

UNIVERSITÉ DE LIMOGES

.....

FACULTÉ DE PHARMACIE

.....

Pré document de la Thèse

Par

Yasser DAR

**CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES GÉNÉRATIONS RÉDIENNES DE *Fasciola*
gigantica (DIGENEA) ET DE LEUR PRODUCTIVITÉ CERCARIENNE
CHEZ DEUX ESPÈCES DE LYMNAEIDAE (MOLLUSCA).**

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

Mr. Président

Mr. Juge

Mr. Rapporteur

Mr. Rapporteur

Mr. Juge

Mr. Juge

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre premier : <i>Fasciola hepatica</i> et <i>Fasciola gigantica</i>	4
I. Les caractéristiques des deux douves	4
A. Leur position systématique	4
B. La morphologie des adultes	4
C. Leur répartition géographique	7
D. Leur cycle évolutif	10
E. Les hôtes définitifs des deux <i>Fasciola</i>	12
1. Les taxons concernés	12
2. Le développement du parasite chez son hôte	14
F. Les hôtes intermédiaires	16
1. Les taxons concernés	16
2. La sensibilité des limnées au parasite	19
II. Les formes larvaires chez l'hôte intermédiaire	21
A. Présentation succincte des stades larvaires	21
1. L'œuf	21
2. Le miracidium	21
3. Le sporocyste	25
4. La rédie	25
5. La cercaire	27
6. La métacercaire	28
B. Les générations rédiennes	30
1. Définition des générations	30
2. Dynamique des générations rédiennes	33

	Pages
3. Caractères permettant de reconnaître ces générations	36
III. La fasciolose en Egypte	37
A. Considérations préliminaires	37
B. Les hôtes définitifs	37
1. Cas des Mammifères.....	37
2. Cas particulier de l'homme	38
C. Les hôtes intermédiaires.....	39
IV. Commentaires	40

Chapitre deuxième : Identification des rédies immatures de *Fasciola hepatica*

et de <i>F. gigantica</i>	42
I. Buts de l'étude	42
II. Matériel biologique.....	43
A. Les mollusques	43
B. Les œufs des Digènes	43
III. Protocole expérimental	45
IV. Paramètres utilisés	45
V. Morphométrie des rédies de <i>Fasciola hepatica</i> et de <i>F. gigantica</i>	47
A. Caractéristiques générales de l'expérience	47
B. Les dimensions du corps rédien	50
1. Présentation des résultats	50
2. Interprétation statistique	50
C. Les dimensions du pharynx et de l'intestin	53
1. Présentation des résultats	53
2. Interprétation statistique	53
D. Les rapports entre quelques paramètres	56
1. Présentation des résultats	56
2. Interprétation statistique	56
VI. Synthèse	58
VII. Discussion	58
A. Prévalence de l'infestation fasciolienne	58

B. Critères permettant de séparer les rédies de <i>Fasciola hepatica</i> de celles de <i>F. gigantica</i>	59
C. L'espèce du mollusque a-t-elle un effet sur la morphométrie des rédies ?.....	61

Chapitre troisième : Les rédies de *Fasciola gigantica* et leur développement

chez deux limnées	62
I. Buts de l'étude	62
II. Matériel et méthodes	64
A. Les mollusques	64
B. Les œufs de <i>Fasciola gigantica</i>	64
C. Protocole expérimental	66
D. Paramètres utilisés	66
E. Tests statistiques	67
III. Croissance des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> chez les deux limnées	67
A. Les rédies de <i>Fasciola gigantica</i>	67
1. Etude de la charge rédienne globale	67
2. Etude des effectifs par catégorie rédienne	72
B. Longueur du corps rédien	75
C. Largeur de la lumière pharyngienne	78
IV. Croissance des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> chez <i>Galba truncatula</i> en fonction de l'origine géographique des miracidiums	80
A. Prévalence de l'infestation fasciolienne	80
B. Les rédies de <i>Fasciola gigantica</i>	80
1. Etude de la charge rédienne globale	80
2. Etude des effectifs par catégorie rédienne	83
C. Longueur du corps rédien	89
1. Etude descriptive	89
2. Interprétation statistique	89
D. Largeur de la lumière pharyngienne	92
1. Etude descriptive	92
2. Interprétation statistique	95

	Pages
V. Synthèse	95
A. Croissance des rédies chez les deux limnées	95
B. Croissance des rédies par rapport à l'origine du parasite	98
VI. Discussion.....	98
A. Considérations générales	100
1. Modes de développement pour les rédies	100
2. Largeur de la lumière pharyngienne	100
B. Croissance des rédies par rapport à l'espèce du mollusque	102
C. Croissance des rédies par rapport à l'origine géographique du parasite	102
Chapitre quatrième : Productivité larvaire chez les rédies de <i>Fasciola gigantica</i>	105
I. Buts de l'étude	105
II. Matériel et méthodes	107
A. Protocole expérimental.....	107
B. Paramètres utilisés	107
C. Tests statistiques	109
III. Productivité larvaire des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> chez les deux limnées ...	109
A. Développement des masses germinatives intra-rédiennes	109
1. Cas de <i>Radix natalensis</i>	109
2. Cas de <i>Galba truncatula</i>	111
3. Interprétation statistique	114
B. Productivité cercarienne	115
IV. Productivité larvaire des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> chez <i>Galba truncatula</i> en fonction de l'origine géographique des miracidiums	118
A. Développement des masses germinatives intra-rédiennes.....	118
1. Cas des limnées de Courcelles	118
2. Cas des limnées de Berneuil	121
3. Interprétation statistique	124
B. Productivité cercarienne	126
V. Synthèse	126
A. Productivité larvaire des rédies chez les deux limnées	126

	Pages
B. Productivité larvaire des rédies en fonction de l'origine du parasite.....	127
VI. Discussion	127
A. Considérations générales sur le développement du contenu intra-rédien chez <i>Fasciola gigantica</i>	127
B. Développement larvaire par rapport à l'espèce de mollusque	129
C. Développement larvaire par rapport à l'origine géographique du parasite	130

Chapitre cinquième : Les émissions cercariennes de *Fasciola gigantica*

chez deux limnées	132
I. Buts de l'étude	132
II. Matériel et méthodes	134
A. Les mollusques	134
B. Les œufs de <i>Fasciola gigantica</i>	134
C. Protocole expérimental	134
D. Paramètres utilisés	136
E. Tests statistiques	136
III. Les émissions cercariennes de <i>Fasciola gigantica</i> chez les deux limnées.....	139
A. Les caractéristiques de l'infestation fasciolienne	139
B. Dynamique journalière des émissions cercariennes	142
1. Cas des <i>Galba truncatula</i>	142
2. Cas des <i>Radix natalensis</i>	142
IV. Les émissions cercariennes de <i>Fasciola gigantica</i> par rapport à l'origine géographique du parasite	144
A. Les caractéristiques de l'infestation fasciolienne	144
1. La survie des mollusques au 30 ^e jour de l'expérience	144
2. La prévalence de l'infestation fasciolienne	144
3. La durée totale de vie des limnées	146
4. Les durées des périodes prépatente et patente	148
5. Les métacercaires de <i>Fasciola gigantica</i>	148
B. Dynamique journalière des émissions cercariennes.....	151

	Pages
1. Cas de l'isolat égyptien	151
2. Cas de l'isolat chinois	151
a) Chez les limnées de Courcelles	151
b) Chez les limnées de Berneuil	153
V. Synthèse	153
A. Les émissions cercariennes chez les deux limnées	153
B. Les émissions cercariennes en fonction de l'origine du parasite	153
VI. Discussion	154
A. Caractéristiques générales.....	154
1. Survie des mollusques au 30 ^e jour	154
2. Taux d'infestation des mollusques par <i>Fasciola gigantica</i>	155
3. Durée de vie des mollusques	156
B. Les émissions cercariennes par rapport à l'espèce du mollusque	156
C. Les émissions cercariennes par rapport à l'origine géographique du parasite	158

Chapitre sixième : Observations histologiques sur les *Galba truncatula*

infestés par <i>Fasciola gigantica</i>	159
I. Buts de l'étude	159
II. Matériel et méthodes	160
A. Le mollusque	160
B. Les œufs de <i>Fasciola gigantica</i>	160
C. Protocole de l'expérience	160
D. La technique histologique	161
E. Paramètres étudiés	161
III. Les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> sur coupes sériées	164
A. Charge rédienne globale	164
B. Effectifs par catégorie rédienne	166
1. Rédies vivantes	166
2. Rédies dégénérées	166
IV. Les conséquences histopathologiques sur certains organes de <i>Galba truncatula</i>	170

	Pages
A. Glande digestive	170
B. Gonade	170
C. Glande de l'albumine	171
D. Rein	172
V. Synthèse	172
A. Les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> chez <i>Galba truncatula</i>	172
B. Les aspects lésionnels sur quatre organes de <i>Galba truncatula</i> infestés par <i>Fasciola gigantica</i>	173
VI. Discussion	173
A. Les rédies dégénérées	173
B. Les conséquences histopathologiques	174
RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES	177
SUMMARY	187
BIBLIOGRAPHIE	192
PREMIERE ANNEXE	217
DEUXIEME ANNEXE	225

-oOo-

UNIVERSITÉ DE LIMOGES

.....

FACULTÉ DE PHARMACIE

.....

Année 2004

Thèse n°

THÈSE

**POUR L'OBTENTION DU
DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LIMOGES
OPTION : PARASITOLOGIE**

Par

Yasser DAR

**GÉNÉRATIONS RÉDIENNES DE *Fasciola gigantica* (DIGENEA)
ET PRODUCTIVITÉ CERCARIENNE CHEZ DEUX ESPÈCES
DE LYMNAEIDAE (MOLLUSCA).**

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

Mr. DREYFUSS, Université de Limoges Président
Mr. CABARET, I.N.R.A de Nouzilly Rapporteur
Mr. CHAUVIN, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes Rapporteur
Mr. RONDELAUD, Université de Limoges Juge
Mr. TOULLIEU, Laboratoire Départemental Vétérinaire de Tulle Juge
Mr. VIGNOLES, Université de Limoges Juge

Nous souhaitons dédier cette thèse :

A ma petite famille :

ma chère Epouse, mes enfants : Ahmed et Tasnim,
qui m'ont accompagné en patience tout au long de ce travail.

A ma grande famille :

mon père, ma mère, mes frères et ma sœur,
qui m'ont partagé par leurs chaleureux sentiments.

Le travail présenté dans ce mémoire de thèse a été réalisé à la Faculté de Pharmacie de Limoges, sous la supervision conjointe de M. le Professeur DREYFUSS et de M. le Docteur RONDELAUD, de l'UPRES EA n° 3174.

Nous exprimons notre gratitude respectueuse :

- à M. le Pr. DREYFUSS, de la Faculté de Pharmacie de Limoges, pour son chaleureux accueil dans son laboratoire et pour l'honneur qu'il nous fait en présidant ce jury.

- à M. le Dr. CABARET, de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tours-Nouzilly, pour les techniques apprises dans son laboratoire, pour sa participation à ce jury et pour son avis en tant que rapporteur.

- à M. le Pr. CHAUVIN, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes, pour avoir accepté de participer au jury et d'être l'un des rapporteurs.

- à M. le Dr. RONDELAUD, de la Faculté de Médecine de Limoges, pour nous avoir guidé sincèrement tout au long de ces quatre ans et pour ses conseils précieux qui nous ont aidé dans nos expériences.

- à M. le Dr. TOULLIEU, Laboratoire Départemental Vétérinaire de Tulle, pour avoir accepté de juger ce travail.

- à M. le Dr. VIGNOLES, de la Faculté de Pharmacie de Limoges, pour son aide en continu dans les analyses statistiques (ou dans le domaine informatique) et pour sa participation à ce jury.

Nous tenons à remercier M. le Conseiller Culturel de l'Ambassade d'Egypte à Paris et tous les membres du Bureau Culturel pour leur disponibilité et toutes les facilités qu'ils m'ont offertes au cours de notre séjour en France.

Enfin, nous adressons nos plus vifs remerciements au personnel du Laboratoire de Zoologie, Faculté des Sciences de Tanta (Egypte), à celui de la Faculté de Pharmacie de Limoges et à tous les collègues pour leurs encouragements et leur aide tout au long de ces années.

GÉNÉRATIONS RÉDIENNES DE *Fasciola gigantica* (DIGENEA) ET PRODUCTIVITÉ CERCARIENNE CHEZ DEUX ESPÈCES DE LYMNAEIDAE (MOLLUSCA).

Par Yasser DAR

Des infestations expérimentales de *Galba truncatula* et de *Radix natalensis* par *Fasciola gigantica* ont été réalisées afin d'étudier les générations rédiennes de ce parasite, leur croissance et leur productivité cercarienne. Les caractéristiques morphométriques de ces larves chez les deux *Lymnaea* ont aussi été comparées avec celles de *F. hepatica*.

Au 28^e jour d'infestation, la distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier (DAC), la largeur de la lumière pharyngienne, la longueur du corps (LC), et la distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices, pour les rédies de *F. gigantica* sont affectées par l'espèce du mollusque. Les rapports : DAC / LC et DAC / diamètre du collier, permettent de séparer les rédies immatures de *F. hepatica* de celles appartenant à *F. gigantica*.

Au 49^e jour, la charge rédienne globale de *F. gigantica* est plus élevée chez *R. natalensis* que chez *G. truncatula*. La longueur du corps et la lumière de la largeur pharyngienne de ces larves sont affectées par l'espèce du mollusque et la catégorie rédienne. L'espèce de la limnée a un effet significatif sur les effectifs des morulas, des embryons et des cercaires. Il n'y a pas de différence significative entre les nombres de métacercaires fournies par les deux espèces de mollusques.

Chez deux populations de *G. truncatula* infestées chacune par l'un des trois isolats de *F. gigantica* (Chine, Egypte, ou Madagascar), la charge rédienne dans les groupes Egypte est plus élevée que celles relevées dans les autres lots. Au 49^e jour, l'origine du parasite a un effet significatif, non seulement sur les longueur du corps rédien, mais aussi sur les effectifs des morulas, des embryons et des cercaires. Lorsque ces deux populations sont infestées par les deux isolats Chine ou Egypte, l'origine de *F. gigantica* et la population de la limnée ont des effets significatifs sur les fréquences des limnées infestées ou non. L'effectif de cercaires le plus élevé a été noté dans le cas de l'isolat égyptien.

