

UNIVERSITE DE LIMOGES

ECOLE DOCTORALE < " U E K G P E G U " R Q W N E M E N T G P X K T Q

UNITE DE RECHERCHE : UMR INSERM 1094

COMPOSANTE : PHARMACIE

V j ³ u g " P à "] í í _

Thèse

Pour obtenir le grade de

F Q E V G W T " F G " N ø W P K X G T U K V G " F G "

Discipline / Spécialité : Biologie des organismes : Phylogénie, Structure
génétique des populations, Evolution

Présentée et soutenue publiquement par

Rima Zein Eddine

le 25 Juin 2014

***Bulinus* sp :**

**Epidémiologie moléculaire, structure génétique et phylogénie
dans trois pays africains. Interactions avec le genre *Schistosoma***

Thèse co-dirigée par Gilles Dreyfuss
Félicité Flore Djuikwo-Teukeng

JURY :

Rapporteurs

Mme Sylvie Hurtrez, Maître de conférences f g " n ø w p k x g t u R (France) f g " O q p v r g n n k g t

Mme Tine Huyse, docteur de n ø w p k x g t u k (Belgique) g " N q w x c k p

Examineurs

Mme Marie-Laure Dardé, Professeur, université de Limoges (France)

M. Jean Pierre Pointier, Professeur, EPHE Perpignan (France)

Directeurs

Mme Félicité Flore Djuikwo-V g w m g p i . " F q e v g w t o h t g g e s (Cameroon) k x g t u k v ² " f g u " O

M. Gilles Dreyfuss, Professeur, université de Limoges (France)

Dédicace

Je dédie cette thèse à
mon père qui a attendu avec patience le
moment de mon éducation

mon père, qui m'a indiqué la bonne
voie. Rien au monde ne vaut les efforts fournis
pour l'éducation et mon bien être.

à mes sœurs: Rouya, Rafiq, Fatima et Zeinab,
mon frère Mohamad

Mon ange gardien et mon fidèle compagnon
dans les moments les plus délicats de cette vie.

Remerciements

A l'issue de la rédaction de cette recherche, je n'aurais jamais pu réaliser ce travail doctoral sans le soutien d'un grand nombre de personnes.

Je remercie également tous les membres du jury de ce travail.

Je tiens à remercier sincèrement le Pr. Gilles Dreyfuss, mon directeur de thèse, pour son encadrement, ses conseils, sa confiance, la gentillesse avec laquelle elle a su me faire partager ses connaissances, et le temps qu'elle a bien voulu me consacrer, son goût du travail sérieux et bien fait, sans oublier sa bonne humeur quotidienne sans faille.

J'adresse également un remerciement tout particulier au Dr. Félicité Flore Djuikwo Teukeng pour son encadrement, ses conseils, sa confiance, la gentillesse avec laquelle elle a su me faire partager ses connaissances, et le temps qu'elle a bien voulu me consacrer, son goût du travail sérieux et bien fait, sans oublier sa bonne humeur quotidienne sans faille.

Je tiens à remercier le Pr. Pierre Marie Preux, le Pr. Marie laure Dardé et le Dr. Bertrand Courtioux, les membres du Laboratoire de Parasitologie, Martine Gatet et Roselyne Mouzet, pour m'avoir accueillie au laboratoire de parasitologie UMR INSERM 1094 et m'avoir permis de réaliser cette thèse.

Je tiens à remercier le Dr. Daniel Rondelaud pour son aide précieuse et sa gentillesse.

Mes remerciements sincères vont également à Mustafa Al Jawhari, je lui suis extrêmement reconnaissante pour sa disponibilité ainsi que la gentillesse avec laquelle il a su me faire partager ses connaissances.

Je tiens également à remercier mon directeur de thèse pour son soutien tout au long de ces années.

Je remercie tous mes collègues qui ont partagé mon quotidien durant cette thèse. Un merci spécial à mes amis : Dr. Yasser Dar, Nivine Srour, Saada Diab, Faten Saad, Elie Mespoulet, Hasard el Mohammad, Adnan Halabi, Nour Mammari, Abdelkrim Aroussi, Bruno Senghor.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements et mes pensées particulières à ma mère pour son soutien et son encouragement au cours de la réalisation de cette thèse.

Résumé

N g u " o q n n w u s w g u " f *Bulinus* werveit q hôte g interne d'aires ppout le " développement des stades larvaires des parasites du groupe *Schistosoma* (Digenea, Plathelminthes). Malgré leur importance dans la transmission de ces parasites, l'histoire 2 x q n w v k x g " f g " e g " i g p t g " t gans vlegg"tion" de transmission deg t 0 " N ø ces parasites nécessite une bonne connaissance de la biologie des bulins, de la structure i 2 p 2 v k s w g " f g " e g u " r q r w n c v k q p u " c h k p " f g " e n c t k h la coévolution hôte /parasite. Fort de cela, nous nous sommes proposée f ø 2 v w f k g t " f ø w p g r j { n q i 2 p k g " f g " u g r v " g u r 3 e g u " f g u " d w n k p u " q t k i k types de marqueurs moléculaires < " n c " t 2 i k q p " f g " n ø C F P " o k v q e j q p ribosomique u " p w e n 2 c k t g u " * K V U . " 3 : U " g v " 4 : U + " g v " f ø populations égyptiennes de *B. truncatus* « " n ø c k f g " f g u " o c t s w g w t u " o k e t o

N g u " t 2 u w n v c v u " r q t v c p v " u w t " n ø 2 v w f g " r j { n q i 2 niveaux élevés de diversité haplotypique et nucléotidique chez les sept espèces étudiées. De nouveaux haplotypes ont été détectés dans chaque pays, et semblent spécifiques à la région. En revanche, nous avons détecté une diversité génétique inférieure au sein des populations égyptiennes de *B. truncatus* par rapport aux individus originaires de l'Afrique sub-saharienne, ce qui pourrait suggérer une existence plus récente de *B. truncatus* en Afrique du Nord

* G i { r v g + . " r c t " t c r r q t v " « " n ø C h t k s w g " p q k t g " * E c o Quant « " n ø 2 v w f g " f g " n c *B. truncatus* e v w p g v c w p 2 f k j w g 2 f g et une forte structuration ont été détectés chez les populations égyptiennes de *B. truncatus*. Cette structuration se traduit par l'existence de quatre clusters bien distincts, et elle est caractérisée par un taux relativement faible de flux de gènes.

P q u " v t c x c w z " q p v " r g t o k u " f ø c x q k t " w p g " o g k n n structure génétique de ce genre. Ceci permettra de proposer une nouvelle approche pour la lutte contre cette parasitose

Mot clés : *Bulinus* sp., phylogéographie, structure génétique, *Schistosoma haematobium*.

Abstract

The *Bulinus* genus acts as intermediate hosts for larval development of the parasite belonging to *Schistosoma* group (Digenea, Platyhelminthes). Despite their importance in the transmission of these parasites, the evolutionary history of this genus is still not very clear. Development of management plans to control these parasites transmission requires a deeper understanding of the past events that have affected the population diversity and distribution of *Bulinus* species. The objective of this study was to learn more about the population structure and phylogeny of several *Bulinus* species originating from different African countries using three types of molecular markers: the partial mitochondrial gene Cox1, the nuclear ribosomal gene (ITS, 18S and 28S), and six microsatellites loci.

