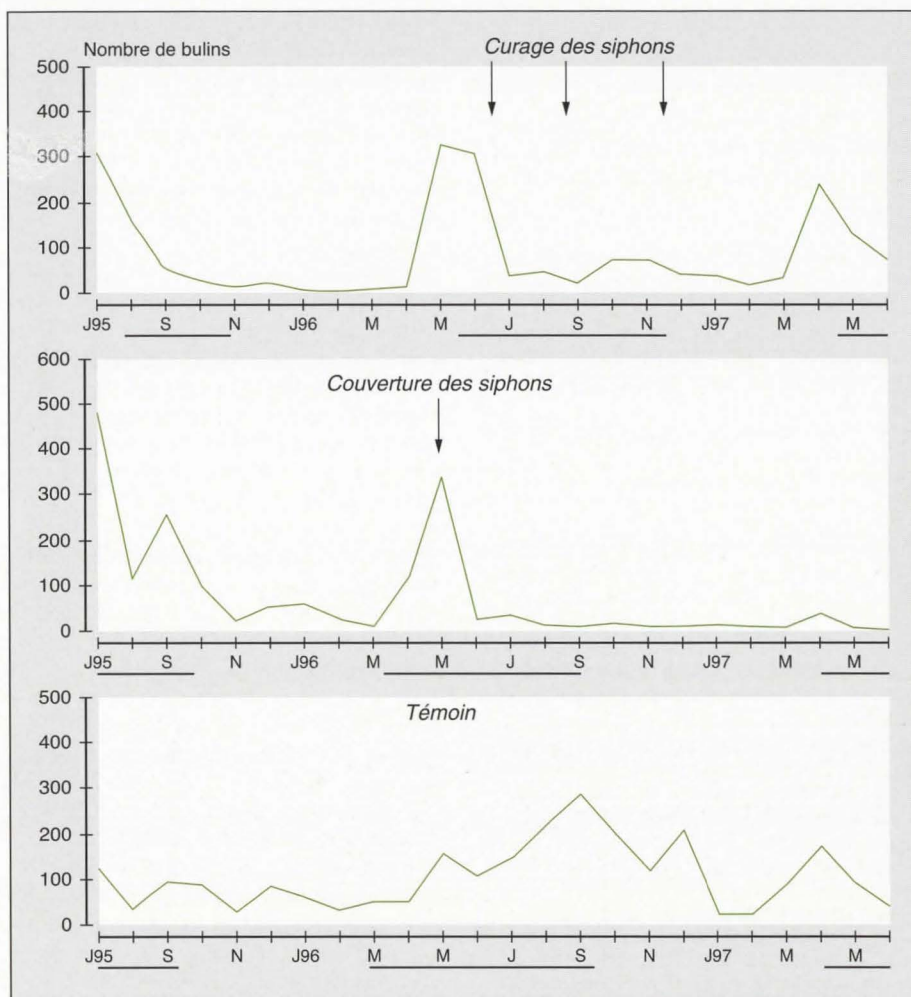


Figure 2. Variation de la densité des bulins avant et après mise en place de mesures de lutte environnementale en comparaison avec un site témoin (la durée de la saison d'irrigation est représentée par la ligne en bas du graphe).

Figure 2. Variations in the density of *Bulinus* snails before and after the implementation of environmental control measures, compared to a control site (the lines at the bottom of the graphs indicate the irrigation season).

de nourriture qui consiste en algues et macrophytes constamment présentes en font des biotopes de choix. Ces mêmes structures constituent dans certains cas la seule source d'eau pour les riverains. La substitution de ces siphons en U par des ouvrages en V rendrait cet habitat hostile aux mollusques et permettrait en même temps à la population riveraine d'accéder à l'eau des siphons qu'elle utilise pour la boisson et pour d'autres usages domestiques. Les siphons en V ont une pente plus raide, des buses entièrement couvertes et la croissance des algues et des macrophytes y est par conséquent très limitée; enfin, ils ne peuvent être utilisés pour les baignades par les enfants qui sont la cible de la maladie dans la région [10]. En plus, la

perte de charge y est modérée, ce qui permet un écoulement rapide de type *flushing system* [11].

Les résultats de l'étude du rôle des paramètres de gestion de l'eau sur les mollusques montrent que l'augmentation de la fréquence d'irrigation aurait plus d'effet dévastateur sur les populations de bulins que la durée d'irrigation. L'interaction entre ces deux paramètres dans la régulation de la densité de *Bulinus truncatus* a été démontrée également. De ce fait, après chaque cycle d'irrigation, les mollusques subissent une dérive passive qui les draine vers les ouvrages situés en aval et finissent, parfois, par se trouver à l'entrée des canaux quaternaires puis dans les champs. En fait, la relation entre les paramètres de gestion des

réseaux d'irrigation et la lutte contre les hôtes intermédiaires a été signalée par de nombreux auteurs [12]. Il est admis que l'augmentation de la fréquence et de la durée de mise en eau des canaux réduit la densité des mollusques [13-15]. Dans le périmètre de Tessaout Amont, l'alimentation en eau des canaux se fait en rotation. En plus de l'efficacité du mode de rotation, ce mode de gestion fait que les canaux tertiaires ainsi que certains ouvrages s'assèchent complètement entre les périodes de mise en eau et n'abritent par conséquent pas de mollusques.