La glande digestive, celle de l'albumine, la gonade et le rein de *G. truncatula* infesté par *F. gigantica* présentent une nécrose épithéliale, de type multifocal ou généralisé, suivie ou non par une reconstitution. La gonade peut disparaître en totalité sous la pression des rédies.

Ces résultats montrent que les deux populations de *G. truncatula* utilisées ont une sensibilité élevée avec l'isolat égyptien de *F. gigantica*. Ce mollusque peut jouer un rôle important dans la transmission du parasite en Egypte, en plus de l'hôte intermédiaire principal : *R. natalensis*.

Mots clés : *Fasciola hepatica*, *F. gigantica*, *Galba truncatula*, *Radix natalensis*, croissance, morphométrie, productivité, Mollusca, rédie, Trematoda.

INTRODUCTION GENERALE

Fasciola hepatica et *F. gigantica* (Digenea) sont connus également comme les douves du foie. Elles provoquent une maladie dangereuse : la fasciolose. Celle-ci touche les animaux domestiques (bovins, moutons, ...) et, occasionnellement, l'homme (Chen et Mott, 1990 ; Esteban *et al.*, 1998). *F. hepatica* a une distribution géographique quasi-cosmopolite, surtout dans les zones tempérées alors que *F. gigantica* est plus spécifique des zones tropicales (Torgerson et Claxton, 1999).

En Egypte, ces deux *Fasciola* se rencontrent sur la plus grande partie du territoire mais c'est surtout dans le Delta du Nil (au nord du pays) que la fasciolose humaine est la plus importante (Farag *et al.*, 1979 ; Hammouda *et al.*, 1995 ; Farag, 1998 ; Haseeb *et al.*, 2002) et que la prévalence de la maladie chez les animaux herbivores est élevée (El-Azazy et Schillhorn van Veen, 1983 ; Lotfi *et al.*, 1995 ; El-Magdoub *et al.*, 1999 ; El-Shazly *et al.*, 2002b). D'autre part, la présence de plusieurs espèces de mollusques, capables de s'infester par l'un ou l'autre des deux *Fasciola* dans les conditions naturelles contribue à la transmission de la fasciolose (Farag et El-Sayad, 1995 ; Farag, 1998 ; Mohamed *et al.*, 1998 ; Ahmed et Ramzy, 1999 ; El-Shazly *et al.*, 2002a).

Chez les deux *Fasciola*, le développement des rédies (stade larvaire) est complexe car il y a plusieurs générations successives et chacune d'entre elles a sa propre famille de cercaires (autre stade larvaire). Même si les générations rédiennes de *F. hepatica* sont bien connues depuis les travaux de Kendall (1965) et des auteurs qui ont suivi (Rondelaud et Barthe, 1987a, b ; Augot *et al.*, 1998, par exemple), il n'en est pas de même pour *F. gigantica*. Si les générations rédiennes ont été décrites chez cette douve par Dinnik et Dinnik (1956), par Rakotondravao *et al.* (1992) et par Augot *et al.* (1995), la croissance des rédies à l'intérieur de chaque génération et leur productivité n'ont pas encore été précisées. En effet, l'étude du développement et de la productivité du stade rédie permet de préciser la sensibilité

et la spécificité de l'hôte intermédiaire à l'infestation fasciolienne. En conséquence, on peut déterminer, d'une part, l'espèce de mollusque la plus favorable pour assurer le développement larvaire de *F. gigantica* et, d'autre part, l'isolat du parasite qui présente la productivité parasitaire la plus élevée. Ce travail se propose donc d'étudier les générations rédiennes de *F. gigantica* chez deux mollusques hôtes afin de répondre aux deux questions suivantes :

- 1) L'espèce de la limnée a-t-elle un effet sur la croissance et la productivité cercarienne des rédies de *F. gigantica* ?

- 2) Quelle sont les caractéristiques des générations rédiennes de *F. gigantica* chez un mollusque hôte (comme *Galba truncatula*, par exemple) lorsque l'origine géographique des miracidiums utilisés pour l'infestation n'est pas la même ?

Comme *F. hepatica* et *F. gigantica* peuvent infester la même limnée : *Radix natalensis* ou *G. truncatula*, nous nous sommes demandé comment identifier les rédies immatures de ces deux Digènes car les rédies à cercaires peuvent se différencier par la longueur de l'intestin (Ollerenshaw et Graham, 1986). Deux questions supplémentaires se sont donc alors posées :

- 3) Quelles sont les paramètres morphométriques les plus efficaces pour identifier les rédies des deux espèces de *Fasciola* lorsqu'elles se trouvent dans le même mollusque hôte ?

- 4) Est-ce que ces paramètres peuvent être affectés par l'espèce de la limnée ?

Pour répondre à la première question, des *R. natalensis* et des *G. truncatula* ont été infestés par *F. gigantica* afin d'étudier si l'espèce de la limnée a un effet sur les générations rédiennes et les caractéristiques des émissions cercariennes.

La réponse à la deuxième question a été réalisée en soumettant des Limnées tronquées de deux populations françaises à des infestations bimiracidiennes individuelles avec trois isolats de *F. gigantica* différant par leur origine géographique (Chine, Egypte et Madagascar) dans le but d'étudier la croissance et la productivité cercarienne des rédies.

La troisième et la quatrième questions ont été résolues en effectuant des infestations expérimentales de *R. natalensis* et de *G. truncatula* par *F. hepatica* ou par *F. gigantica* afin de déterminer les caractéristiques morphométriques des rédies au 28^e jour d'infestation et de vérifier si l'espèce de la limnée a un effet sur ces paramètres. A cette date, les masses germinatives dans les rédies ne sont pas encore différenciées en cercaires.

Les résultats de ces expériences sont détaillés dans ce mémoire de thèse. Ils sont présentés selon le plan suivant :

- Le chapitre premier présente des données générales sur *F. hepatica* et *F. gigantica*, leurs cycles évolutifs, leurs hôtes et leur productivité larvaire. Un paragraphe particulier fait le point sur la fasciolose en Egypte.

- Le chapitre deuxième regroupe les résultats des études morphométriques sur les rédies de *F. hepatica* et sur celles de *F. gigantica* en fonction de l'espèce du mollusque hôte (*G. truncatula* ou *R. natalensis*).

- Le chapitre troisième traite de la croissance des rédies de *F. gigantica* chez les deux limnées précitées.

- Le chapitre quatrième présente les résultats sur la productivité larvaire de *F. gigantica* chez ces deux mollusques.

- Le chapitre cinquième expose les caractéristiques des émissions cercariennes de *F. gigantica* chez *G. truncatula* et *R. natalensis*.

- Le chapitre sixième est consacré à l'étude des rédies de *F. gigantica* sur des coupes histologiques de *G. truncatula* afin de déterminer l'effectif des rédies dégénérées par rapport à celui des larves qui restent en vie et d'étudier, aussi, la réponse viscérale du mollusque à l'infestation par *F. gigantica*.

Un résumé et des conclusions générales, des projets de recherche, la bibliographie utilisée, une liste récapitulative des illustrations et deux annexes sont présentés à la fin de ce travail.

Fasciola hepatica* ET *F. gigantica

Dans ce chapitre, nous nous proposons de faire des rappels généraux sur *F. hepatica* et *F. gigantica*. Le premier paragraphe présente les caractéristiques des deux douves, leurs cycles évolutifs et leurs hôtes. Le deuxième traite des différents stades larvaires qui se succèdent chez le mollusque hôte et détaille les générations rédiennes de ces Digènes. Le troisième paragraphe est consacré à la distribution des deux parasites sur le territoire égyptien, aux hôtes définitifs et aux mollusques. Enfin, dans le dernier paragraphe, des commentaires généraux sont fournis sur l'ensemble de ces données.

I. LES CARACTERISTIQUES DES DEUX DOUVES.

A. LEUR POSITION SYSTEMATIQUE.

Dans la nomenclature zoologique internationale, les deux espèces de *Fasciola* se classent dans les taxons suivants :

- **Embranchement** des Plathelmintha,
- **Classe** des Digenea,
- **Ordre** des Echinostomida,
- **Famille** des Fasciolidae,
- **Genre** *Fasciola*,
- **Espèce** *F. hepatica* Linné, 1758, et *F. gigantica* Cobbold, 1855.

B. LA MORPHOLOGIE DES ADULTES.

D'après Euzeby (1971), les adultes de *F. hepatica* et de *F. gigantica* se ressemblent beaucoup mais plusieurs éléments permettent de les distinguer (Figs. 1 et 2, pages suivantes) :

- L'adulte de *F. hepatica* possède un corps mince, aplati, foliacé, mesurant de 20 à 30 mm de longueur et de 8 à 13 mm en largeur. La forme générale de corps est assez triangulaire

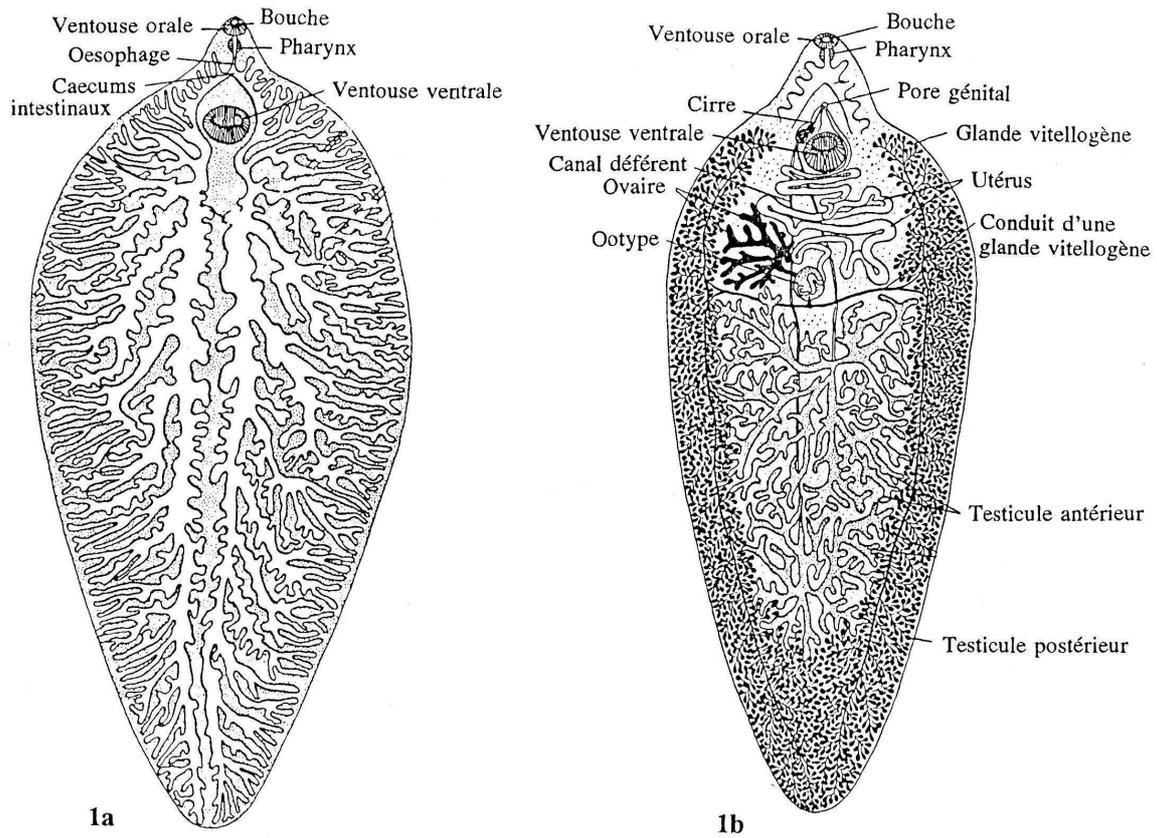


Figure 1.
Fasciola hepatica adulte (d'après Soulsby, 1982, modifié) :
 les systèmes digestif (1a) et reproducteur (1b).

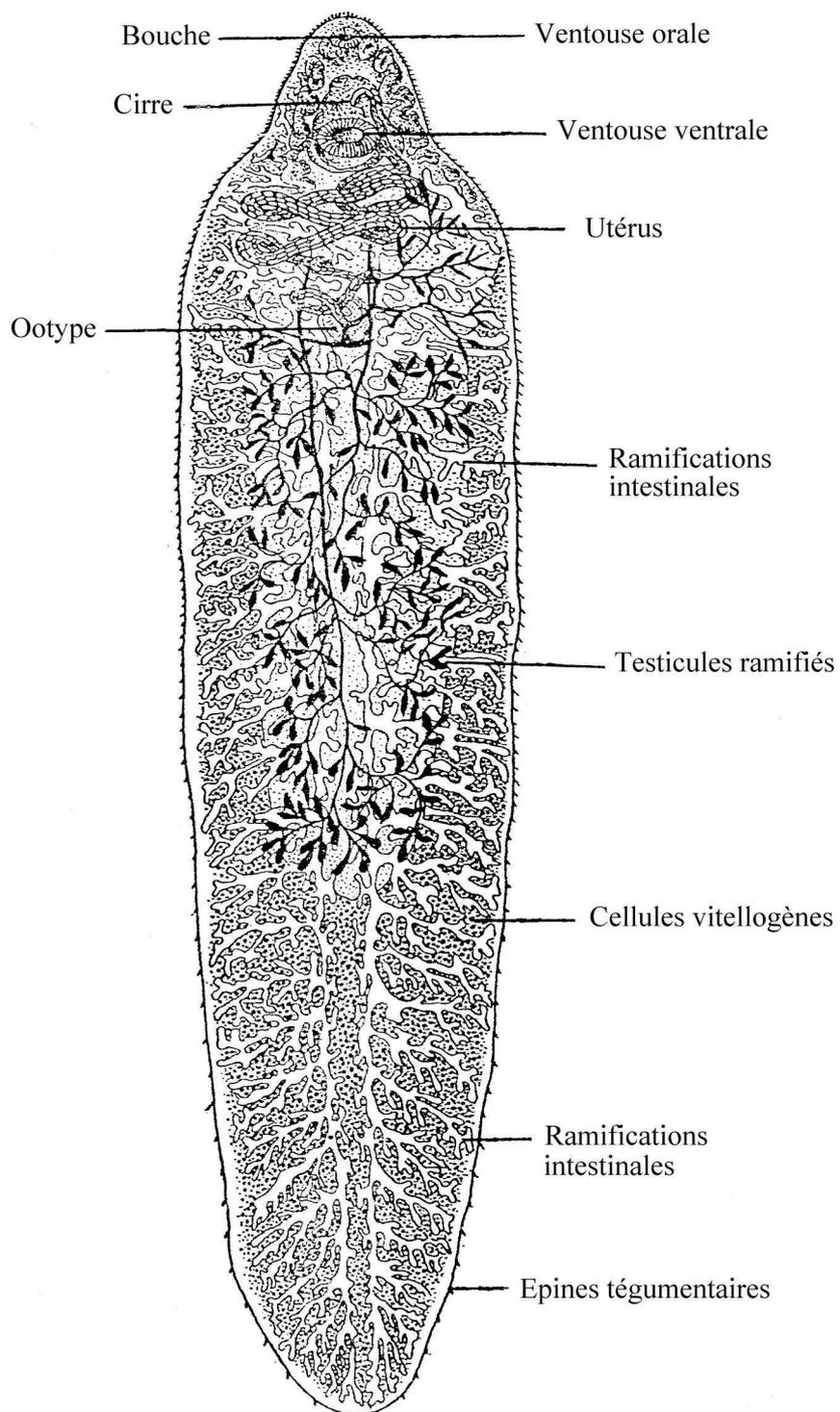


Figure 2.
Un exemplaire adulte de *Fasciola gigantica*
(d'après Brumpt, 1949).

avec des bords plus ou moins convexes. L'extrémité antérieure se rétrécit brusquement en un cône céphalique qui porte la ventouse orale. En arrière de ce prolongement conique, le corps est très élargi, formant deux épaules latérales.