Concerning the phylogeography of this genus, high levels of genetic diversity were detected in the seven studied species, with clear segregation between individuals and the presence of many haplotypes, even within same species from the same locality. Our results showed lower diversity within *B. truncatus* populations in North Africa (Egypt) compared to individuals from Sub-Saharan Africa, which may suggest that *B. truncatus* may have colonized Egypt from Sub-Saharan Africa.

About the genetic structure of *B. truncatus*, high rate of heterozygosity, and strong genetic structure were noted in Egyptian populations of *B. truncatus*. This structure is reflected by the existence of four distinct clusters characterized by relatively low gene flow rate between subpopulations.

Our work allowed better understanding of phylogeny and genetic structure of this genus. These informations can be used to develop new approach for controlling the parasite transmission.

Key words: *Bulinus* species, phylogeography, genetic structure, *Schistosoma haematobium*.

Abréviations, sigles et termes anglais utilisés

A

A :	Adénine
ACP :	Phosphatase acide
ADN :	Acide désoxyribonucléique
ARN :	Acide ribonucléique
AE :	V c o r q p " f ø ² n w v k q p "
AL :	Tampon de lyse
APS :	R g t u w ammonivng " f ø
ATL :	Tampon de lyse tissulaire
AW1 :	Tampon de lavage 1
AW2 :	Tampon de lavage 2

B

BET :	D t q o w t g " f ø ² v j k f k w o
-------	--

C

C :	Cytosine
Cox1 :	Cytochrome oxydase C 1

D

dNTP :	Désoxyribo-nucléotides triphosphate
dATP :	Désoxyadénine triphosphate
dCTP :	Désoxycytosine triphosphate
dGTP :	Désoxyguanine triphosphate
dTTP :	désoxythymine triphosphate

E

ELISA :	Enzyme Linked Immunosorbent Assay
---------	-----------------------------------

G

G :	Guanine
GPS :	Global position system
GPI :	Glucose phosphate isomérase
GTR :	General time reversible

H

HKY 85 :	Modèle de Hasegawa, Kishino et Yano
----------	-------------------------------------

I

ITS :	Internal transcript spacer
-------	----------------------------

J

JC :	Jukes-Cantor
------	--------------

K

K2P : Modèle de Kimura
KFPE : Commission for Research Partnerships with Developing Countries

M

MDH : malate déhydrogénase
ML : maximum de vraisemblance
mM : Micromolaire
MP : Méthode de parcimonie
MgCl₂ : Chlorure de magnésium

N

NJ : Neighbor joining
Ng : Nanogramme

O

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P

PCR : Polymerase Chain Reaction
Pb : Paire de bases
PBS : Tampon phosphate salin (phosphate buffered saline)
PGM : Phosphoglucomutase
POP : Performance Optimized Polymer

R

RAPD : Random Amplified Polymorphic DNA

S

SRG : Schistosomiasis research group
Sp : Species

T

T : Thymine
TBE : Tris, Borate, EDTA
TN : Modèle de Tajima-Nei

U

UPGMA : Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean
UV : Ultra-violets

18S : Petite sous- unité
28S : Grande sous-unité
µL : Microlitre

Table de matières

Table de matières	1
Introduction générale	4
Chapitre 1 :	7
La schistosomose urinaire et les hôtes intermédiaires du parasite	7
I. La schistosomose urinaire dans le monde.....	8
A. Epidémiologie	8
B. <i>Schistosoma haematobium</i>	9
II. Les hôtes intermédiaires de <i>S. haematobium</i>	14
A. Classification	14
B. Taxonomie et morphologie.....	14
D. Anatomie des bulins	17
E. Biologie des bulins.....	17
F. Système de reproduction	17
Chapitre 2	19
Présentation des pays étudiés	19
I. Le Cameroun	20
A. Description physique du pays.....	20
B. Epidémiologie de la schistosomose urinaire au Cameroun	22
C. Les mollusques hôtes intermédiaires au Cameroun	23
II. N ø G i ..{...r...v..g.....	24
A. Description physique du pays.....	24
B. Epidémiologie de la schistosomose urinaire en Egypte	25
C. Les mollusques hôtes intermédiaires en Egypte	25
III. Le Sénégal	26
A. Description physique du pays.....	26
B. Epidémiologie de la schistosomose urinaire au Sénégal	28
C. Les mollusques hôtes intermédiaires au Sénégal	28
Chapitre 3 :	29
Phylogénie moléculaire du genre <i>Bulinus</i>	29
I. Introduction.....	30
A. Phylogénie moléculaire	30
B. Classification du genre <i>Bulinus</i>	39
C. But, problématiques abordées et objectifs	42

II. Matériels et Méthodes	44
A. Matériel biologique	44
D 0 " " G z v t c e .v .k .q .p . " .f .g . " .n .ø .C .F .P	45
C. Gènes étudiés	45
D. Amplification de n ø C.F.P.....	47
E. Contrôle de la PCR	48
F. Séquençage des fragments amplifiés	49
G. Analyse des séquences et reconstruction phylogénétique	50
III. Résultats	53
A. Variabilité des séquences utilisées	53
B. Analyse génétique des populations étudiées.....	54
C. Analyse de la distance génétique des populations étudiées.....	60
D. Tests de neutralité.....	61
E. Phylogénie des espèces	61
IV. Discussion	68
A. Diversité génétique des populations	68
B. Diversité génétique des bulins et compatibilité avec le parasite	69
C. Phylogéographie des bulins en relation avec la schistosomose.....	71
Chapitre 4 :	74
Structure génétique des populations égyptiennes de <i>B. truncatus</i>	74
I. Introduction.....	75
A. La diversité génétique	75
B. <i>Bulinus truncatus</i>	80
C. But, problématiques abordés et objectifs.....	82
II. Matériels et Méthodes	83
A. Sites de collection.....	83
B. Matériel biologique.....	85
C. Locus choisis	85
F 0 " G z v t c e v k q p " f ø C F P " g v " .c .o .r .n .k .h .k .e .c .v .k 86 p " f g " o l	86
E. Génotypage	86
III. Résultats	89
A. Diversité intra populationnelle	89
B. Diversité inter populationnelle	93
IV. Discussion	97
A. Diversité intra populationnelle	97
B. Structuration des populations de <i>B. truncatus</i> en Egypte	99

C. Relation <i>B. truncatus</i> / <i>S. haematobium</i> en Égypte	100
V. Conclusion du chapitre	101
Conclusion générale et perspectives de recherche	102
Références Bibliographiques	103
Liste des illustrations	113
A. Liste des figures.....	113
B. Liste des tableaux	114
Annexes	115
Annexe 1 : Glossaire	115
Annexe 2 < " R t q v q e q n g " f ø.g.z.v.t.c.e.v.k.q.p..."f.g.u..."d.w.n. k1p u	
Annexe 3 : Phylogénie des bulins	118
Annexe 4 : Étude de la structure génétique de <i>B. truncatus</i> en Égypte	120
Annexe 5 : Article 1	121
Annexe 6 : Article 2	147

Introduction générale

Les schistosomoses représentent la deuxième endémie parasitaire mondiale après le r c n w f k u o g 0 " U g n q p " n ø Q O U . " r n w u " f g " 9 2 2 " o k n n k q p u 200 millions de sujets infectés à travers le monde (85 % des cas se retrouvent en Afrique), et elles sont responsables de 800 000 décès par an (OMS, 2010). Malgré le fa k v " s s w o i e n g n n g un réel problème de santé publique, ces parasitoses sont considérées comme des maladies négligées du fait de l'apparition des problèmes de santé plus visibles tels que le VIH, la tuberculose, le paludisme (Chipaux, 2000). Malgré les efforts réalisés depuis de nombreuses années, le nombre de sujets atteints par les schistosomoses ne diminue pas significativement (Chipaux, 2000). Cinq espèces de schistosomes humains sont décrites, et classées de façon décroissante.