Bien que nos résultats démontrent l'importance de la dérive passive des mollusques due au courant d'eau, il semble que *B. truncatus* intensifie sa reproduction entre les cycles d'irrigation pour se maintenir dans un milieu agité de façon intermittente, comme cela a été souligné par ailleurs [4]. Néanmoins, l'augmentation de la fréquence de l'irrigation peut constituer un moyen de contrôle de la densité des mollusques. Elle nécessite cependant une collaboration étroite entre les agriculteurs, les responsables de la gestion du réseau et les autorités sanitaires. Le passage par la collaboration intersectorielle est incontournable pour le succès de cette mesure de lutte.

L'effet de la vitesse du courant dans la lutte contre les mollusques a fait l'objet de beaucoup d'investigations [14, 16, 17]. En fait, on a constaté [18] que la plupart des auteurs insistent sur le fait que les mollusques ne peuvent plus s'accrocher au substratum au-delà d'une certaine vitesse, alors que l'autre fait à ne pas perdre de vue est que le courant exerce un effet lessivant sur la nourriture des mollusques qui sont donc éliminés par un effet indirect du courant. Dans la région de Tessaout Amont, la réduction des dimensions des siphons et par conséquent l'augmentation de la vitesse a permis de réduire la densité des mollusques de façon significative et durable [19]. Cependant cette méthode ne peut être appliquée de façon généralisée à l'ensemble du réseau pour des considérations hydrauliques liées aux débordements des canaux en amont.

Le curage des siphons reste une méthode simple et efficace qui dépend de la communauté elle-même et qui profite non seulement à la lutte contre la bilharziose mais aussi à l'amélioration des performances des canaux d'irrigation. En effet, le nettoyage des buses augmente le débit et prévient les colmatages et les débordements qui s'en suivent et constituent une

Summary

The role of irrigation design and water management parameters in the ecology of transmission and control of schistosomiasis in central Morocco

H. Laamrani, E. Boelee

In Morocco, the design of surface irrigation systems is basically the same throughout the country with primary, secondary and tertiary canals made of concrete cement. The quaternary canals are earth canals that convey water to the plots. Siphon boxes found at the canal off-take are typical structures made of upstream and downstream boxes connected by an underground pipeline. Water flow is controlled through a system of gate regulators.

*A cross-section survey of the distribution of *Bulinus truncatus*, intermediate host of *Schistosoma haematobium* was carried out in the Tessaout Amont irrigation scheme affected by schistosomiasis. The study pointed out that the irrigation system design and management favour the occurrence and development of the snail population. This is partly due to the shape of the canals, which is telescope-like as the cross-section is decreasing from the head to the tail end. Water is stagnant in some of the canal structures between irrigation turns. The most suitable habitats for the intermediate hosts are siphon boxes locally named "puisards" or "regards". The highest frequency of occurrence of *B. truncatus* recorded in these habitats is mainly due to permanent stagnant water, with temperatures favourable to snail growth and reproduction throughout the year and ample availability of food that consists mainly of algae and detritus.*

*Furthermore, a one-year longitudinal survey was conducted in the same area. The results showed that the density of *Bulinus truncatus* decreased significantly when irrigation frequency and duration increased. Nevertheless, this negative correlation was more evident outside the irrigation season that starts in April/May and ends up in September/October. Subsequently, the same amount of water provided for irrigation can be served in several turns instead of one.*

In a further study, the effect of environment modifications on snail breeding and density was tested in the Tessaout Amont scheme. Covering the "puisards" to create permanent darkness in siphons led to a significant reduction of snails. Cleaning with the removal of vegetation and mud was effective too, but re-colonisation occurred within a few months. Such environment-friendly methods need an intersectoral approach to identify community-based measures that are necessary to ensure the sustainability of any mitigating measure. The engineering methods to control snails can be cost-effective and sustainable if the community is involved in their design and implementation.