- Celui de *F. gigantica* ne diffère de *F. hepatica* que par sa plus grande longueur (30 à 75 mm) et la forme allongée du corps avec des bords latéraux presque parallèles. Le cône céphalique est moins développé et l'élargissement scapulaire est moins large (8 à 10 mm seulement) que dans le cas de *F. hepatica*. Les ramifications intestinales internes sont assez nombreuses.

Cependant, les deux Digènes ont des caractères communs :

- La ventouse ventrale est proche de la ventouse orale et permet la fixation du parasite sur les parois des canaux biliaires.

- L'appareil digestif est constitué par une bouche s'ouvrant au centre de la ventouse orale et un pharynx musculaire lui fait suite. Il se continue par un œsophage court, débouchant dans un intestin bifide et aveugle.

- Le système nerveux comprend une paire de ganglions cérébroïdes antérieurs, situés sur les deux côtés du pharynx. Ces ganglions sont reliés par une commissure qui passe sur la face dorsale de pharynx. Il en part des nerfs.

- L'appareil génital est hermaphrodite. Le corps contient un ovaire unique, deux testicules et deux glandes vitellogènes se présentant sous forme ramifiée. Il n'y a pas autofécondation mais accouplement réciproque.

C. LEUR REPARTITION GEOGRAPHIQUE.

F. hepatica (Fig. 3, page suivante) a été importé par les animaux domestiques dans presque tous les pays où le climat est suffisamment chaud et humide pour permettre la survie et la multiplication des mollusques hôtes (Nozais, 1996). Cependant, certaines contrées ne sont pas concernées : c'est le cas du sud-est asiatique (comme la Malaisie), de l'Extrême-Orient (comme le Japon), de certaines zones d'Afrique tropicale et du Canada central. Ces régions ne sont pourtant pas indemnes de fasciolose car *F. hepatica* y est remplacé par d'autres espèces : *F. gigantica* en Asie et en Afrique, *Fascioloides magna* au Canada, ou *Fasciolopsis buski* aux Etats-Unis. De même, dans les régions de haute latitude nord (Islande, Sibérie, Pays Scandinaves), *F. hepatica* est inconnu car les températures y sont trop basses.

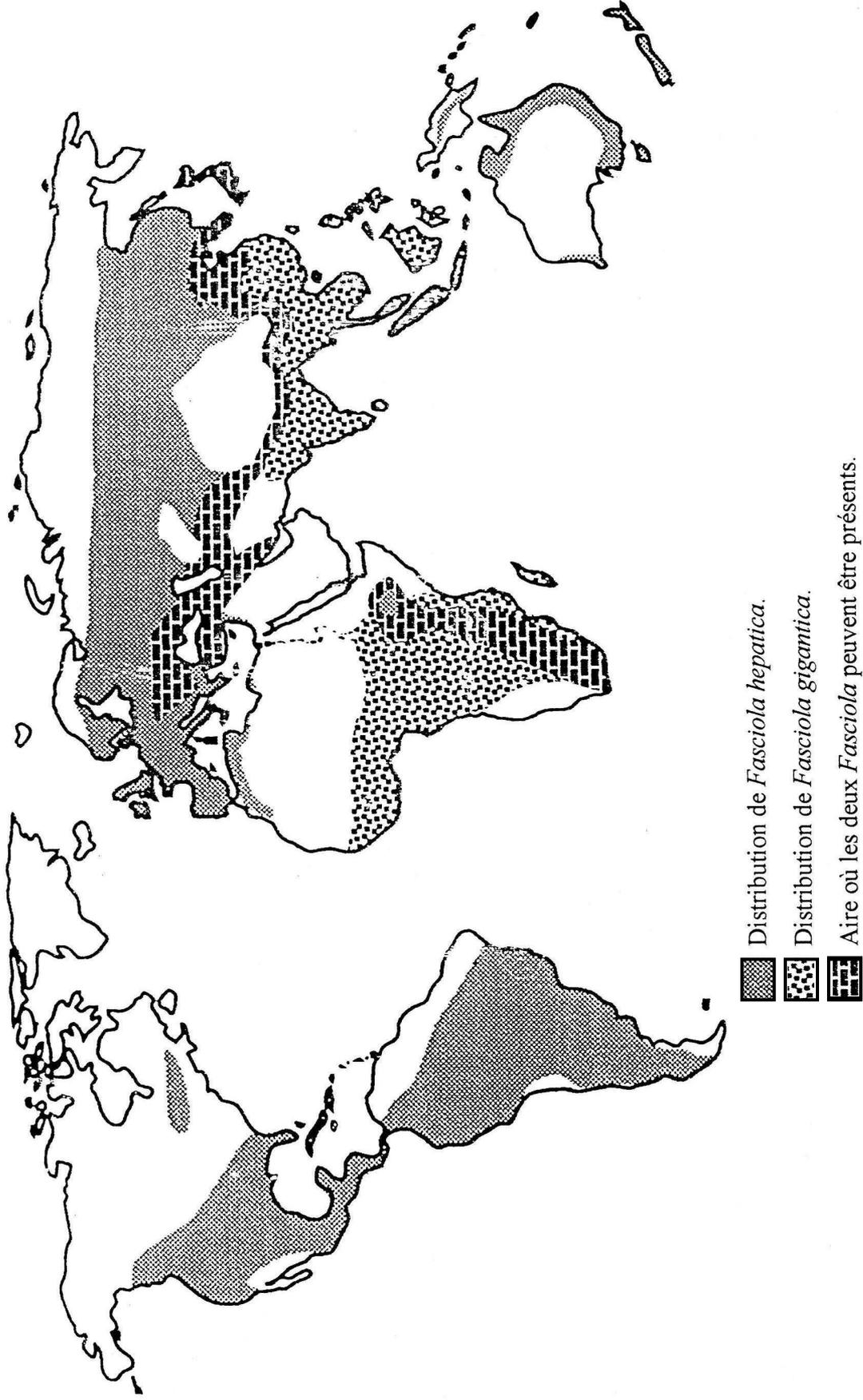


Figure 3.

La distribution géographique de *Fasciola hepatica* et *F. gigantica* (d'après Torgerson et Claxton, 1999).

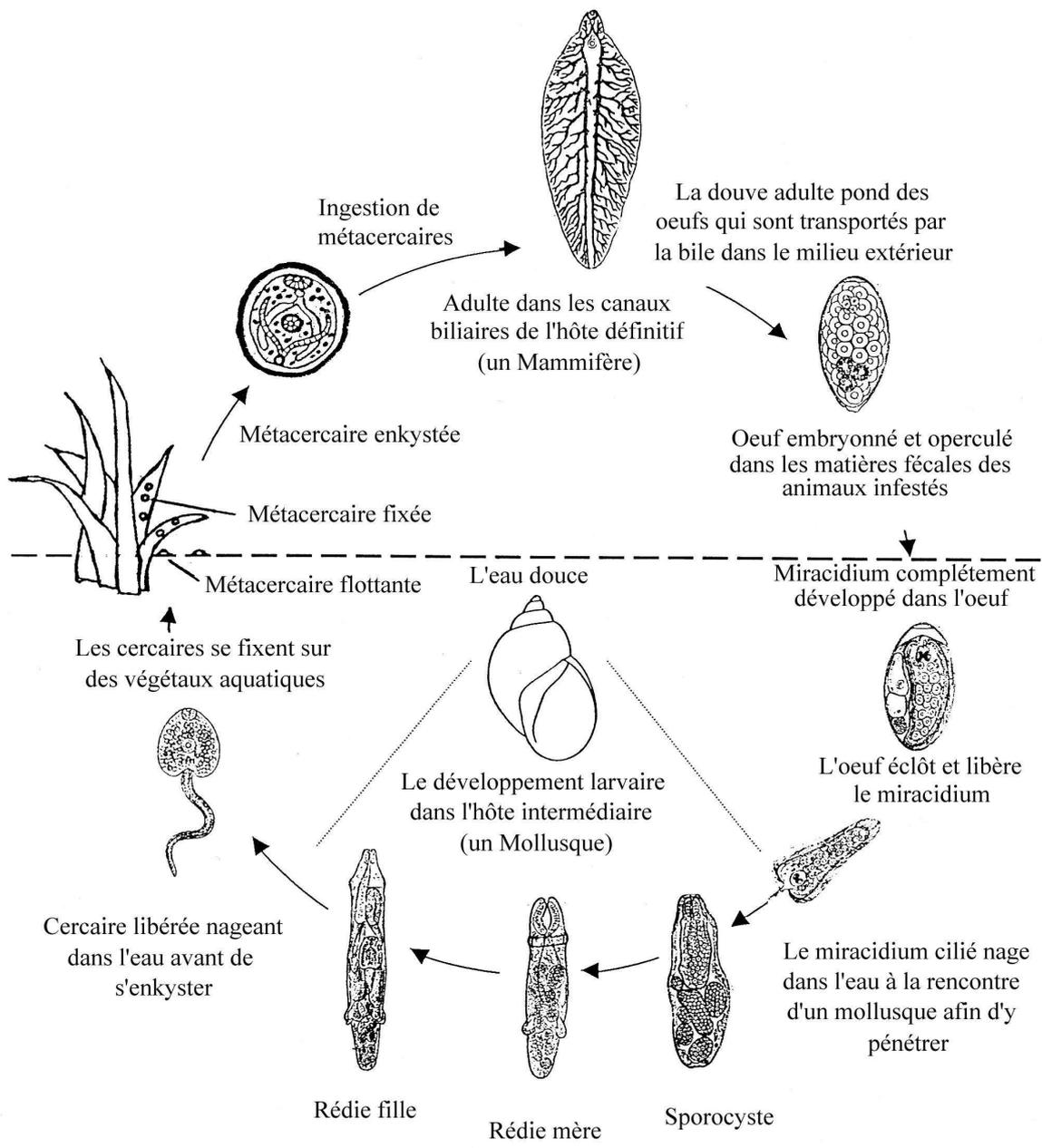


Figure 4.
 Le cycle de développement général pour *Fasciola hepatica* et *F. gigantica* (d'après Euzéby, 1971 ; Soulsby, 1982, modifié).

Il n'en est pas de même pour la fasciolose humaine car la maladie est fréquente sur les hauts plateaux andins (Bolivie, Equateur, Pérou), en Egypte, en République islamique d'Iran. La relative rareté de la fasciolose en Asie et son absence quasi-totale en Afrique à cause des habitudes culinaires ne favorisent pas la transmission (Nozais, 1996 ; Torgerson et Claxton, 1999).

La répartition géographique de *F. gigantica* (Fig. 3) pour la maladie animale comme pour l'affection humaine est moins bien connue. C'est la douve hépatique la plus commune en Afrique, au Moyen-Orient et en Extrême-Orient. Elle existe aussi en Turquie, en Espagne, dans le sud de l'Asie (Inde, Irak, Iran, Malaisie, Pakistan), aux îles Hawaii et probablement aux Etats-Unis (Torgerson et Claxton, 1999).

D. LEUR CYCLE EVOLUTIF.

D'une manière générale, le cycle (Fig. 4) est le même chez les deux espèces car ces deux *Fasciola* ont besoin de deux hôtes :

- Le premier est l'hôte définitif qui héberge le parasite sous sa forme adulte. Dans celui-ci, la douve effectue la reproduction sexée. L'hôte définitif est représenté par la plupart des Mammifères, y compris l'homme.

- L'autre est l'hôte intermédiaire qui assure la multiplication et le développement des formes larvaires. C'est souvent un mollusque gastéropode d'eau douce, appartenant à la famille des Lymnaeidae.

Les douves adultes vivent dans les canaux biliaires de l'hôte définitif et pondent des œufs qui sont évacués dans l'intestin, puis éliminés avec les fèces dans le milieu extérieur.

Si les œufs se trouvent dans un milieu humide, ils éclosent après une période d'incubation. La durée de celle-ci dépend des conditions climatiques : elle est, par exemple, de 20 jours à 20° C et de 15 jours à 25° C selon Ollerenshaw (1971) dans le cas de *F. hepatica*. Il en sort des larves libres et ciliées, appelées miracidiums, qui nagent rapidement à la rencontre de l'hôte intermédiaire. La durée de vie de ce stade est courte (quelques heures).

Lorsque cette rencontre s'effectue, le miracidium pénètre chez le mollusque et se transforme en sporocyste. A l'intérieur de ce dernier, se forment les rédies de première génération, par multiplication végétative des masses germinatives. Plusieurs autres générations rédiennes lui succèdent par la suite. Les rédies contiennent des masses germinatives qui

Taxons concernés	<i>Fasciola hepatica</i>	<i>Fasciola gigantica</i>
- Métathériens Marsupiaux	Kangourou, Opossum, Wallaby, Wombat (Lab.)	?
- Fissipèdes	Chat, Chien (Lab.)	
- Simplicidentés (Rongeurs)	Castor, Cobaye, Gerbille, Hamster, Ragondin, Rat, Spermophiles (Lab.)	Souris, Cobaye (lab.)
- Artiodactyles Ruminants domestiques	Bovins, Ovins, Caprins	Bovins, Ovins, Caprins, Chameau
Ruminants sauvages	Bisons	Bovidés (Antilopiinae), Cervidae, Giraffidae
- Suiformes sauvages	Porc, Sanglier	
- Lagomorphes	Lapin (Lab.) Lapin et Lièvre	
- Périssodactyles	Ane, Cheval	
- Primates	Homme	

Tableau I.