- *Schistosoma guineensis* (Fisher, 1934), agent de la schistosomose rectale et génitale, principalement présente en Afrique Equatoriale.

- *Schistosoma mekongi* (Voge, Bruckner et Bruce, 1978) agent de la schistosomose intestinale avec des complications artério-veineuses, s w g " n ø q p " t g v t q w x g " n g " n Laos et au Cambodge.

- *Schistosoma japonicum* (Katsurada, 1904) « " n ø q d t la schistosomose hépatosplénique, localisé principalement en Chine, aux Philippines et en Indonésie.

- *Schistosoma mansoni* (Sambon, 1907) agent de la schistosomose intestinale, s w g " n ø q p " t g p e q p v t g " u w t Est et du Sud, à Madagascar, au Proche-Orient, en Amérique Latine et aux Antilles.

- *Schistosoma haematobium* (Bilharz, 1854) responsable de la schistosomose urinaire, principalement rencontré en Afrique noire, à Madagascar, dans la vallée du Nil et au Moyen-Orient.

Cependant, *S. haematobium* est la plus répandue, avec 112 millions de personnes infectées en Afrique. Ce parasite est transmis « " o m m e j p c t " f g u " o q n n w u s w g u " f ø genre *Bulinus*. Un meilleur contrôle de cette parasitose passe par une bonne connaissance de la biologie et la diversité génétique de ce dernier.

La grande majorité des études réalisées sur les bulins ont porté u w t " n ø g u v k o c v k paramètres concernant la reproduction g v " n ø k p h g e t v e k p e r i m e n t a l e c f v o w t p g n " n g c t v

(Beddiny, 1983 ; Marti *et al.*, 1985 ; Ngonseu *et al.*, 1992 ; Njiokou *et al.*, 2004), et de nombreux autres auteurs (Mjimpfougdiv *et al.*, 1984 ; Mjimpfougdiv *et al.*, 1990 a et b).

Néanmoins, la génétique constitue une grande source d'information importante sur le comportement, le cycle de vie ou la démographie des populations, mais aussi, et surtout parce qu'elle permet d'appréhender leur structure et leur diversité génétique. En effet, le contrôle des bulins ne dépend pas seulement du nombre total d'individus et du sex-ratio, mais aussi de la diversité génétique de ces populations et de la capacité à maintenir cette diversité.

Le développement de nouvelles techniques de biologie moléculaire telles que les marqueurs PCR-RFLP (Rollinson *et al.*, 1991 ; Stohard *et al.*, 1996 ; Sène *et al.*, 2004), la RAPD (Raahauge et Kristensen, 2000), les marqueurs microsatellites (Gow *et al.*, 2004 ; Djuikwo-Teukeng *et al.*, 2011), et les marqueurs phylogénétiques, mitochondriaux et ribosomiaux (Stohard *et al.*, 2002 ; Jorgensen *et al.*, 2007 ; Kane *et al.*, 2008 ; Naluhwa *et al.*, 2010 ; Jorgensen *et al.*, 2010) ont permis de mieux étudier certains aspects de la biologie et de la diversité des populations des espèces du genre *Bulinus*. Ces outils ont permis de mieux comprendre la répartition de la diversité génétique au sein de ces populations.

Cette thèse réunit des travaux distincts mais complémentaires, tous destinés à mieux comprendre les facteurs qui déterminent la diversité génétique spatiale et temporelle des bulins. Les différentes parties de ce travail sont reliées par le thème général qui est la répartition de la diversité génétique au sein de ces populations. La présentation de mes travaux est organisée en quatre chapitres :

- Le **premier chapitre**, entièrement bibliographique, porte sur divers aspects relatifs à la schistosomose urinaire et à son hôte intermédiaire.
- Le **deuxième chapitre** présente les résultats de l'étude de la diversité génétique des bulins au Cameroun, au Sénégal et au Mali.
- Le **troisième chapitre** a trait de la diversité génétique de sept espèces de bulins : *B. truncatus*, *B. tropicus*, *B. forskalii*, *B. globosus*, *B. senegalensis*, *B. umbilicatus* et *B. camerunensis* provenant des différents pays africains. Un article est issu de ce travail.

- Le **quatrième chapitre** présente la structure génétique des populations de *B. truncatus* en Égypte. Un article concernant cette partie est en cours de rédaction.

Cette étude appartient pleinement au domaine de la génétique des populations et de la phylogénie. Cependant les résultats obtenus peuvent fournir des éléments utiles pour l'élaboration de plans de gestion pour la transmission des parasites du groupe *Schistosoma*.

Chapitre 1 :
La schistosomose urinaire et les hôtes
intermédiaires du parasite

I. La schistosomose urinaire dans le monde

A. Epidémiologie

La schistosomose urinaire, parasitose due à *Schistosoma haematobium*, a été identifiée pour la première fois en 1851 en Egypte par le parasitologue allemand Théodore Bilharz, d'où son nom. Elle est répandue dans de nombreux pays (Young, 2008). Elle se manifeste principalement par une hématurie, avec environ 70 millions de cas, et 200 000 décès annuels dans le monde (Montgomery, 2010) (**Figure 1**).

Les taux d'infection symptomatique varient selon les régions. Les différences du style de vie, principalement en fonction de la contamination des eaux (Adou-Brynn *et al.*, 1997) et de la présence de points d'eau contaminés (Traore *et al.*, 1998 ; Keita *et al.*, 2001), expliquent ces variations. On trouve une prévalence pouvant atteindre 100 % et un nombre de cas par individu pouvant aller jusqu'à 200 (Traore *et al.*, 1998 ; Keita *et al.*, 2001).

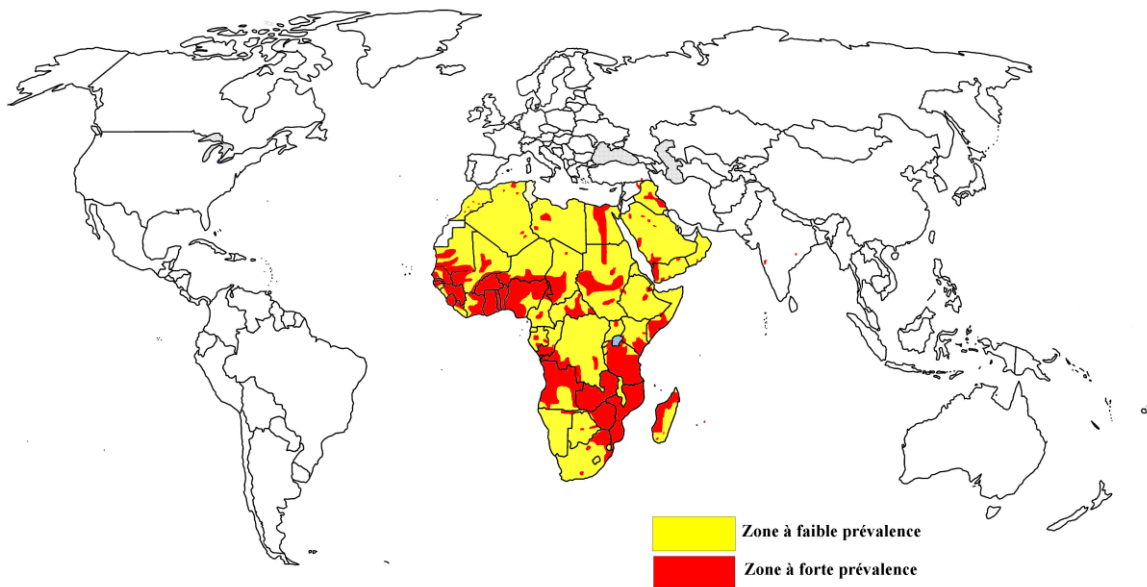


Figure 1 : Répartition mondiale de la schistosomose urinaire (OMS, 2010)

B. *Schistosoma haematobium*

1. Classification

Schistosoma haematobium appartient à la classe des Trematoda caractérisée par un appareil digestif avec cæcums, à la famille des Schistosomatidae (cercaires libres), au genre *Schistosoma* et à l'ordre des Strigeatida possédant une ventouse ventrale et une buccale, à la famille des Schistosomatidae (cercaires libres), au genre *Schistosoma* et à l'espèce *Schistosoma haematobium*.