Cahiers Agricultures 2002 ; 11 : 23-9.

perle pour l'agriculteur qui paie le volume desservi en tête de canal et non le volume qui parvient effectivement au niveau des champs. Le curage élimine directement les mollusques et expose leurs œufs au dessèchement mais il élimine aussi le support végétal qui assure la nourriture et l'abri contre l'effet du courant. Cette méthode a cependant l'inconvénient de nécessiter des interventions répétées. La couverture des puisards a, en revanche, l'avantage de nécessiter une seule intervention et d'être plus efficace que les curages répétés. Elle est donc durable et moins coûteuse à long terme. Elle a aussi une autre valeur ajoutée qui consiste à réduire la densité des moustiques qui se reproduisent dans les

siphons. Elle peut donc être utilisée également dans la lutte contre le paludisme par modification de l'environnement. En plus, la couverture permet aux agriculteurs de disposer d'une eau stagnante pour usage domestique plus protégée contre la pollution. Cette eau qui est également utilisée pour la boisson [20, 21] a aussi un impact positif sur la santé des usagers. Elle permet de plus de prévenir le colmatage des buses dû au jet de pierre et de terre dans les puisards.

Le coût pondéré de cette méthode combiné à son effet sur les vecteurs en fait donc une méthode de choix qui mérite d'être considérée au moment de la planification et de la conception du système d'irrigation gravitaire, en particulier dans

les zones où l'accès à l'eau souterraine est difficile ou à salinité élevée. Le recours au stockage des eaux de surface dans la zone Sud-Est de la région étudiée pose des problèmes [22] qui suscitent le recours à des méthodes d'amélioration des eaux de surface telles que celle que nous venons d'évaluer.

En conclusion, dans le périmètre de Tessaout Amont, la conception des siphons est en faveur du développement des bulins. La gestion de l'eau peut réduire la densité des populations de mollusques. L'utilisation de ce résultat dans la lutte contre les bulins serait possible dans le cadre d'une approche participative où les irrigants sont appelés à contribuer en gérant la même dotation en eau sous forme de plusieurs tours d'eau au lieu d'un seul. La fréquence des lâchers serait donc plus élevée et réduirait la densité des mollusques. La mise en application de ces mesures de lutte nécessite l'implication de la communauté cible afin de pouvoir assurer la durabilité de leur mise en application. Le curage répété des canaux peut être utilisé comme moyen adjuvant de lutte qui profite aussi à l'amélioration des performances des canaux d'irrigation. La méthode de lutte la plus efficace consiste à couvrir les siphons par des couvertures amovibles qui n'empêchent pas l'accès à l'eau des siphons. Le coût d'une telle mesure ne doit pas être mis sur le seul compte de la bilharziose puisqu'il profite à l'amélioration de la qualité de l'eau, à la prévention des nuisances et du paludisme et donc à l'amélioration de l'état de santé de la population et de son environnement. Elle permet en plus de prévenir le colmatage des buses dû aux jets de pierre et de terre dans les puisards ■

Remerciements

Les auteurs remercient l'IRD et les organisateurs du colloque « Eau et Santé Ouaga 2000 » d'avoir permis au Dr H. Laamrani d'y participer. Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet CE *Environmental control of schistosomiasis in irrigation schemes of the Mediterranean regions* (CT93-AVI-0004), avec le soutien de la Fondation néerlandaise pour le développement de la recherche tropicale (Wotro, bourse WB93-260). Nos remerciements vont aussi à l'équipe de l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan-II à Rabat sous la direction du Dr K. Khallaayoune, au Département de parasitologie de l'université de Leiden, à l'université de Wageningen, au Danish Bilharziosis Laboratory et à l'Institut de médecine tropicale prince Léopold à Anvers.