Les hôtes définitifs de *Fasciola hepatica* et de *F. gigantica* (d'après Boray, 1969 ; Euzeby, 1971 ; Soulsby, 1982 ; Torgerson et Claxton, 1999).

(Lab.) indique que ces animaux ont été infestés dans les conditions du laboratoire.
(?) notifie que l'infestation avec cette parasitose n'a pas été détectée.

se différencient progressivement pour produire des rédies filles ou des cercaires. Ces dernières deviennent indépendantes dans le corps de l'hôte.

Lorsqu'elles sont mûres, les cercaires sortent du mollusque hôte. L'émergence se produit à partir de 49^e jour (après l'exposition aux miracidiums) à 20° C. Les cercaires nagent rapidement pendant quelques instants et s'enkystent sur un support végétal ou à la surface de l'eau en formant des métacercaires fixées ou des kystes flottants par ordre respectif.

La métacercaire représente le stade infestant du parasite. Si elle est ingérée par l'hôte définitif, elle se désenkyste dans l'estomac et gagne le foie. Elle effectue une migration de six semaines dans le parenchyme hépatique. La larve devient adulte au début du troisième mois et se localise alors dans les canaux biliaires où elle pond des œufs.

E. LES HOTES DEFINITIFS DES DEUX *Fasciola*.

1. Les taxons concernés.

Le tableau I présente la liste de ces hôtes définitifs pour *F. hepatica* comme *F. gigantica*. On peut en dégager les remarques suivantes :

- La plupart des espèces listées dans le tableau appartiennent à l'embranchement des Mammifères. Mais deux Oiseaux peuvent être infestés : le poulet (expérimentalement) d'après Euzeby (1971) ou encore l'émeu en Australie par *F. hepatica* (Vaughan *et al.*, 1997).

- La liste des Mammifères recensés comme hôtes définitifs est longue, ce qui indique la non spécialisation de ces hôtes. En effet, elle s'étend de l'infra-classe de Métathériens (Marsupiaux) jusqu'à l'ordre des Primates (Euzeby, 1971).

- Les animaux domestiques les plus touchés sont les bovins, les ovins et les caprins. Le porc est un hôte occasionnel en Europe et en Amérique latine (Mas-Coma *et al.*, 1999).

- L'homme est aussi affecté par cette parasitose. Son infestation par *F. hepatica* est assez fréquente comme le montrent les études épidémiologiques de Gaillet *et al.* (1983) pour la France (8.898 cas humains sur une période de 25 ans). Mais la prévalence est nettement plus élevée dans d'autres pays comme en Amérique latine (Hillyer et Apt, 1997 ; Esteban *et al.*, 1999) comme nous l'avons déjà indiquée.

Dans le cas de *F. gigantica*, les cas humains sont assez rares et sont décrits essentiellement dans les zones tropicales (Spithill *et al.*, 1999).

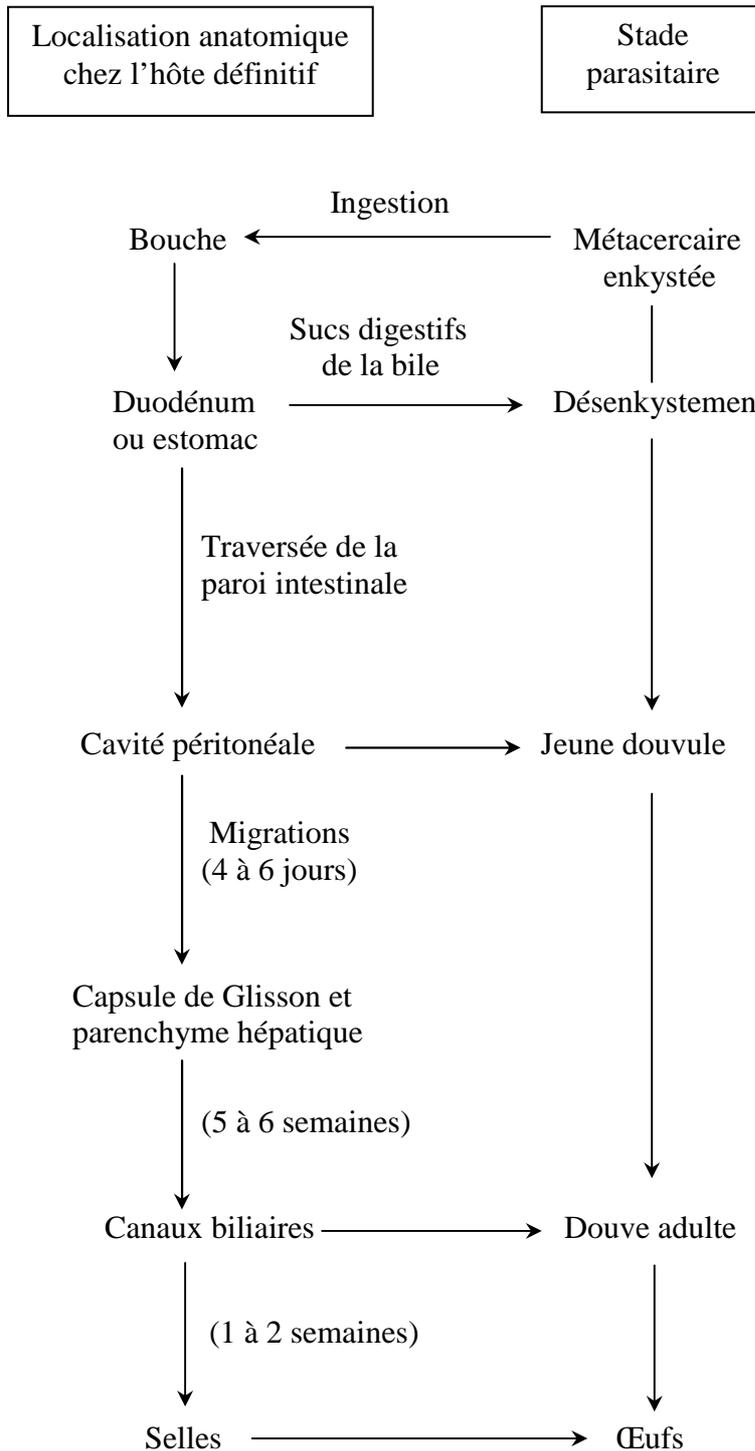


Figure 5.
Organigramme montrant les principales étapes dans le développement de *Fasciola hepatica* chez l'hôte définitif (d'après Apostoloff, 2001).

2. Le développement du parasite chez son hôte.

La figure 5 schématise le développement de la métacercarie jusqu'à la forme adulte de *F. hepatica* chez l'hôte définitif.

Il est identique pour les deux *Fasciola*. Le Mammifère s'infeste en consommant des plantes ou de l'eau renfermant des métacercaries. Celles-ci se libèrent de leur enveloppe kystique dans l'estomac ou le duodénum sous l'action des sucs digestifs et de la bile. Une journée après l'infestation, les larves traversent la paroi intestinale et se déplacent dans la cavité péritonéale. Lorsqu'elles arrivent au foie après 4 à 6 jours, elles perforent la capsule de Glisson et commencent leur migration dans le parenchyme pendant 5 à 6 semaines où elles augmentent progressivement de taille (Dawes et Hughes, 1964 ; Losson, 1988). La douve adulte s'installe dans les canaux biliaires à partir de la 7^e semaine post-ingestion.

La période prépatente (temps nécessaire à la différenciation de la métacercarie en douve adulte) est au minimum de 8 semaines chez le mouton. La durée de vie de la forme adulte dépend de l'espèce de l'hôte définitif : elle est de quelques années chez les bovins, par exemple.

Deux phases successives ont été reconnues dans le développement de la fasciolose à *F. hepatica* chez l'hôte définitif (Nozais, 1996) :

- Une phase d'invasion qui correspond à la migration intra-hépatique des douvules (jeunes douves immatures) dans la cavité péritonéale, puis dans le parenchyme hépatique et, enfin, à leur différenciation sexuelle. Cette phase dure, en général, 2 à 3 mois.

- Une phase d'état qui coïncide avec l'apparition des premiers œufs dans les selles à partir du troisième mois post-infestation. Au cours de cette période, les douves adultes se fixent à la paroi de canaux biliaires.

Suivant le nombre de parasites qui se développent en même temps dans le foie, on peut distinguer deux formes cliniques de cette fasciolose chez les herbivores (Acha et Szyfres, 1989) :

- 1) La forme aiguë. Elle est provoquée par l'ingestion d'un grand nombre de métacercaries. Les jeunes douvules envahissent brutalement le foie et migrent dans le parenchyme hépatique. Ces parasites peuvent provoquer des hémorragies, des hématomes et même la rupture du foie. Par la suite, ils déterminent une inflammation des canaux biliaires et causent une destruction partielle du parenchyme hépatique.

<i>Lymnaea</i>	Localisation	Référence
<i>L. bulimoides</i>	- Australie - Amérique du Nord et Centrale	Lang (1977), McKown et Ridley (1995)
<i>L. columella</i>	- Amérique du Nord et Centrale, Amérique du Sud - Afrique - Australie, Nouvelle-Zélande	Price (1953), Boray (1969), Euzeby (1971), Yong Cong et Perera de Puga (1991), Brown (1994)
<i>L. cousini</i>	- Amérique du Sud	Over (1982)
<i>L. cubensis</i>	- Amérique du Nord et Centrale	Price (1953), Over (1982)
<i>L. gedrosiana</i>	- Moyen-Orient, (Iran)	Euzeby (1971)
<i>L. glabra*</i>	- Europe	Boray (1969)
<i>L. humilis</i>	- Amérique du Nord	Over (1982)
<i>L. modicella</i>	- USA	Lang (1977)
<i>L. occulta*</i>	- Pologne	Czapski (1977)
<i>L. ollula</i>	- Iles Hawaii, Japon	Boray (1969), Euzeby (1971)
<i>L. palustris*</i>	- Europe - USA	Boray (1966), Lang (1977)
<i>L. peregra*</i>	- Europe	Boray (1966, 1969)
<i>L. proxima</i>	- USA	Lang (1977)
<i>L. stagnalis</i>	- Europe	Boray (1966, 1969)
<i>L. tomentosa</i>	- Australie, Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Zélande	Boray (1966, 1969), Over (1982)
<i>L. truncatula*</i>	- Toute l'Europe - Asie : Afghanistan, Iran, Iraq, Pakistan, Syrie - Afrique : Afrique du Sud, Cameroun, Egypte, Ethiopie, Kenya, Maghreb - Amérique : Alaska, Canada, USA, Bolivie, Pérou	Kendall (1950), Boray (1966, 1982), Euzeby (1971), Malek (1980), Brown (1994), Graczyk et Fried (1999), Mas-Coma <i>et al.</i> (1999)
<i>L. viatrix</i>	- Amérique du Sud	Over (1982), Mas-Coma <i>et al.</i> (1999)
<i>L. viridis</i>	- Iles de l'Asie, Japon	Watanabe (1962), Boray (1982)

Tableau II.

Les principales espèces de limnées intervenant comme hôtes intermédiaires naturels dans le cycle évolutif de *Fasciola hepatica* (Torgerson et Claxton, 1999, complété).

* Une nouvelle nomenclature (Falkner *et al.*, 2002) utilise d'autres noms au niveau des genres. Nous avons ainsi : *Omphiscola glabra*, *Stagnicola occulta*, *S. palustris*, *Radix peregra* et *Galba truncatula*, par exemple, pour ne citer que les limnées européennes.

D'autres modifications communes sont l'hyperéosinophilie, l'hypoalbuminémie et un taux élevé de transaminases sériques ALAT (glutamo-oxaloacétiques).

- 2) La forme chronique. Elle se développe lentement. L'animal présente une perte de poids, de la maigreur, un œdème sous-maxillaire, de l'anémie, de la faiblesse, des diarrhées et une ascite. La symptomatologie comporte aussi une cholangite, une stase biliaire et une destruction du tissu hépatique. L'anémie et l'hyperéosinophilie sont durables.

Les moutons sont assez sensibles à la distomatose à *F. hepatica*. Dans certains cas, la maladie se développe sous la forme aiguë, ce qui entraîne la mort des ovins. Les bovins, qui sont plus résistants, ne souffrent que rarement de fasciolose aiguë si bien que la quasi-totalité des formes sont chroniques. Les veaux sont plus réceptifs que les adultes à *F. hepatica*.

La clinique et l'anatomo-pathologie de la distomatose à *F. gigantica* sont semblables à celles que nous avons rapportées pour *F. hepatica*.

F. LES HOTES INTERMEDIAIRES.

1. Les taxons concernés.

Dans le cas des deux *Fasciola*, il s'agit de Mollusques Gastéropodes Pulmonés. La plupart des espèces appartiennent à la famille des Lymnaeidae.

Mais d'autres mollusques, appartenant à des familles voisines, peuvent assurer le développement de *Fasciola* sp. : c'est le cas de *Bulinus truncatus* (Barthe et Rondelaud, 1986) et de *Planorbis leucostoma* (Abrous *et al.*, 1998) pour *F. hepatica*, de *Bulinus liratus* à Madagascar (Rakotondravao, 1984) et de *Biomphalaria alexandrina* en Egypte pour *F. gigantica* (Farag et El-Sayad, 1995). Ce sont des espèces aquatiques ou amphibies qui peuvent respirer l'oxygène atmosphérique grâce à leur cavité pulmonaire (poumon).

Le tableau II montre les espèces de limnées qui interviennent comme hôtes intermédiaires dans le cycle évolutif de *F. hepatica*. La plus fréquente est *G. truncatula* : elle vit en Europe, dans une partie de l'Asie, certaines zones de l'Afrique et en plusieurs points de l'Amérique du Sud.