2. Cycle biologique

Le cycle biologique de *S. haematobium*, qui se déroule la multiplication sexuée, est généralement nœud j q o o g . " g v " n ø stj ½ v g " k un Mollusque *Bulinus* (Figure 2). g " f w " i g p t g "

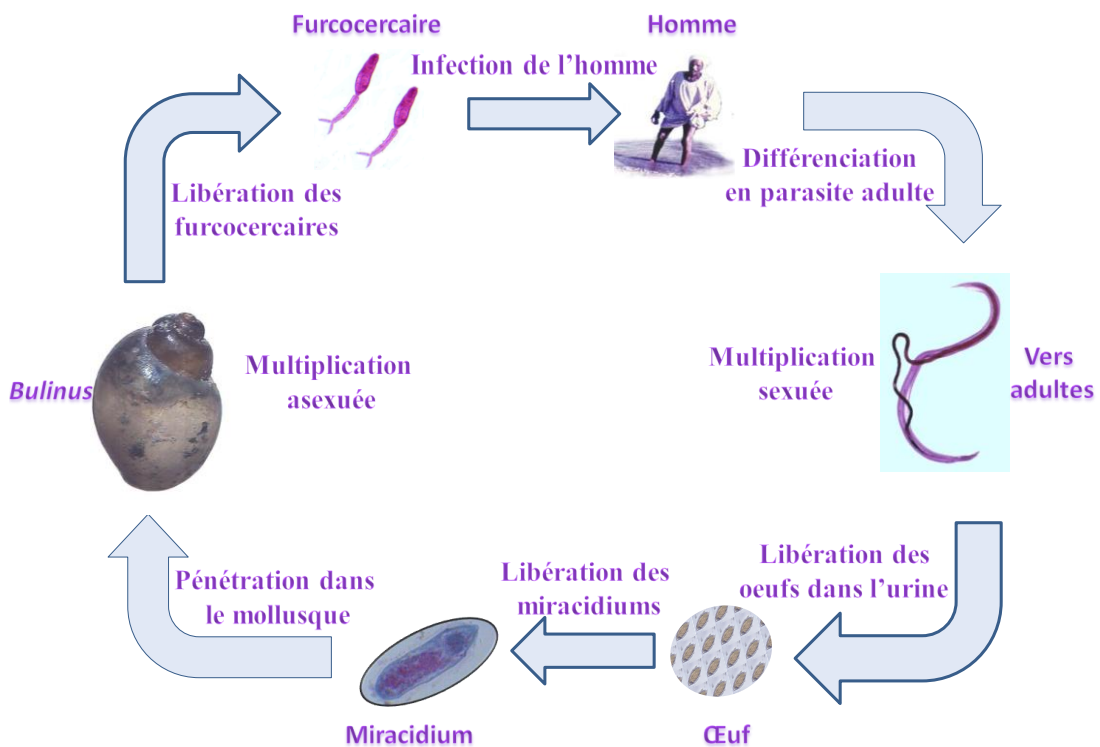


Figure 2 : Cycle biologique de *S. haematobium* (original)

c + " E j g | " n ø j ½ v g " f ² h k p k v k h

L'homme s'infecte durant ses activités domestiques par contact avec de l'eau contaminée contenant des furcocercaires. Ces dernières pénètrent activement dans l'épiderme grâce à leurs sécrétions protéolytiques. La cercaire perd sa queue et devient une schistosomule qui migre dans les tissus sous-cutanés et parvient dans les veinules et les capillaires lymphatiques. Puis, g n n g " c v v g k p v " n g " quatre jours " grâce au flux sanguin. Une fois dans les veinules portes intra- j ² r c v k s w g u . " n c " u e j k u v q u q o w n gla" r q w t u maturation en r c t c u k v g " c f w n v g " g v " n e d e c e s w k u k v k q p " f g " n c

Les adultes sont de couleur blanchâtre, et mesurent 10 à 15 mm pour le mâle et 20 à 25 mm pour la femelle. Chez le mâle, de forme aplatie, les bords latéraux se replient ventralement pour délimiter le canal gynécophore où se loge la femelle, de forme cylindrique. Le couple gagne ensuite la circulation veineuse du petit bassin par la veine mésentérique inférieure. La copulation se produit pendant cette migration. Les femelles gravides pondent n g u " ò w h u " s w - k 7 0 x 4 0 u 9 w 2 t " g p o v 0 " " 3 N 3 4 w " transparente et portée u g é p e r o ñ terminal.

d + " E j g | " n ø j ½ v g " k p v g t o ² f k c k t g

W p g " « " v t q k u " u g o c k p g u " c r t ³ u " n c " r q p v g . " n n ø g p x k t q p p g o g p v " « " r c t v k t " f g u " w t k p g u 0 " E g u " ò w favorables (température à 25 - 30°C, ensoleillement, pH neutre) sont réunies ; ils vont libérer chacun une petite larve ciliée et mobile, appelé g " o k t c e k f k w o " f g " c o r p s 2 " « " 3 : est recouvert de nombreuses rangées de cils qui lui permettent de se déplacer activement à la r e e j g t e j g " f g " n ø j ½ v g " q h p w g t o ² f k c k t g " B u l i n g s , " e t f y g e n e r e g " f w " i r c t " w p " o ² e c p k u o g " g p | { o c v k s w g 0 " C " n ø k p v ² t k g w t sporocyste primaire contenant les cellules germinales ; celles-ci se divisent à leur tour pour produire les sporocystes secondaires et aboutissent à la formation de furcocercaires. E est une n c t x g " e k n k ² g . " n q p q u i w r g q " u f u g ³ " f 6 2 2 w " p « " e 8 2 2 ü " g v " w p g " n ø c r r g n n c v k q p " I n v a d i u m p e u t p r o d u i r e p l u s d e 1 0 0 0 0 0 c e r c a i r e s , l e u r é m e r g e n c e à p a r t i r d e s m o l l u s q u e s e s t p é r i o d i q u e e t s o u m i s e à l ' i n f l u e n c e d e l a t e m p é r a t u r e a m b i a n t e e t d e l a l u m i è r e p r i n c i p a l e m e n t e n t r e 9 h e t 1 4 h (J o u r d a n e , 1 9 8 2) . L e s c e r c a i r e s j e u n e s s o n t t r è s m o b i l e s e t p e u v e n t s u r v i v r e p e n d a n t 2 4 à 7 2 h e u r e s .