Références

1. Anafid. *L'irrigation au Maroc*. Rabat : Association nationale des améliorations foncières, de l'irrigation et du drainage, 1991 ; 48 p.
2. Doumenge JP, Mott KE, Cheung C, et al. *Atlas de la répartition mondiale des schistosomiasis*. Genève : Ceget-CNRS, 1987 ; 400 p.
3. Laamrani H, Mahjour J, Madsen H, Khallaayoune K, Gryseels B. *Schistosoma haematobium* in Morocco: moving from control to elimination. *Parasitology Today* 2000 ; 16 : 257-60.
4. Khallaayoune K, Laamrani H, Madsen H. Distribution of *Bulinus truncatus*, the intermediate host of *Schistosoma haematobium* in an irrigation system, Morocco. *J Freshwater Ecol* 1998 ; 13 : 129-33.
5. Laamrani H, Khallaayoune K, Boelee E, Laghroubi MM, Madsen H, Gryseels B. Evaluation of environmental methods to control snails in an irrigation system in central Morocco. *Trop Med int Hlth* 2000 ; 5 : 545-52.
6. World Health Organization. *The control of schistosomiasis*. Geneva : WHO, Technical Report Series 830, 1993 ; 86 p.
7. Sturrock RF. The intermediate host and host parasite relationships. In : Jordan P, Webbe G, Sturrock RF, eds. *Human schistosomiasis*. Wallingford : CAB International, 1993 : 33-85.
8. Madsen H. Ecological studies on the intermediate host snails and the relevance to schistosomiasis control. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 1992 ; 87 : 249-53.
9. Zar JH. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Britain, 1984.
10. Khallaayoune K, Laamrani H. Seasonal patterns in the transmission of *Schistosoma haematobium* in Attaouia, Morocco. *J Helminthol* 1992 ; 66 : 89-95.
11. Boelee E. *Irrigation ecology of schistosomiasis: environmental control options in Morocco*. PhD Thesis Wageningen University, 1999 ; 200 p.
12. Oomen JMV, De Wolf J, Jobin WR. *Health and Irrigation*. Vol. 1. Wageningen, The Netherlands : International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publication 45, 1990 ; 304 p.
13. Lanoix JN. Relation between irrigation, engineering and bilharziasis. *Bull Who* 1958 ; 18 : 1011-35.
14. McJunkin FE. *Engineering measures for control of schistosomiasis. A report for the Agency for International Development*. Washington DC : 1970 ; 66 p.
15. Kloos H, Lemma A. Bilharziasis in the Awash valley. II. Molluscan fauna in an irrigation farms and agricultural development. *Ethiopian Med J* 1974 ; 12 : 157-73.
16. Scorza JV, Silva J, Gonzales L, Machado R. Stream velocity as a gradient in *Australorbis glabratus* (Say, 1818). *Zeitschrift Für Tropenmedizin und Parasitologie* 1961 ; 12 : 191-6.
17. Jobin WR, Laracuente A, Mercado R, Negron-Aponte H. Critical water velocities for snail habitats in canals. *J Environ Eng* 1984 ; 110 : 279-82.
18. Appleton CC. Review of literature on abiotic factors influencing the distribution and life cycle of bilharziasis intermediate host snails. *Malacological Review* 1978 ; 11 : 1-25.
19. Laamrani H, Khallaayoune K, Madsen H, Mahjour J, Gryseels B. New challenges in schistosomiasis control in Morocco. *Acta Trop* 2000 ; 77 : 61-7.
20. Watts S, Khallaayoune K, Bensefia R, Laamrani H, Gryseels B. The study of human behaviour and schistosomiasis transmission in irrigated areas in Morocco and Egypt. *Soc Sci Med* 1998 ; 46 : 755-65.
21. Boelee E, Laamrani H, Khallaayoune K, Watts S. Domestic use of irrigation water in Morocco's Tessaout Amont irrigation system. *Waterlines* 1999 ; 18 : 21-3.
22. Laamrani H, Khallaayoune K, Laghroubi M, et al. Domestic use of irrigation water in central Morocco. *Water Int* 2000 ; 25 : 410-7.

Résumé

Au Maroc, les réseaux d'irrigation gravitaires ont été à l'origine de l'introduction de la bilharziose dans des régions où elle n'était pas connue avant l'aménagement hydro-agricole.

Une étude transversale de la distribution de *Bulinus truncatus*, hôte intermédiaire de *Schistosoma haematobium* au Maroc, a été réalisée au niveau du périmètre irrigué de Tessaout Amont qui constitue un foyer de bilharziose. Elle a montré que la conception et la gestion du réseau pouvaient favoriser l'installation et la prolifération des populations de mollusques. C'est le cas de la conception télescopique des canaux qui diminuent de section de l'amont vers l'aval et celui lié à une eau qui reste stagnante dans certaines sections et structures (notamment des siphons, des ouvrages d'angles et de chute), même hors de la période de mise en eau du réseau. Les puisards des canaux tertiaires sont les habitats les plus colonisés par *Bulinus truncatus*. Pendant la quasi-totalité de l'année, l'eau y est stagnante et la nourriture, notamment les algues et du détrit, y sont disponibles. La température de l'eau y est favorable au développement et à la reproduction des mollusques.

Une étude longitudinale menée au niveau des puisards sur une année dans le même réseau a démontré que la densité des populations de *Bulinus truncatus* diminue quand la fréquence de l'irrigation et sa durée augmentent. Cette corrélation négative est d'autant plus significative en dehors de la campagne d'irrigation. Ainsi la même quantité d'eau délivrée aux irrigants en plusieurs tours d'eau au lieu d'un seul pourrait être un moyen de réduire l'abondance des mollusques dans ces ouvrages.

L'effet du curage répété et de la couverture des siphons colonisés par les mollusques ont été testés dans la lutte contre les mollusques. Les résultats obtenus démontrent que, dans la lutte contre le mollusque hôte intermédiaire, l'ingénierie élémentaire peut être moins coûteuse et tout aussi efficace que les mesures de lutte chimique à condition qu'elle repose sur une connaissance de l'écologie du vecteur et qu'elle soit acceptée par les agriculteurs afin d'en assurer la durabilité.