Quatre autres limnées ont été signalées aux U.S.A. et en Amérique centrale, et deux autres espèces dans le sud de ce continent. *L. viridis* a été cité comme hôte intermédiaire en Asie et *L. columella* sur le continent africain. En Australie, il s'agit de *L. tomentosa* et de *L.*

<i>Lymnaea</i>	Localisation	Référence
<i>L. auricularia</i> et ses variétés dont : <i>L. natalensis</i> <i>L. rubiginosa</i> .	- Afrique : Egypte, Kenya, Madagascar, Rhodésie - Europe - Asie : Inde, Malaisie, Pakistan, Turquie	Kendall (1954), Boray (1969), Euzeby (1971), Chartier <i>et al.</i> (1993), Da Costa <i>et al.</i> (1994), Tembely <i>et al.</i> (1995)
<i>L. columella</i>	- Egypte - Iles Hawaii	Boray (1969), Ahmed et Ramzy (1999)
<i>L. gedrosiana</i>	- Iran, Iraq	Euzeby (1971), Massoud et Sadjadi (1980)
<i>L. ollula</i>	- Iles Hawaii, Japon	Boray (1969), Euzeby (1971), Itagaki <i>et al.</i> (1989)
<i>L. peregra</i>	- Europe	Boray (1966, 1969), Massoud et Sadjadi (1980)
<i>L. tomentosa</i>	- Australie, Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Zélande	Boray (1966, 1969)
<i>L. truncatula</i>	- Egypte, Kenya - ex-URSS - Allemagne	Dinnik et Dinnik (1957), Boray (1969), Euzeby (1971), Brown (1994)

Tableau III.
Les principales espèces de limnées intervenant comme hôtes
intermédiaires naturels dans le cycle évolutif de *Fasciola*
gigantica (Torgerson et Claxton, 1999, complété).

Groupe	Caractéristiques de l'infestation fasciolienne	Principales espèces de <i>Lymnaea</i> pour :	
		<i>Fasciola hepatica</i>	<i>Fasciola gigantica</i>
1	- Relations « normales ». Développement larvaire complet chez le mollusque adulte. Faible mortalité des limnées. Production cercarienne importante.	<i>L. bulimoides</i> <i>L. cubensis</i> <i>L. humilis</i> <i>L. tomentosa</i> <i>L. truncatula</i> <i>L. viatrix</i> <i>L. viridis</i>	<i>L. natalensis</i> <i>L. ovata</i> <i>L. tomentosa</i>
2	- Relations modifiées. Développement larvaire disparate selon l'espèce ou les populations. Mortalité élevée. Production cercarienne variable.	<i>L. columella</i> <i>L. cubensis</i> <i>L. tomentosa</i> <i>L. viatrix</i> <i>L. viridis</i>	<i>L. columella</i> <i>L. truncatula</i>
3	- Résistance partielle due à l'âge. Faible production cercarienne. Développement complet uniquement chez les jeunes.	<i>L. glabra</i> <i>L. ovata</i> <i>L. palustris</i> <i>L. peregra</i> <i>L. stagnalis</i>	<i>L. peregra</i> <i>L. stagnalis</i>
4	- Résistance totale. Absence de pénétration miracidiene. Dans quelques cas, développement mais arrêt au stade sporocyste ou des rédies immatures.	<i>L. lessoni</i> <i>L. natalensis</i>	<i>L. lessoni</i> <i>L. palustris</i>

Tableau IV.
La sensibilité des limnées à l'infestation par *Fasciola hepatica* ou *F. gigantica* (d'après Boray, 1978).

columella (Boray, 1985). *Stagnicola occulta*, en Pologne, est une autre espèce qui a un rôle local. Il faut signaler, en plus, que les jeunes spécimens de *L. stagnalis*, d'*Omphiscola glabra*, de *Radix peregra* et de *S. palustris* peuvent assurer le développement larvaire alors que les adultes sont réfractaires à l'infestation par *F. hepatica* (Boray, 1978).

L'hôte intermédiaire habituel de *F. gigantica* (Tableau III) est *R. natalensis* en Afrique. Mais cette espèce n'est pas la seule à intervenir dans le cycle évolutif du parasite. *F. gigantica* peut s'adapter à des mollusques inhabituels. Dinnik et Dinnik (1957) ont montré, au Kenya, que *F. gigantica* infeste *G. truncatula* et que les cercaires obtenues sont viables. Une observation semblable a été faite en ex-URSS (Euzéby, 1971). Le parasite peut également se développer chez *L. tomentosa* et *R. peregra*, par exemple (Boray, 1969). Quelques données sur *G. truncatula* et *R. natalensis* figurent dans la première annexe (pages 218 et 219).

Plusieurs espèces de limnées peuvent assurer le développement de l'un ou de l'autre *Fasciola* comme *L. columella*, *L. gedrosiana* ou *L. ollula* (Boray, 1969, 1978).

2. La sensibilité des limnées au parasite.

Les mollusques hôtes de l'un ou de l'autre *Fasciola* n'ont pas tous la même sensibilité vis-à-vis de ces Digènes. Boray (1978) classe ces espèces en quatre groupes selon l'interaction qu'ils ont avec les deux douves.

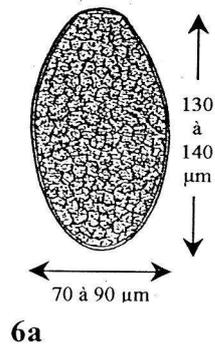
Le tableau IV présente ces catégories et leur sensibilité respective à l'infestation par *F. hepatica* ou *F. gigantica*.

- a) Les espèces qui ont des relations « normales » avec le parasite. Elles peuvent s'infester à tout âge et ont une production cercarienne importante. Ces Pulmonés ont une faible résistance par rapport aux douves (la relation est donc une source importante pour la transmission du Digène).

- b) Les limnées qui présentent des disparités dans le développement larvaire de *Fasciola*. Si le mollusque peut s'infester à tout âge, le développement larvaire, par contre, est variable et la production cercarienne plus ou moins importante selon les souches. Ces hôtes présentent une résistance plus forte que celle des espèces appartenant au premier groupe.

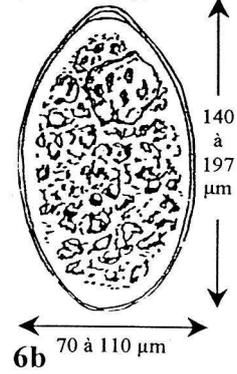
- c) Les mollusques qui ne peuvent s'infester que dans leurs premiers jours de vie. La production des cercaires est faible. Il existe dans ce groupe une résistance qui dépend de l'âge des limnées lors de l'exposition aux miracidiums.

Fasciola hepatica

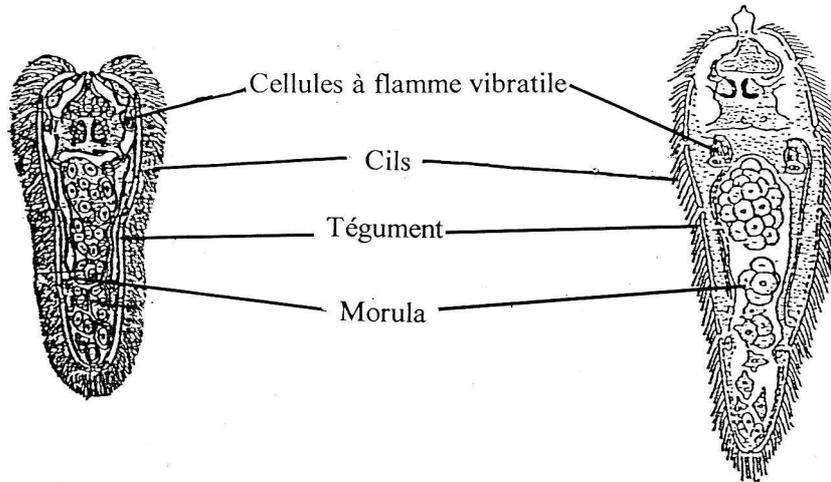


6a

Fasciola gigantica

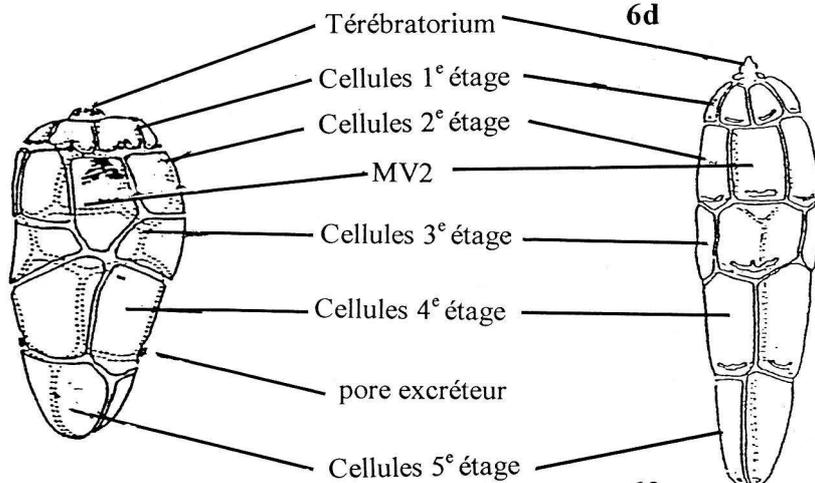


6b



6c

6d



6e

6f

Figure 6.

La morphologie des formes larvaires de *Fasciola hepatica* et de *F. gigantica* : l'œuf operculé (6a, b), la structure interne du miracidium (6c, d : noter la ciliature qui entoure le corps entier de la larve sauf au niveau de la papille) et la morphologie externe montrant les 21 cellules épithéliales sans les cils (6e, f).

(d'après Mattes, 1949 ; Euzeby, 1971 ; Bayssade-Dufour *et al.*, 1980 ; Josens *et al.*, 1990, pour *F. hepatica*, et d'après Dinnik et Dinnik, 1956 ; Rakotondravao, 1984, dans le cas de *F. gigantica*).

- d) Dans ce groupe, il y a une résistance totale de la limnée envers le Digène. Selon les espèces de limnées, les miracidiums ne pénètrent pas chez les mollusques, ou s'ils le font, le développement larvaire s'arrête souvent au stade sporocyste ou, parfois, au stade des rédies immatures.

II. LES FORMES LARVAIRES CHEZ L'HÔTE INTERMÉDIAIRE.

A. PRESENTATION SUCCINCTE DES STADES LARVAIRES.

La plupart des données concernant *F. hepatica* proviennent de la note que Saint-Guillain (1968) a faite sur des coupes sériées de *G. truncatula* alors que celles de *F. gigantica* proviennent d'une étude de Dinnik et Dinnik (1956, 1963, 1964) sur des *R. natalensis* disséqués à des intervalles réguliers.

1. L'œuf.

Il est ovoïde, operculé et a une coquille transparente de couleur brun jaunâtre (Fig. 6a, b). Il contient un ovule, entouré par un grand nombre de cellules nourricières. A l'extérieur, les œufs subissent une incubation de durée variable en rapport avec la température du milieu. Elle est ainsi de 14 jours en moyenne pour *F. hepatica* et de 16-18 jours pour *F. gigantica* à 26° C.

La sortie du miracidium s'effectue sous l'influence d'un certain nombre de facteurs dont les plus importants sont la température, l'humidité, la présence d'une lumière et la teneur en oxygène dissous dans l'eau.

Les dimensions de ces œufs présentent cependant des différences. Dans le cas de *F. hepatica*, la longueur moyenne est de 130-140 µm pour une largeur allant de 70 à 90 µm (Leuckart, 1883 ; Thomas, 1881, 1882, 1883a, b ; Josens *et al.*, 1990). Dans le cas de *F. gigantica*, les dimensions respectives se distribuent de 140 à 197 µm et de 70 à 110 µm (Dinnik et Dinnik, 1956, 1963).

2. Le miracidium.

Après son éclosion, il nage rapidement dans le milieu extérieur au moyen de sa ciliature à la recherche d'un hôte intermédiaire potentiel. S'il ne trouve pas celui-ci dans un

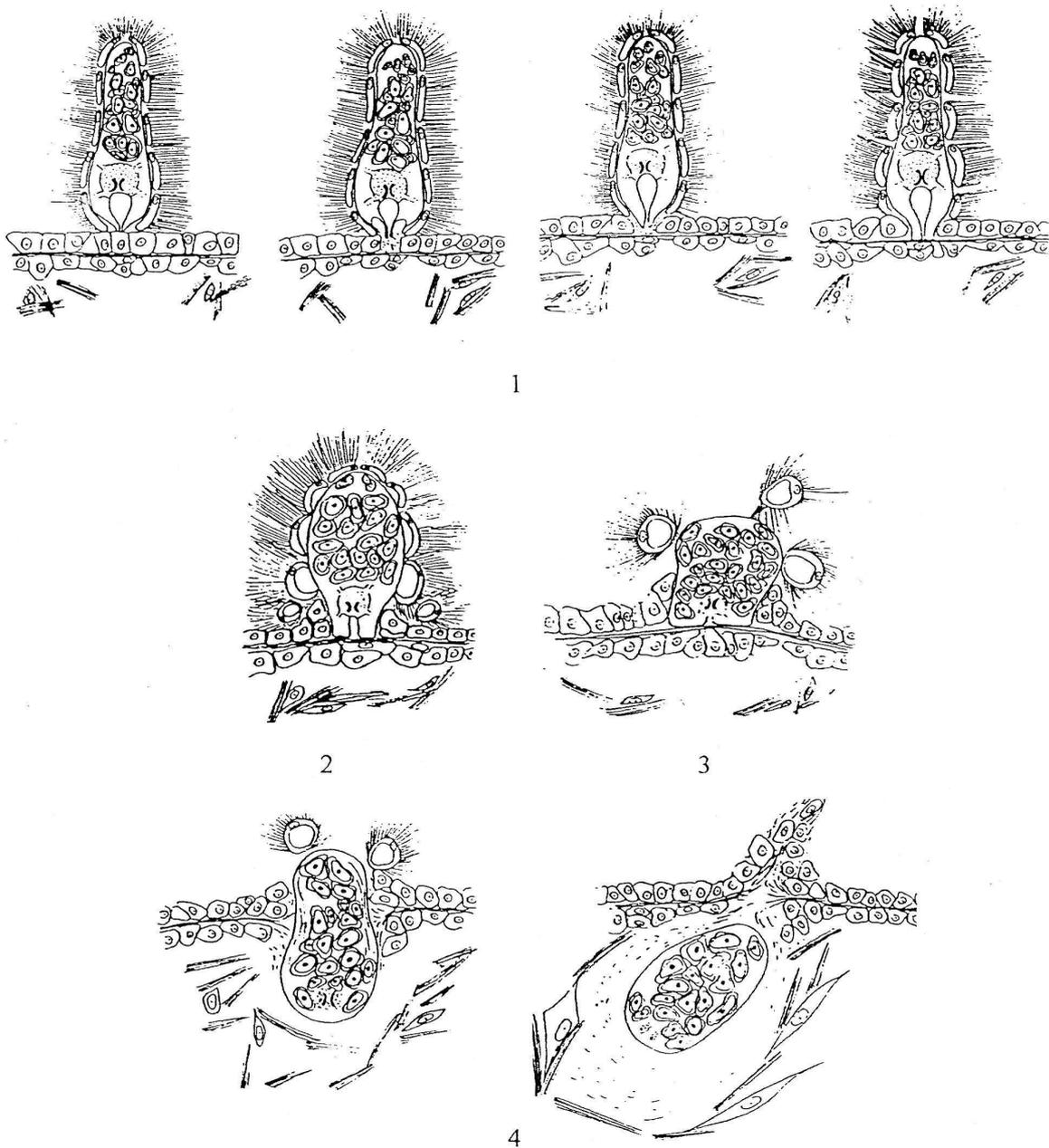


Figure 7.