3. Manifestations cliniques de la schistosomose

Ng u " ò w h u " u q p v " t g u r q p u c d n g omò-pathologiques,"etr n w r c t induisent la formation d'un granulome bilharzien. Trois phases sont distinguées (Gentilini *et al.*, 1993 ; Aubry, 2013) :

- **Phase initiale** : elle correspond au passage transcutané des cercaires et passe généralement inaperçue (Klotz *et al.*, 1991) . Elle est marquée par une éruption précoce, une heure après la sortie de l'eau contaminée, et est associée à des symptômes généraux discrets. Cette phase dure 1 à 2 jours (Barabe *et al.*, 1984).

- **Phase d'invasion (ou phase aiguë)** < " e ø g u v " n c " r j c u g " f g " o k i t c v k o u e j k u v q u q o w n g u " * 5 " o q k u " « " 3 " q w " 4 " c p u " c r t ³ u " r élevée et est associée à une toux sèche, des manifestations cutanées (urticaire, prurit, ò f ³)ø g et des douleurs digestives diffuses (douleurs abdominales, diarrhées) (Klotz *et al.*, 1991).

- **Phase d'état (ou phase chronique)** : elle est due à la localisation du parasite adulte dans la veine mésentér k s w g " k p h ² t k g w t g 0 " G n n g " u g " o c p k h g u v g " v q w r q n n c m k w t k g . " f g u " d t Â n w t g u " w t ² v t c n g u " g v " f g u " microscopique, discrète, augmentée par la fatigue et les épices ; cette hématurie devient plus tard macroscopique, avec élimination de caillots (Ross *et al.*, 2002). Cette parasitose peut évoluer vers des complications vésicales, rénales et génitales, et même neurologiques (30 % des malades), conduisant à l'impuissance chez l'homme et la stérilité chez la femme (Warren *et al.*, 1967).

4. Diagnostic biologique

Deux méthodes de diagnostic sont généralement utilisées :

a) Le diagnostic direct :

Il repose principalement sur le diagnostic parasitologique, basé sur la recherche des ò w h ſ. *haëngutòbium* dans les urines (**Figure 4**). Il existe deux techniques :

- **La technique de sédimentation** : elle est basée sur la centrifugation des urines fraîches g v " n ø g z c o g p " f w " e w n q v (Adu-Bry *et al.*, 1997).v t g " n c o g " g

- **La technique de filtration** : elle correspond à la filtration sur membrane des w t k p g u " f g " 4 6 " j g w t g ascòpe des "filtres colorés gut Lugol (Ploquier *et al.*, 1975).

b) Le diagnostic indirect :

Les méthodes sérologiques sont utilisées telles que l'immunofluorescence, l'immunoélectrophorèse, l'hémagglutination passive, l'ELISA. Le transfert des antigènes membranaires de *Schistosoma haematobium*. Ces méthodes peuvent atteindre un degré élevé de sensibilité et de spécificité à condition d'utiliser l'antigène approprié (Ambroise-Thomas *et al.*, 1981; Bernard *et al.*, 2000, Cesari *et al.*, 2010).



Figure 3 : Collecte des urines pour rechercher la présence des œufs de *S. haematobium* (KFPE, 2008)

5. Contrôle de la maladie

Le contrôle de la transmission en intervenant au niveau des différents éléments du cycle sur le couple homme-mollusque (Ripert *et al.*, 1998). Plusieurs méthodes sont ainsi appliquées.

a) Le traitement

Le praziquantel est le médicament de choix pour le traitement de la schistosomose. Il est efficace chez 90 % des patients (Ross *et al.*, 2002).

b) La prophylaxie

Elle t g r q u g " u w t " n ø c u u q e k c v k q p " u k o w p n i n c i p e p l e 2 g " f g " la lutte intégrée :

- L'éducation sanitaire est la première étape dans la réduction de l'infection et la transmission de la maladie (Uwen *et al.*, 2010). Elle a pour objectif, de prévenir n ø k p h g e v k q des mollusques par l'introduction d'une hygiène urinaire et des mesures d'approvisionnement g p " g c w " r q v c d n g " c x g e " n ø k p u v c n n c v k q p " f g " r q k p v u

- La lutte chimique qui repose sur la destruction de l'hôte intermédiaire en introduisant dans les cours d'eau des molluscicides ; soit d'origine chimique (Niclosamide ou Bayluscide®) soit d'origine végétale tel que l'Endod (Madhina et Shiff, 1996).

- La lutte biologique principalement basée sur l'introduction de prédateurs naturels (autres mollusques+ . " g p " t g o r n c ± c p v " n g u " j ½ v g m o i n s u s c e p t i b l e s à 2 f k c k t n ø k p h g e v k q p " f c p u (Hubendick, 1958p; Gretillag, 1961; Hamed *et al.*, " 2010). On peut aussi préconiser le faucardage des végétaux aquatiques supérieurs à proximité f g u " | q p g u " f g " h t 2 s w g p v c v k q p " f g u " e q n n g e v k q p u " c n k o g p v c k t g " f g u " o q n n w u s w (Hamed *et al.*, 2010)." u w t h c e g " f g "

II. Les hôtes intermédiaires de *S. haematobium*

En Afrique, les principaux hôtes intermédiaires de *S. haematobium* sont des mollusques de la famille des Planorbidae (Müller, 1781).

A. Classification

Le genre *Bulinus* appartient à la classe des Mollusca qui sont des animaux non segmentés, à symétrie bilatérale quelquefois altérée, à la classe de Gastropoda car ils possèdent une coquille dorsale torsadée et univalve. Ils appartiennent à la famille des Planorbidae (mollusques), à la famille des Planorbidae (caractérisée par une coquille discoïde plate, des poumons), à la sous-famille des Bulininae dont la coquille est ovale ou turriculée, pseudo-branchies plissées, glande prostatique compacte et organe copulateur, et au genre *Bulinus*.

B. Taxonomie et morphologie

La première révision de la taxonomie des bulins a été faite par Mandahl-Barth en 1957, en se basant sur les variations de la morphologie de la coquille ainsi que sur la description des parties molles et de la radula. Il a décrit ainsi 27 espèces et sous-espèces. En 1979, Biocca a proposé la division des bulins en trois genres en se basant sur les caractères biochimiques. Cette classification a été retenue. Puis Mandahl-Barth a proposé une autre classification qui a été mise à jour par Brown en 1994 et se base sur la morphologie, le nombre des chromosomes (Jelnes, 1985), les allozymes (Biocca *et al.*, 1979), la chromatographie et le séquençage de l'ADN. Ce dernier a décrit 37 espèces de bulins réparties en quatre groupes : *B. africanus*, *B. forskalii*, *B. truncatus/tropicus*, et *B. reticulatus* (Figure 4).

1. Complexe *B. truncatus/tropicus*

Ce complexe se caractérise par une coquille lisse et ne possède pas des micro-sculptures (Fig. 5). Le nombre de chromosomes varie de $2n = (36, 72, 108 \text{ ou } 144)$. Ce groupe contient 14 espèces des bulins, dont les plus connues sont *B. truncatus*, *B. tropicus* (Krauss, 1848) et *B. natalensis* (Kuster, 1841). Elles assurent le développement larvaire de *S. haematobium* et de *S. bovis*.