La pénétration du miracidium de *Fasciola hepatica* chez *Galba truncatula* (d'après les schémas de Saint-Guillain, 1968).

1. Les sécrétions enzymatiques du pharynx lysent les cellules épidermiques de l'hôte et la papille antérieure du miracidium s'insinue dans l'ouverture.
2. Les cellules épithéliales se vacuolisent et se détachent du miracidium. Celui-ci se contracte, diminue de taille et devient ovoïde.
3. Le parasite adhère à une grande surface de tissu sous-épidermique.
4. Il y a destruction de la couche sous-épidermique et pénétration du parasite.

délai de 24 h pour *F. hepatica* (Thomas, 1883a, b ; Hope Cawdery *et al.*, 1978) ou de 18 à 26 h dans le cas de *F. gigantica*, il meurt. Le miracidium (Fig. 6c, d) est recouvert de cellules épithéliales ciliées. La forme du corps est triangulaire et la partie antérieure est effilée, en formant un rostre (papille antérieure). La larve possède une paire d'ocelles, un ganglion nerveux et un intestin primitif. De plus, deux cellules à flamme vibratile sont visibles dans la partie médiane du corps. Celui-ci contient des cellules germinatives indifférenciées.

Les cellules épithéliales (Fig. 6e, f) sont arrangées en cinq étages comprenant d'avant en arrière 6, 6, 3, 4 et 2 plaques. La plaque médio-ventrale (MV2) du deuxième étage se prolonge jusqu'à la troisième ceinture chez 62 à 82 % des miracidiums de *F. hepatica* au lieu de 0 à 6 % des cas pour *F. gigantica* (Bayssade-Dufour *et al.*, 1980). La disposition de la plaque médio-ventrale permet donc de distinguer les miracidiums des deux espèces sur le plan statistique.

Trois théories sur la pénétration du miracidium chez son hôte ont été proposées :

- Un processus mécanique, ce qui nécessite une morphologie adaptée et des mouvements propres du miracidium (Lapage, 1956).

- Une voie biochimique grâce aux sécrétions enzymatiques du parasite (Faust, 1955 ; Dawes, 1959, 1960a, b, c ; Kendall, 1965 ; Polykova et Casahov, 1965).

- Une association des deux phénomènes précités comme le rapportent d'autres auteurs (Saint-Guillain, 1968 ; Wilson *et al.*, 1971, par exemple).

Le miracidium est attiré par des produits sécrétés par le mollusque et peut pénétrer en différents endroits (Euzéby, 1971). Cependant, Saint-Guillain (1968) démontre qu'il existe des sites préférentiels : le manteau, la région péri-tentaculaire, la partie supérieure du corps de l'animal et, enfin, les parties latérales du pied (par ordre d'importance décroissante).

Cinq étapes ont été reconnues lors de la pénétration du miracidium de *F. hepatica* chez la limnée (Fig. 7). Dans un premier temps, la larve rétracte sa partie apicale afin de former une dépression qui agit comme une ventouse et permet sa fixation sur le tégument de la limnée. Les sécrétions enzymatiques du pharynx sont libérées dans un deuxième temps par la papille antérieure et provoquent la lyse des cellules épithéliales du mollusque, ce qui permet au miracidium d'engager son rostre dans l'ouverture ainsi créée. La troisième phase se caractérise par la contraction du miracidium et une dilatation de la papille antérieure, permettant à celle-ci d'adhérer plus largement au tissu sous-épidermique de la limnée.

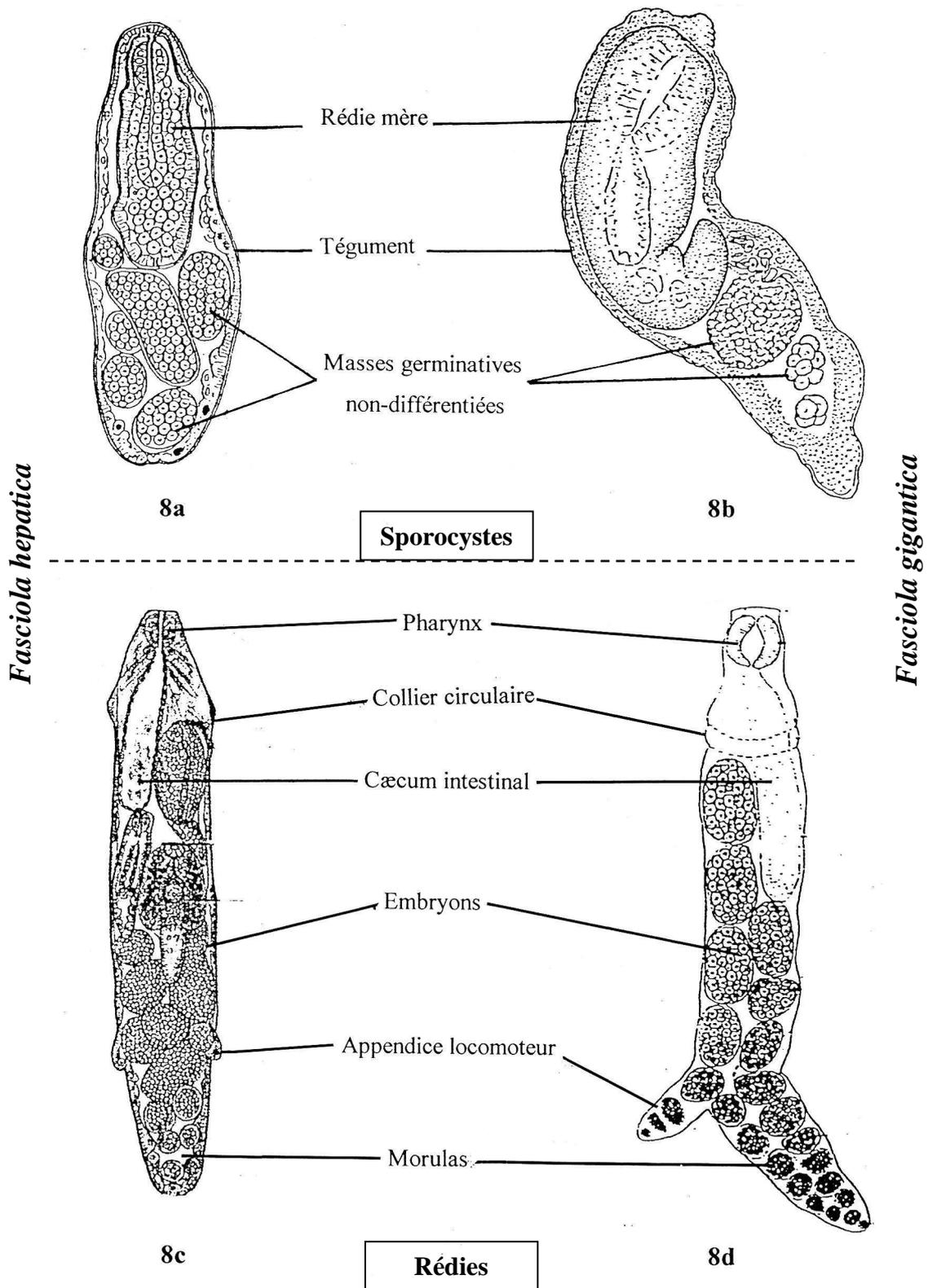


Figure 8.
 La morphologie du sporocyste (8a, b) et de la rédie (8c, d) chez *Fasciola hepatica* (d'après Thomas, 1883a, b ; Euzeby, 1971) et *F. gigantica* (d'après Dinnik et Dinnik, 1956 ; Ogambo-Ongoma et Goodman, 1976).

A ce moment-là, les cellules épithéliales du miracidium commencent à se vacuoliser et à se détacher. La pénétration (quatrième étape) voit le miracidium prendre une forme globuleuse, ce qui réduit de moitié la taille initiale de la larve. Enfin, le miracidium franchit le tissu sous-épidermique, arrive le plus souvent dans un sinus hémolympatique et se transforme en un jeune sporocyste de petite taille.

3. Le sporocyste.

Un tégument externe recouvre une fine couche de fibres musculaires peu développées (Fig. 8a, b). La cavité interne est délimitée par des cellules épithéliales. Après 6 ou 7 jours d'infestation, les organes propres au miracidium (ocelles, pharynx) ont disparu. Certaines cellules germinatives se multiplient activement et forment des amas de cellules embryonnaires indifférenciées. Le sporocyste a pris de l'importance et devient un sac allongé rempli de massifs de cellules germinatives qui vont se différencier par la suite pour former les futures rédies (Saint-Guillain, 1968).

Le sporocyste effectue des migrations dans le corps du mollusque, en particulier dans le pied et le manteau et laisse des lacunes qui témoignent de son passage. Ces déplacements durent plusieurs jours jusqu'à la fixation du parasite dans un site préférentiel, généralement la région réno-péricardique ou la glande digestive (Bouix-Busson *et al.*, 1984). A ce moment-là, le sporocyste mesure 500 à 700 μm en longueur et 50 μm en largeur (dans le cas de *F. hepatica* d'après Euzeby, 1971).

4. La rédie.

Elle prend son origine dans le sporocyste ou à l'intérieur d'une autre rédie. Lorsqu'elle s'est différenciée, elle se libère et se déplace dans les tissus de l'hôte. Ce stade cause de sérieux dommages dans les tissus du mollusque car elle se nourrit des amibocytes et des cellules épithéliales de son hôte.

D'après Abdel-Ghani (1960), la morphologie du stade rédie (Fig. 8c, d) est identique chez les deux espèces de *Fasciola*. La forme de la larve est allongée, cylindrique et se termine antérieurement par un cône céphalique portant une bouche. Cette dernière possède deux lèvres qui sont chacune formées par un pli sur l'orifice. Un pharynx musculueux fait suite à la bouche et se continue par un intestin aveugle. Le pharynx fonctionne comme une "pompe

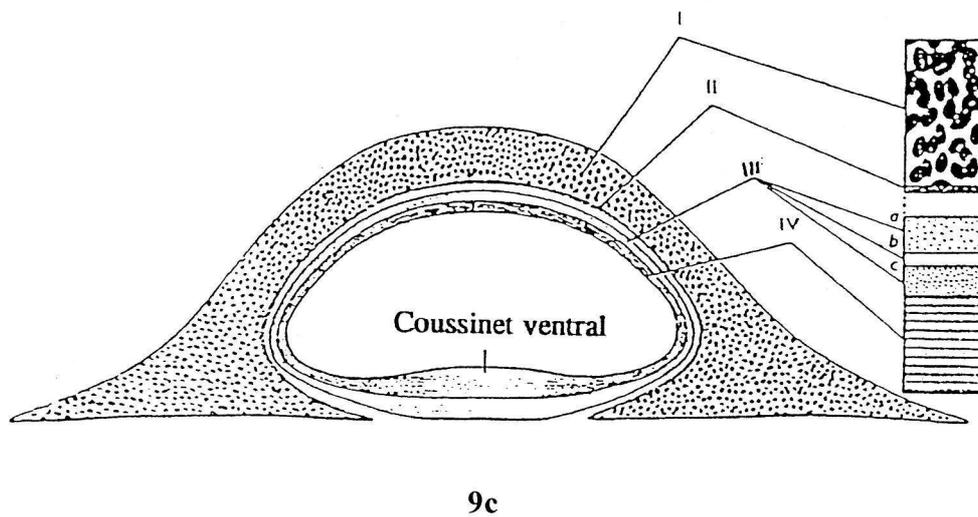
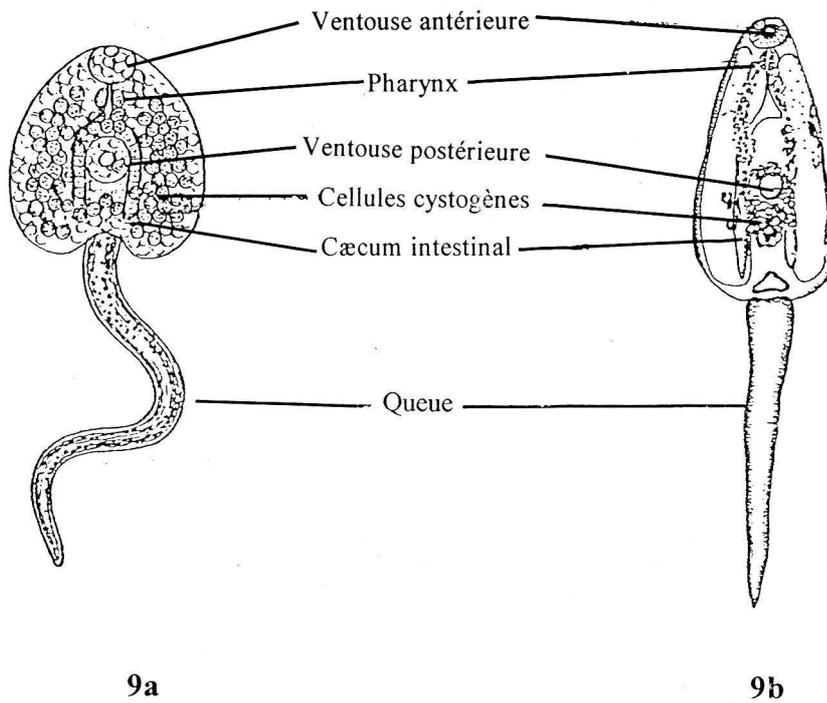


Figure 9.

Cercaires et métacercaires :

- La morphologie des cercaires de *Fasciola hepatica* (9a) (d'après Thomas, 1883a, b) et de *F. gigantica* (9b) (d'après Rakotondravao, 1984).
- La coupe transversale d'une métacercaire (9c) de *F. hepatica*, montrant les différentes couches et assises du kyste (Mercer et Dixon, 1967).

aspirante” (Saint-Guillain, 1968). Dans la partie antérieure, le tégument se dilate pour former un collier circulaire. En revanche, à l’extrémité postérieure, la larve présente deux petits appendices à rôle locomoteur. En arrière du collier et en position latérale, se situe l’orifice de ponte. La rédie possède un appareil excréteur formé par quatre groupes de cellules à flamme vibratile, qui se prolongent par des canalicules. D’après Thomas (1883b) et Wright (1927), ces canalicules s’ouvrent à l’extérieur. Les cellules germinatives dans la rédie vont se multiplier activement et former des amas cellulaires distincts à l’origine des rédies filles ou des cercaires.

Les rédies des deux *Fasciola* peuvent se différencier par la longueur de l’intestin. Celle-ci atteint le tiers de la longueur du corps dans le cas de *F. gigantica* alors qu’elle ne correspond qu’au sixième dans le cas de *F. hepatica* (Ollerenshaw et Graham, 1986).

La différenciation des masses germinatives dans les rédies passe par plusieurs stades :

- 1) Les morulas sont sphériques et de petite taille. Leur répartition est hétérogène.
- 2) Les embryons rédiens sont des éléments allongés, bien caractérisés par leur pharynx alors que les embryons procercariens sont ovoïdes, avec une ébauche de tube digestif et un prolongement caudal plus ou moins différencié.
- 3) Les procercaires se caractérisent par la forme semi-circulaire de leur corps. Le prolongement caudal est de longueur variable mais immobile.
- 4) Les cercaires représentent le dernière stade de la différenciation. Elles ont les caractéristiques des procercaires mais possèdent, en plus, une queue mobile et une couche protectrice externe.

5. La cercaire.

C’est « le stade charnière » dans le cycle de développement des douves. Elle prend son origine dans la rédie et permet l’infestation de l’hôte définitif. D’après Euzéby (1971), sa morphologie est très proche chez les deux *Fasciola* (Fig. 9a, b). Elle comprend un corps discoïde et une queue mince, trois fois plus longue. Le diamètre du corps est de 250 à 300 µm lorsque la cercaire est libre dans le mollusque. La larve présente une ventouse antérieure (orale) et une postérieure (ventrale). L’anatomie interne comprend un pharynx, suivi d’un œsophage et de deux cæcums digestifs, un appareil excréteur avec 20 cellules à

flamme vibratile débouchant dans une vésicule, des cellules cystogènes et un système nerveux péri-œsophagien.

Les cercaires deviennent indépendantes dans le corps de la limnée et sortent de celle-ci sous forme de vagues, séparées par des repos sans émission (Da Costa *et al.*, 1994). Lorsqu'elles sont émises dans le milieu extérieur, les cercaires nagent dans l'eau. Leur durée de vie est très brève, de quelques minutes à quelques heures. La plupart d'entre elles se fixent par leur ventouse ventrale sur un substrat de nature variée et se transforment rapidement en métacercaires fixées. D'autre forment des kystes qui flottent à la surface de l'eau : il s'agit des métacercaires flottantes (Esclaire *et al.*, 1989 ; Dreyfuss et Rondelaud, 1994).

Deux rythmes d'émission ont été décrits :

- Un rythme circadien. La plupart des cercaires sortent au cours de la nuit, parfois à l'aube. Ceci s'observe chez *F. gigantica* (Alicata, 1938 ; Thapar et Tandon, 1952 ; Albaret *et al.*, 1980 ; Rakotondraivo et Rondelaud, 1991 ; Da Costa *et al.*, 1994) comme chez *F. hepatica* (Audousset *et al.*, 1989). Cependant, il existe des variations en fonction de la nature de l'hôte définitif d'où proviennent les miracidiums (Dreyfuss et Rondelaud, 1994 ; Rondelaud et Dreyfuss, 1995).

- Un rythme infradien (il correspond à un phénomène dont la périodicité est supérieure à 24 heures). Une périodicité de 7 jours a été décrite lorsque des *G. truncatula* infestés par *F. hepatica* sont élevés dans des conditions semi-naturelles (Audousset *et al.*, 1989) mais ce rythme n'a pas été retrouvé dans les conditions du laboratoire. D'après Dreyfuss et Rondelaud (1994), ce rythme serait sous la dépendance des facteurs du milieu extérieur comme la température et la photopériode.

6. La métacercaire.

Elle représente la forme infestante du parasite.

La constitution de la paroi a été étudiée par Dixon (1965, 1966), Dixon et Mercer (1964, 1967), Mercer et Dixon (1967) pour *F. hepatica*. Les auteurs notent la présence de deux couches (Fig. 9c). La couche périphérique comprend deux assises : la plus externe (I) est formée par une protéine tannée sur le dôme et les parties latérales du kyste ; la plus interne (II) adhère étroitement à la première et est composée de mucoprotéines et de mucopolysaccharides. La deuxième couche comprend, elle aussi, deux assises (III et IV), avec l'une

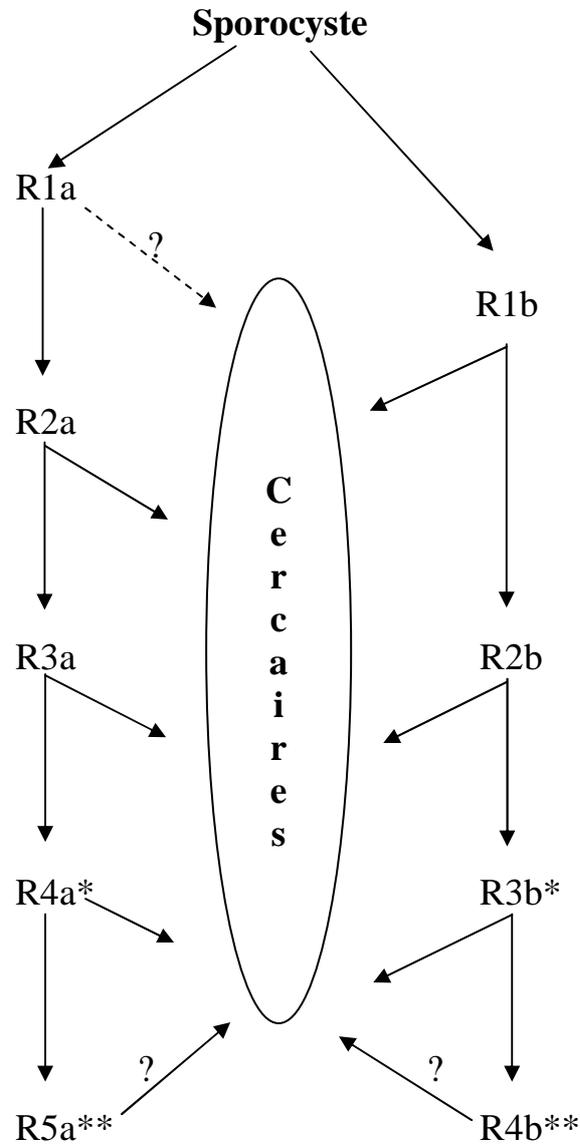


Figure 10.

Schéma de développement des générations rédiennes de *Fasciola* sp.
(d'après Rondelaud et Barthe, 1982b, 1987a ; Rakotondrao *et al.*, 1992)

Les symboles * et ** correspondent respectivement à des groupes
spécifiques pour *Fasciola hepatica* (*) et *F. gigantica* (**).

interne et mucopolysaccharidique (III) pouvant se diviser en trois sous-assises, et l'autre, plus interne, de nature kératinisée (IV). La deuxième couche (assises III et IV) forme le coussinet ventral à la face inférieure du kyste.

Les métacercaires flottantes possèdent une collerette de diamètre variable, pourvue de lacunes aérifères (Esclaire *et al.*, 1989). La structure de la métacercaire est très proche de celle du corps cercarien : elle n'a pas de cellules cystogènes mais possède, par contre, des glandes de pénétration dont la sécrétion joue un rôle important lors de la migration du parasite chez l'hôte définitif. La survie des kystes dans le milieu extérieur dépend des conditions climatiques. Elle atteint dix semaines et plus en hiver pour les kystes fixés de *F. hepatica* (Meek et Morris, 1979) et huit mois à 20° C dans les conditions du laboratoire (Ono *et al.*, 1954).

B. LES GENERATIONS REDIENNES.

1. Définition des générations.

Plusieurs générations rédiennes se succèdent chez le mollusque hôte mais le schéma de développement est identique pour les deux *Fasciola* (Fig. 10). Le nombre de ces générations varie selon le Digène : cinq pour *F. gigantica* (Dinnik et Dinnik, 1956), trois ou quatre pour *F. hepatica* (Rondelaud et Barthe, 1982a).

La lecture de la figure permet de remarquer quelques points intéressants :

- Chaque génération comprend deux groupes de rédies qui évoluent de manière différente dans le temps. Les larves du premier lot (a) sont toujours plus précoces que celles du second groupe (b).

- La première rédie qui sort du sporocyste (R1a) appartient à la première génération. Elle s'accroît rapidement et fournit de nombreuses rédies filles qui font partie du lot (a) de la deuxième génération (R2a).

- Les autres rédies de première génération (groupe R1b) sortent plus tardivement du sporocyste et sont à l'origine d'autres rédies de deuxième génération, mais appartenant au groupe (b) (R2b).

- Les deux groupes de deuxième génération (R2a et R2b) produisent les rédies filles de troisième génération et ainsi de suite.

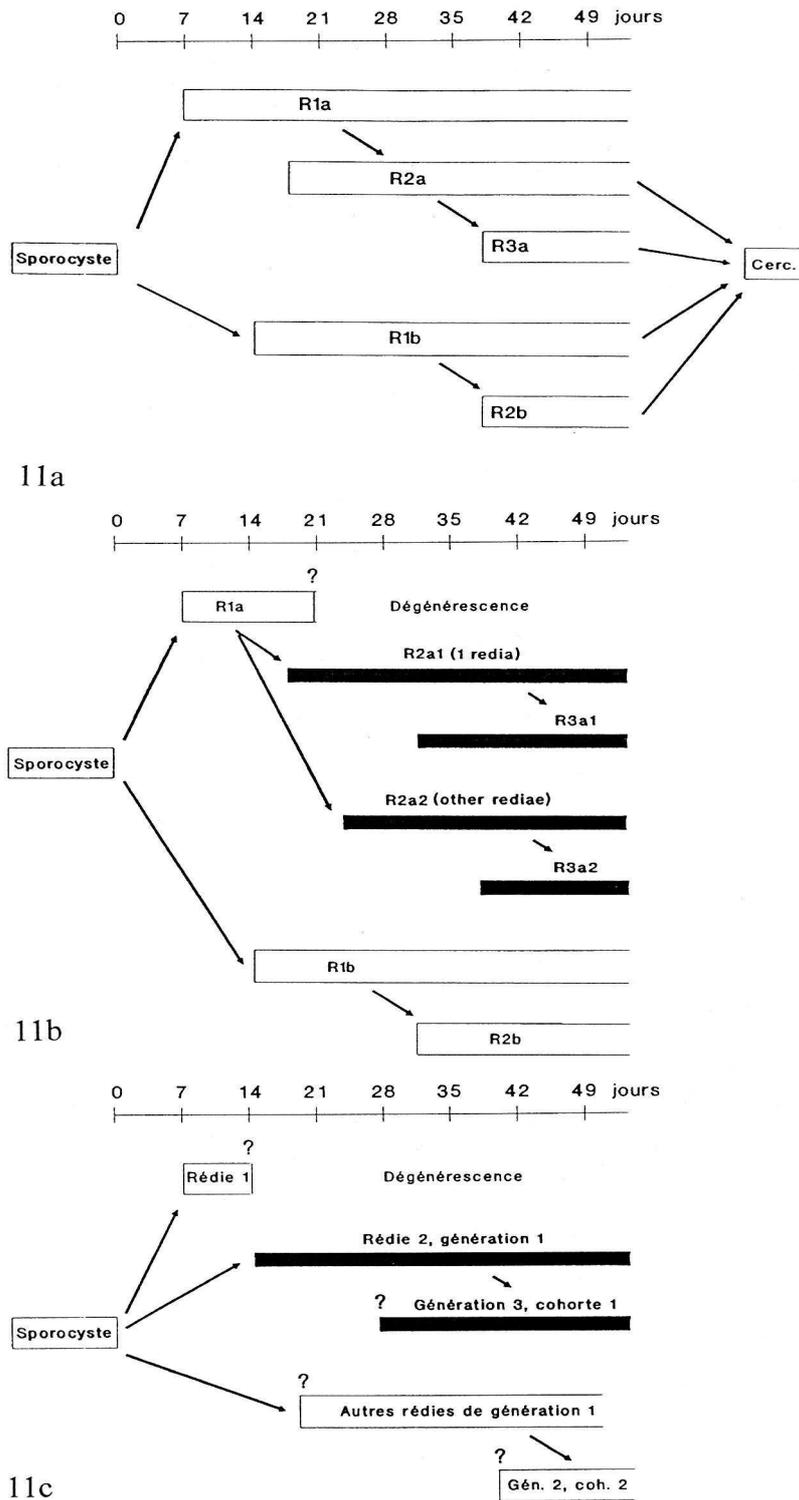


Figure 11.
Les trois modes du développement rédien pour *Fasciola hepatica*
(d'après Rondelaud et Barthe, 1978a, 1982a, b).

Le premier mode est celui du développement « typique » (11a) où la rédie R1a reste en vie. Les deux autres modes sont « atypiques » car la rédie R1a meurt **après** la sortie de quelques rédies filles (11b) ou **avant** la sortie de celles-ci (11c).