2. Groupe *B. africanus*

Les bulins de ce groupe se caractérisent par une coquille globuleuse avec une spire plus courte s w g " n ø q et w n n t e également la présence des micro-sculptures sur les tours de spire supérieurs, ce sont les plus gros bulins (**Figure 4**). Le nombre de chromosomes est diploïde ($2n=36$). Ce groupe contient dix espèces des bulins dont les plus connus sont *B. globosus* (Morelet, 1866), *B. africanus* (Krauss, 1848) et *B. umbilicatus* (Mandahl-Barth, 1973b). Elles assurent le développement larvaire du groupe *S. haematobium*.

3. Groupe *B. forskalii*

Celui-ci est caractérisé par une coquille très effilée et lisse. Chez les adultes, la spire est r n w u " j c w v g "(**Figure 4**). Le nombre de chromosomes est diploïde ($2n = 36$). Ce groupe contient 11 espèces de bulin, dont les plus connues sont *B. forskalii* (Ehrenberg, 1831), *B. senegalensis* (Muller, 1781), et *B. camerunensis* (Mandahl-Barth, 1957b). Les espèces de ce groupe assurent la transmission de *S. intercalatum*, de *S. haematobium* et de *S. bovis*.

4. Groupe *B. reticulatus*

Ce groupe comprend deux espèces : *B. reticulatus* (Mandahl-Barth, 1954) en Afrique de n ø g t u . v w ' r i g h t i (Mandahl-Barth, 1965) en Arabie Saoudite. Ces deux espèces ont en commun des caractères morphologiques et moléculaires (**Figure 4**). Le nombre de chromosomes est diploïde ($2n=36$). *Bulinus wrighti* g u v " n ø j ½ v g " k S p v g t o ² t *haematobium* dans le sud de Yémen.



B. truncatus/ tropicus



B. africanus



B. forskalii



B. reticulatus

Figure 4 : Les quatre groupes de bulins (Brown, 1994)

D. Anatomie

Nø c p c v q o k g " v q r qlès bulins est la suivante: i² p² t c n g

- **Les organes palléaux** : Ils sont situés sur la paroi interne du manteau et comprennent le

r q w o q p . " n g " t g k p " g v " n g " e ò w t (Branchie." r g w v " c l q w v g t "

- **Les organes de la digestion** : Ils comprennent la masse buccale, piriforme avec la mâchoire,

n c " t c f w n c " g v " n g u " q t k h k e g u " f g u " i n c p i e f, et le " u c n k x
n q p i " k p v g u v k p " g p t q w n² " c w v q w t " f g " n ø g u v q o c e " h q

- **Les organes génitaux** : Ils sont constitués de trois parties essentielles : i) une partie

hermaphrodite constituée de la gonade qui fabrique les deux types de gamètes. ii) une partie

h g o g n n g " s w k " e q o r t g p f " n ø q x k f w e v g " r c t " n c s w g n n
w p g " r c t v k g " o c n g " s w k " e q o r t g p f " n g " u r g t o k f w e v g "

E. Biologie

Les bulins sont très répandus en Afrique, à Madagascar (Stothard *et al.*, 2001) et au

Moyen-Orient (Jørgensen *et al.*, 2008). Ils sont très tolérants aux conditions climatiques, et

sont u w u e g r v k d n g u " f g " u w t -à dire de résister parfois plusieurs mois à k q u g . "

n c " f g u u k e e c v k q p " g p " u ø g p h q p ± c n p i v l s " p e u v e n t p e u p l e r g u " h q p
aussi bien des e q w t u " f ø g c w temporaires (Dounpougue *et al.*, 1987).

Les bulins ont un mode de développement très rapide qui n g w t " r g t o g v " f ø c w i c

rapidement en nombre et ceci grâce à leur cycle biologique très court (en général trois

générations par an) et à leur système de reproduction. De plus, la polyploidie chez le

complexe *truncatus/tropicus* apparaît être un facteur favorable à son expansion (Njiokou,

1992).

Ils ont une grande tolérance aux parasites : en effet sept espèces différentes de

Trématodes ont été trouvées chez *B. forskalii* (Locker *et al.*, 1981).

F. Système de reproduction

Les bulins sont des individus hermaphrodites pratiquant deux types de reproduction :

Ø Nø c w v q h² e p e r m e t d e s e r e p r o d u i r e e n a b s e n c e d e p a r t e n a i r e . Les individus
vierges et isolés se reproduisent principalement par autofécondation (Rudolph et Bailey,
1985).

\emptyset N \emptyset c n n q h ² qui est basée sur la fécondation croisée par copulation unilatérale, dans laquelle w p " f g u " k p f k x k f w u " c i k v " e q o o g " o \neg n g . " v c p (Rudolph et Bailey, 1985 ; Rollinson, 1986 ; Simpson *et al.*, 1993). Le sperme étranger est utilisé pour la fécondation croisée presque immédiatement après l'accouplement. Si un individu est isolé après la copulation, les stocks de spermatozoïdes permettent n \emptyset c n n q h ² e q p f c v k q p " c w " e q w t u " f g u " o q k u " u w k x c p v u

Certains bulins dits euphalliques sont capables de se reproduire par autofécondation et r c t " c n n q h ² e q p f c v k q p " g p " w v k n k u c p v " n g u " x q k g u ' peuvent utiliser les deux modes de reproduction, mais uniquement en tant que femelle (ils ne r g w x g p v " r c u " v t c p u h ² t ~~g~~ plus)." n g w t " u r g t o g " « " f \emptyset c w v t g

Chapitre 2

Présentation des pays étudiés

Dans ce chapitre, nous décrivons les caractéristiques climatiques de l'Afrique centrale, ii) le Cameroun, un pays d'Afrique centrale marqué par un climat équatorial et tropical, iii) le Sénégal, l'Afrique du Nord traversée par un climat tempéré, iv) le Sénégal, un pays d'Afrique de l'ouest traversé par un régime tropical humide.

I. Le Cameroun

Le Cameroun est un pays d'Afrique centrale, traversé par un climat équatorial et tropical. Il est caractérisé par une grande diversité de climats, allant du climat tempéré dans le nord au climat tropical humide dans le sud. Les zones biogéographiques sont : la zone soudano-sahélienne, la zone soudano-soudanienne, la zone des hauts plateaux et la zone côtière et maritime.

A. Description physique du pays

Ø Les zones biogéographiques

Elles comprennent deux grands climats principaux : le climat tropical sec dans la zone septentrionale et le climat équatorial humide dans le sud. Cinq zones écologiques ont été décrites (Figure 5) :

- 1. La zone soudano-sahélienne :** elle correspond à la zone septentrionale du pays, caractérisée par un climat tropical sec marqué par une très longue saison sèche avec une faible pluviométrie. Elle est caractérisée par une grande diversité de climats, allant du climat tempéré dans le nord au climat tropical humide dans le sud.
- 2. La zone soudano-soudanienne :** elle correspond à la zone centrale du pays, caractérisée par un climat tropical humide avec une grande pluviométrie. Elle est caractérisée par une grande diversité de climats, allant du climat tempéré dans le nord au climat tropical humide dans le sud.
- 3. La zone des hauts-plateaux :** elle correspond aux régions du nord-ouest et du sud-ouest. Elle se caractérise par un climat tropical montagneux avec une longue saison de pluies et une courte saison sèche. Le climat est caractérisé par une grande diversité de climats, allant du climat tempéré dans le nord au climat tropical humide dans le sud.
- 4. La zone côtière et maritime :** elle couvre les régions du Littoral et du Sud-Ouest. Elle se caractérise par un climat tropical très humide avec une pluviométrie importante (4000 mm par an).

5. La zone des forêts équatoriales : elle couvre une grande partie des régions du centre et se caractérise par un climat équatorial à quatre saisons : deux saisons sèches et deux saisons des pluies.

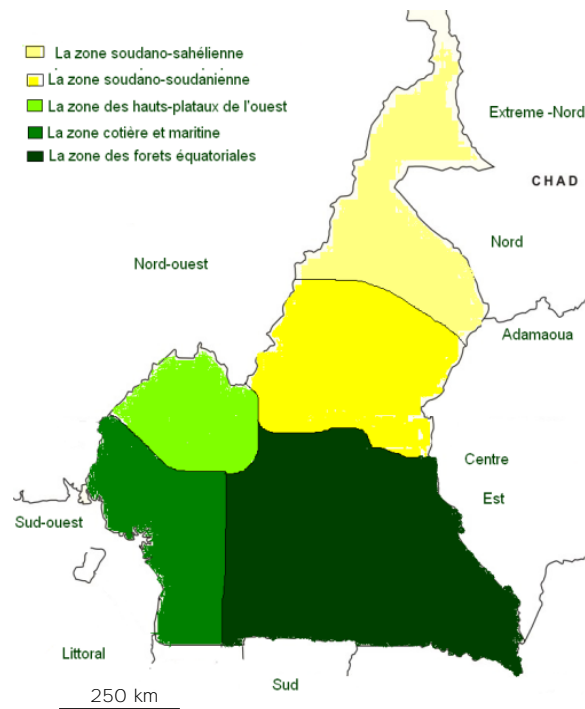


Figure 5 : Les différentes zones écologiques au Cameroun (original)

Ø *Le réseau hydrographique*

1. Les bassins et les rivières

La plupart des rivières naissent dans l'Adamaoua et dans le plateau sud camerounais. Ces cours d'eau se répartissent en quatre bassins.

Ø Trois groupes de fleuves sont distingués :

- Les fleuves côtiers de l'ouest dont les plus importants sont le Mougo et la Manyo. Ils descendent de la dorsale camerounaise et se jettent dans l'Atlantique.

- La Sanaga est le plus important cours d'eau du Cameroun. Il draine un bassin versant d'environ 140.000 km², ses principaux affluents sont le Mbam, le Noun et le Nkim.

- Les fleuves côtiers du sud qui prennent naissance sur le plateau sud camerounais. Parmi lesquels le Nyong qui prend sa source à l'Est d'Abong-Mbang.

Ø Le bassin du Congo : il est représenté au sud-est par le Kadéï et la Ngoko qui prennent leur source dans l'Adamaoua.

- Ø Le bassin du Niger : la Bénoué et ses affluents appartiennent à ce bassin, dont ses principaux sont Faro et Mayo-Déou qui collectent les eaux de l'Adamaoua, des Monts Mandara et des Monts Alantika.
- Ø Le bassin du Tchad : ce bassin est le moins important, et le fleuve principal est le Logone. Son principal affluent est la Vina qui naît au nord de Ngaoundéré.

2. Les lacs

Ils se divisent en quatre groupes :

- Ø Les lacs volcaniques : qui proviennent de l'accumulation des eaux dans les cratères volcaniques éteints. Exemples : le lac Tison, le lac Oku, le lac Nyos...
- Ø Les lacs tectoniques : qui sont localisés dans les fossés d'effondrement tels que le lac Ossa, le lac Dissouni, le lac Ejagham.
- Ø Le lac des cuvettes dont le lac Tchad où une petite partie est située au Cameroun.
- Ø Les lacs artificiels : ce sont les retenues d'eaux nécessaires à la production de l'hydro-électricité. Exemples : Songloulou et Lagdo.

B. Epidémiologie de la schistosomose urinaire au Cameroun

La bilharziose urinaire a été découverte au Cameroun pour la première fois entre 1949 et 1951 dans la partie sud-ouest du pays avec une prévalence de 76 % chez les pêcheurs de Barombi-Kotto, et de 91 % chez ceux du lac Barombi Mbo (Doumengué *et al.*, 1987) . Avec près de 1,1 million de cas sur 14 000 000 (Brooker *et al.*, 2000), elle constitue un problème de santé publique majeur. Elle atteint 100 % (Brooker *et al.*, 2000), dans les régions Extrême Nord et du Nord (Figure 6) (Nkengazong *et al.*, 2009).

En zone équatoriale, il existe quelques foyers endémiques dans les régions du Littoral, notamment le foyer de Loum avec une prévalence de 62,8 % (Tchuem Tchuenté *et al.*, 2003), du Sud-Ouest avec des foyers importants tels que celui de Barombi-Kotto avec une prévalence de 69,5 % (Nkengazong *et al.*, 2009), et dans la zone équatoriale, notamment la zone de Bertoua avec une prévalence relativement faible à Bertoua (10 à 20 %) (Brooker *et al.*, 2000).

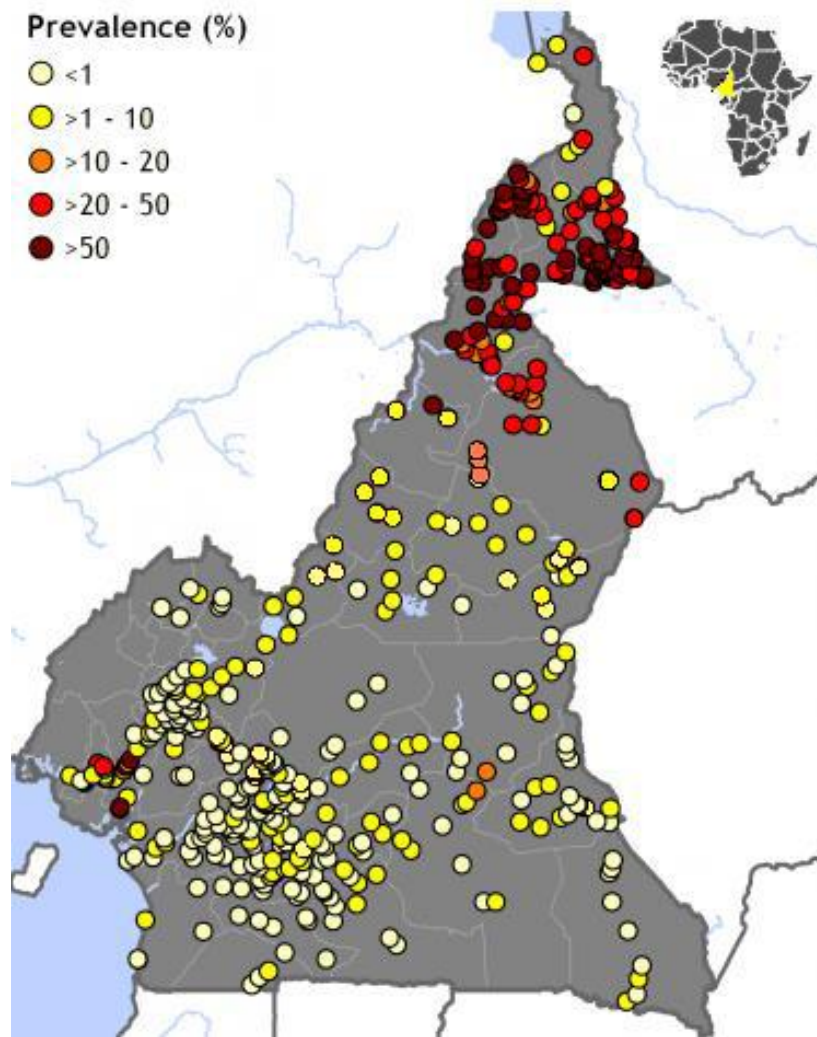


Figure 6 : Prévalence de la schistosomose urinaire au Cameroun (This Wormy World, 2001)

C. Les mollusques hôtes intermédiaires au Cameroun

Au Cameroun, *S. haematobium* est principalement transmis par quatre espèces de bulins (Greer *et al.*, 1990) :

- *Bulinus truncatus* * C w f q w k p . " 3 : 4 9 + " s w g " n ø q p " équatoriale q w x g " c s w ø g p " | q p Greer *et al.*, 1990 ; Ngongu *et al.*, 1992).
- *Bulinus globosus* * O q t g n g v . " 3 : 8 8 + " s w g " n ø q p " t g v t q w x c s w ø ² s w c v q t e k a l n . g " 3 * ; I ; t 2 g + g 0 t " " E g r g p f c p v " f g r w k u " s w g r uniquement en zone tropicale (Djuikwo-Teukeng, communication personnelle).
- *Bulinus senegalensis* (Müller, 1845) uniquement en zone tropicale sèche.
- *Bulinus camerunensis* (Mandahl-Barth, 1957) est uniquement localisé dans deux lacs de cratère en zone équatoriale (le lac Debunsha et le lac Barombi-Kotto) (Greer *et al.* , 1990).

II. ž i ē μ ⁻ ° j

NøGi { r v g " g u v " w p " r c { u " f ø C h t k s w g " f w " P q t f . " u
superficie représente 1 001 449 km² . " c x g e " 4 6 7 2 " m o " f g " e ½ v g u " u w t " f
u w t " n c " O ² f k v g t t c p ² g " c w " p q t f " g v " n ø c w v t g " u w t "

entourée par le Soudan, au sud et par la Libye, à l'ouest (**Figure 7**).

A. Description physique du pays

Ø Le climat

N g " e n k o c v " x c t k g " g p v t g " n g " p q t f " g v " n g " u w f "
température entre la nuit et le jour dans les régions désertiques. Il est méditerranéen sur la côte
d'Alexandrie, semi-désertique au niveau du Caire et complètement désertique dans le Grand
Sud. La région côtière marquée par un climat tempéré regroupe la plupart des grandes villes
égyptiennes (EEI, 2005). Trois zones écologiques peuvent être distinguées (**Figure 7**) :

- 1. La vallée du Nil** qui va de la frontière s q w f c p c k u g " * J c w v g " G i { r v g + " l
de 1500 km et large de 1 à 20 km) = " g n n g " p ø q e e w r g " s w g " 6 " - " f w " v
v q v c n k v ² " f g " n c " r q r w n c v k q p " e c t " e ø g u v " w p g " | q p g
- 2. Le désert libyque ou désert occidental** < " s t e u p e n s e m b l e d e p l a t e a u x p e u é l e v é s d e 3 0 0
à 400 m . " u q w x g p v " e q w x g t v u L i b y e a ù f o r d - p u g s t u d u S o u d a n . k " u ø ² v g p f "
- 3. Le désert arabe ou désert oriental** . " s w k " u ø ² v g p f " l w u s w ø « " n c " C
n ø g p u g o d n g " f g " n c " r ² p k p u w n g " f w " U k p c ¹ 0



Figure 7 : Les zones écologiques en Egypte (Visite-Egypte.com)

Ø Le réseau hydrographique

Le Nil est la principale source de vie du pays = " k n " v t c x g t u g " n ø G i { r v g " du sud au nord. Sans sa présence, l'Égypte ne serait probablement qu'un vaste désert avec quelques points de peuplement, les côtes n'étant pas beaucoup plus habitées (Ayeb, 1990).

B. Épidémiologie de la schistosomose urinaire en Égypte

F g u " ò w h u " *S. haematobium* ont été retrouvés dans deux momies remontant à la XX^{ème} dynastie (1250-1000 av. J.C.). En revanche, la schistosomose urinaire a été découverte pour la première fois en 1851 par T. D k n j c t | . " s w k " c " o k u " g p " 2 x l o c n c f k g " « " n - A y e / d u C a i r e . c n " S c u t " C n

Actuellement, deux espèces des schistosomes humains y sont rencontrées à savoir *S. haematobium* et *S. mansoni* au sein des populations vivant dans le delta du Nil (Basse G i { r v g + 0 " G p " t g x c p e j g . " f c p u " n c ' S . h a e m a t o b i u m est* J c w v g présent g 0 " C w " v q v c n . " u k z " o k n n k S q h e m d t o b i u m G H u s e i n e t k a l g p u " u q p 2006) avec une prévalence qui diminue des gouvernorats du sud au nord du pays (**tableau 1**).

Tableau 1 : Prévalence et intensité de l'infection par *S. haematobium* dans les neuf gouvernorats de l'Égypte (El-Khoby et al., 2000)

Gouvernorat	Prévalence (%)	K p v g p u i k f e c t i o n ' f (oe w h u " 1 " 3 2 " o N "
Ismailia	1,80	3,55
Kafr-El-Sheikh	0,45	2,54
Gharbia	0,26	2,06
Manofia	0,44	5,50
Qalubia	0,08	1,53
Fayoum	13,69	9,95
Minya	8,89	8,47
Assiut	5,21	6,63
Qena	4,78	7,04

C. Les mollusques hôtes intermédiaires en Égypte

En Égypte, *S. haematobium* est principalement transmis par *B. truncatus* s w g " n ø q p " retrouve tout le long du Nil (Badran, 1996). *Bulinus forskalii* est rare dans la quasi-totalité des d k q v q r g u . " g v " k n " p ø g u v " r c u " t g e q p p w " e q o o g " j ½ v g

III. Le Sénégal

Le Sénégal est un pays d'Afrique de l'Ouest. Il est bordé par l'océan Atlantique à l'ouest avec 531 km de côtes, la Mauritanie au nord et à l'est, le Mali à l'est, la Guinée et la Guinée-

D k u u c w " c w " u w f 0 " U c " r q k p v g " q w g u v " g u v " n c " t 2 i k q p
N g " U 2 p 2 i c n " u ø 2 v g p f " u w t " 3 ; 8 " 9 4 4 " m o " * O w t k g n " g v

A. Description physique du pays

Ø Les zones biogéographiques

Le Sénégal est situé dans la zone intertropicale. Il se caractérise par 2 saisons : la saison sèche (octobre à juin), et la saison des pluies (juillet à septembre).

Cinq zones écologiques sont distinguées (**Figure 8**) :

1. Le Ferlo : qui recouvre la zone nord-est du pays et est caractérisé par une steppe semi-désertique, peuplée par des bergers.

2. La région maritime < " s w k " u ø 2 v g p f " n g " n q p i " f g " n ø q e 2 c p .
étant formée d ø c n k i p g o g p v u " f g " f w p g u 0

3. La zone soudano-sahélienne : s w g " n ø q p " t g v t q w x g " c w " p q t f " g v " <
de savane arborée, régulièrement ravagée par les feux de brousse.

4. La zone soudanienne : c w " p q t f " g v " « " n ø g u v " fpaysàgn de forêtc u u g " E
claire.

5. La zone sub-tropicale : principalement en basse Casamance, elle présente une végétation très dense avec des arbres immenses, des rizières, des palmiers et des arbres fruitiers.

Figure 8 : Les zones écologiques au Sénégal (Niayis.e-monsite.com)