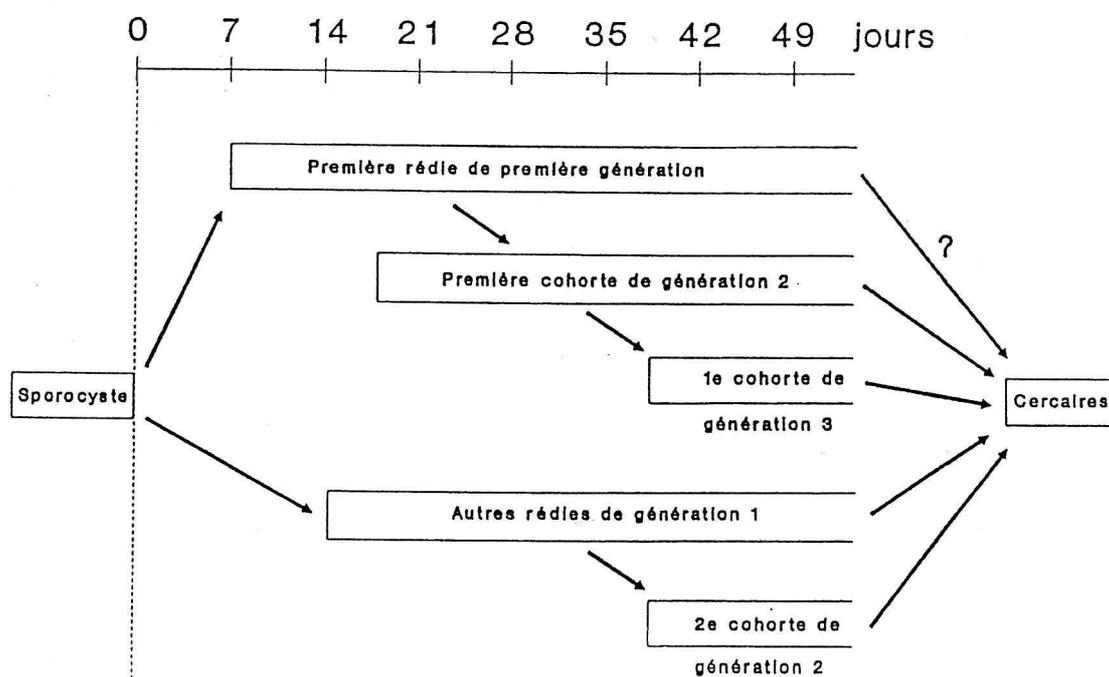


Figure 12.
Schéma de développement des rédies de *Fasciola gigantica* en fonction de temps chez *Galba truncatula* (d'après Rakotondraivo *et al.*, 1992).

- A l'exception de la première rédie de première génération (R1a) qui, dans le cas de *F. hepatica*, ne produit que des rédies filles, toutes les autres rédies forment des cercaires, quelle que soit leur génération.

2. Dynamique des générations rédiennes.

Trois modes de développement ont été décrits pour les générations rédiennes de *F. hepatica* chez des limnées contenant chacune un sporocyste en vie (Rondelaud et Barthe, 1982b).

Le premier est le plus fréquent et a été dénommé « développement typique » (Fig. 11a). Lorsque la rédie R1a reste en vie tout au long de l'expérience, elle permet la formation ultérieure d'un grand nombre de rédies R2a qui deviennent indépendantes à partir du 15^e jour à 20° C. Les rédies R2b et les R3a deviennent indépendantes après le 35^e jour d'infestation.

Les deux autres sont des « développement atypiques » (Figs. 11b, c). En effet, la rédie R1a meurt au cours de la 2^e ou de la 3^e semaine après l'exposition aux miracidiums. Dans ce cas, le relais est repris par la première rédie du groupe R2a (Fig. 11b) ou une autre rédie du groupe R1b (celle qui devient indépendante après la rédie R1a) (Fig. 11c).

Quel que soit le mode de développement rédien, les larves produisent des rédies filles et des cercaires au cours de l'infestation. Ce qui change dans le cas des développements atypiques correspond aux deux points suivants :

- Le nombre des cercaires formées est plus faible (50 % environ en moins par rapport à la charge cercarienne obtenue lors d'un développement typique).
- La production cercarienne est, de même, un peu plus tardive.

Il faut cependant remarquer que ces limnées à développement rédien atypique sont toujours peu nombreuses car leur effectif est souvent inférieur à 20 % de l'ensemble des mollusques avec émission, tout au moins sur sol acide.

Dans le cas de *F. gigantica*, un seul mode a été observé par Rakotondravao *et al.* (1992) : c'est le développement typique (Fig. 12). Mais il faut remarquer ici que le nombre de limnées étudiées par ces auteurs est très nettement inférieur à l'effectif de mollusques que Rondelaud et Barthe (1982a) ont utilisé au cours de leur étude sur les générations rédiennes de *F. hepatica*. Des études complémentaires sont donc nécessaires pour déterminer si des modes de « développement atypique » n'existent pas pour cette espèce.

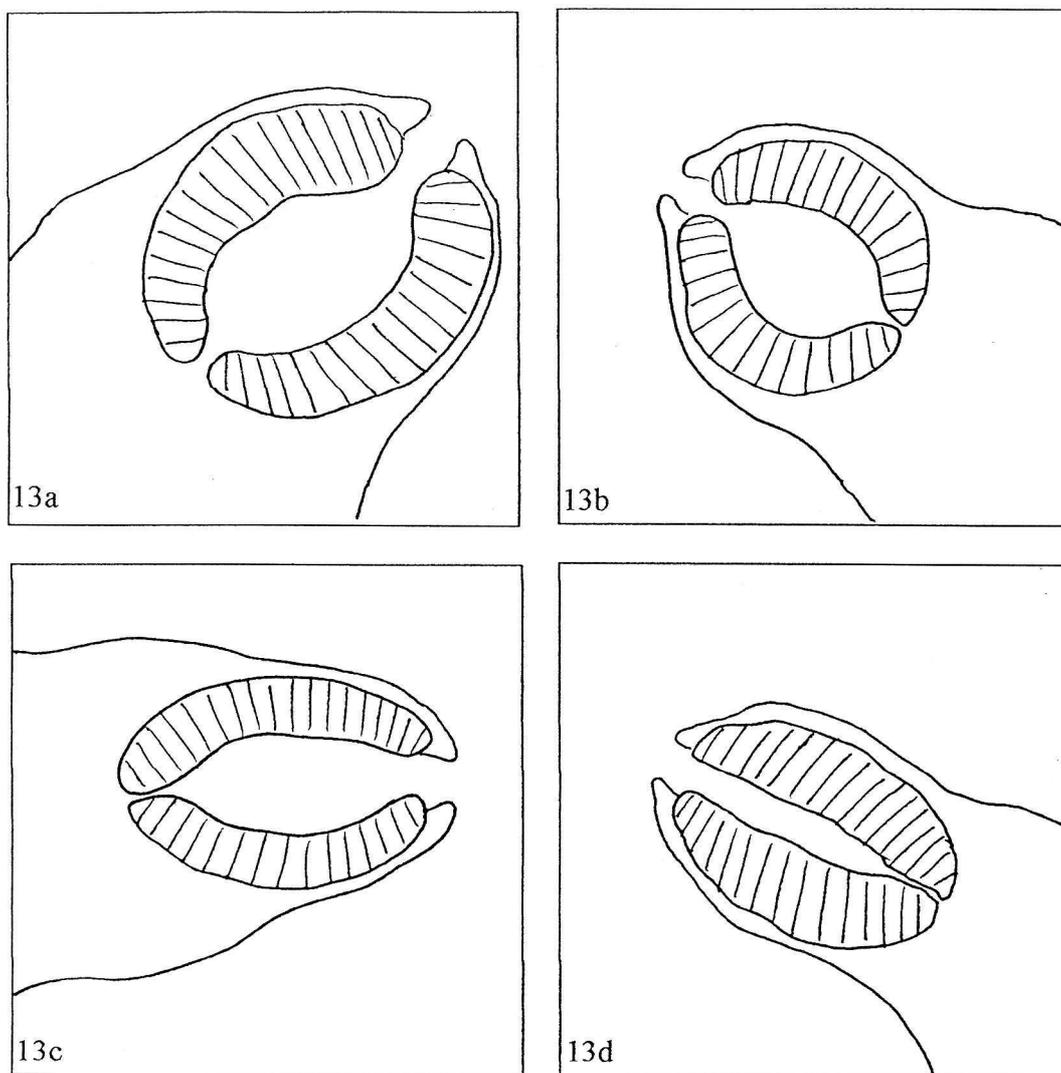
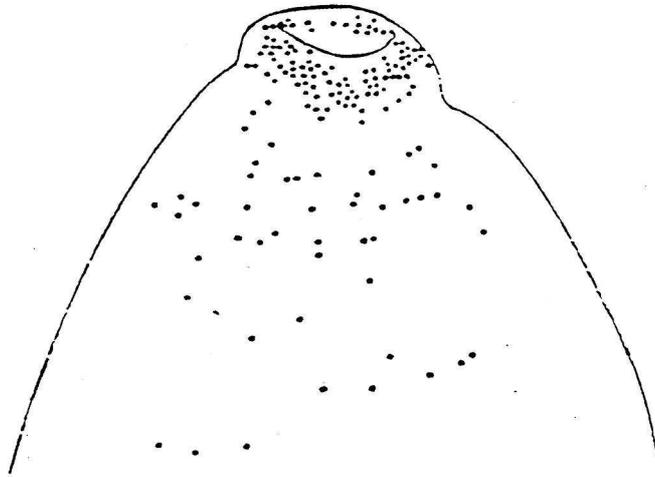
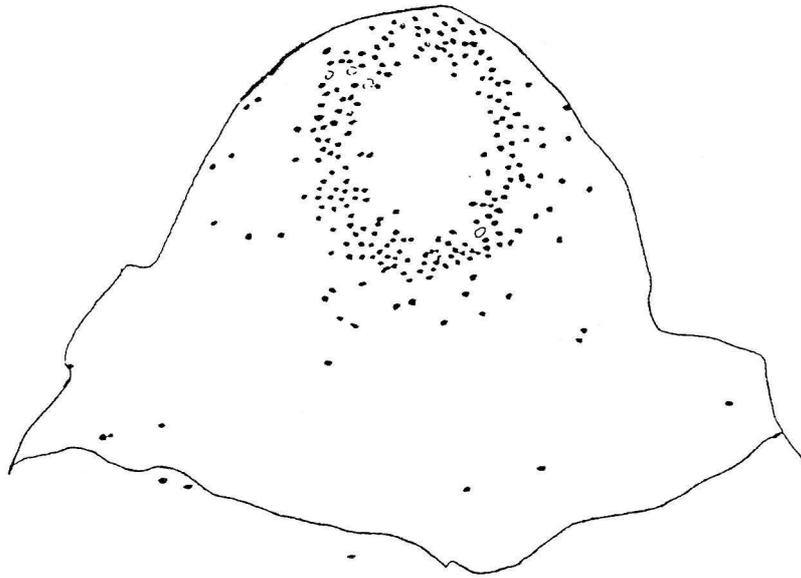


Figure 13.

Schémas des pharynx de *Fasciola hepatica* (Augot, 1998) :
 13a, première rédie de première generation (R1a) ; 13b, autres rédies
 de première génération (R1b) ; 13c, rédies de deuxième génération, premier
 cohorte (R2a) ; 13d, rédies de generation ultérieurs (R2b/R3a).



14a



14b

Figure 14.

La distribution des sensilles péri-orificielles :

- chez les rédies de *Fasciola hepatica* (14a) (génération non déterminée) d'après Bayssade-Dufour *et al.* (1980),
- chez les rédies R2b/R3a de *F. gigantica* (14b) d'après Augot (1998). Les dessins portent sur la face ventrale de ces larves.

3. Caractères permettant de reconnaître ces générations.

La morphologie générale du pharynx a été utilisée dans un premier temps pour différencier les générations rédiennes de *F. hepatica* (Rondelaud et Barthe, 1978a, 1982a, b) comme celles de *F. gigantea* (Rakotondraivo *et al.*, 1992 ; Augot *et al.*, 1995). Les pharynx rédiens de ces deux Digènes ont les mêmes caractéristiques morphologiques (Fig. 13). Les rédies de première génération (R1a, R1b) ont un pharynx ovoïde qui devient sphérique chez les larves âgées. La lumière intrapharyngienne est ovoïde ou ronde et sa taille s'accroît avec la longueur de la rédie. La largeur de la lumière est régulière et il n'y a pas de rétrécissement dans le secteur qui suit l'ouverture externe. Les rédies du groupe R2a ont un petit pharynx ovoïde, avec une lumière piriforme, plus large dans la zone pré-intestinale que dans la zone qui suit la bouche. Les pharynx des autres groupes de rédies (R2b, R3a, R3b,...) sont ovoïdes et présentent chacun une lumière filiforme.

Plusieurs paramètres morphométriques ont été mesurés sur les corps rédiens par Dinnik et Dinnik (1956) pour *F. gigantea*, et par Rondelaud (1974) pour *F. hepatica* afin de caractériser les générations rédiennes. D'autres études ont été réalisées par Augot *et al.* (1998) afin de déterminer les paramètres qui permettent d'identifier avec certitude les différents groupes des rédies (R1a, R1b, R2a, R2b/R3a) dans le cas de *F. hepatica*. Sur les huit dimensions mesurées par les auteurs précités, c'est la largeur de la lumière pharyngienne qui est la plus intéressante pour différencier les quatre groupes. De la même façon, Augot *et al.* (1995) concluent sur l'importance de la lumière pharyngienne pour identifier les générations rédiennes de *F. gigantea* en utilisant des coupes sériées de *R. natalensis*.

La répartition des papilles sensorielles, sur tout le corps de la rédie, est caractéristique d'une espèce donnée de Digène (Richard, 1971 ; Grabda-Kazubska *et al.*, 1991). Kjøie *et al.* (1977) et Bayssade-Dufour *et al.* (1980) ont déjà décrit une couronne péri-orale de papilles chez les rédies de *F. hepatica*, comme on peut le voir sur la figure 14a. Sur la face présumée ventrale, les papilles sont nombreuses et plus concentrées dans la région pharyngienne où elles semblent décrire des cercles. Sur l'autre face présumée dorsale, elles sont en nombre plus faible et sont plus clairsemées. Une étude comparative sur les rédies de *F. hepatica* et de *F. gigantea* (Augot *et al.*, 1995 ; Augot, 1998) montre que le nombre des sensilles péri-orificielles augmente depuis les rédies R1a/R1b jusqu'à celles des groupes R2b/R3a. La seule différence est le nombre plus important de sensilles dans le groupe R2a/R3a de *F. gigantea* (Fig. 14b).

III. LA FASCIULOSE EN EGYPTTE.

A. *CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES.*

Les douves hépatiques sont bien connues en Egypte chez les animaux de ferme. La fasciolose, appelée localement sous le terme de « pourriture du foie », est l'une des maladies les plus dangereuses pour le bétail domestique et parfois pour l'homme (Farang, 1998).

L'infestation du bétail par la fasciolose provoque des pertes sévères avec des conséquences économiques très importantes en raison de la mortalité des animaux et de la réduction de la productivité. El-Azazy et Schillorn van Veen (1983) ont rapporté que la prévalence de l'infestation naturelle par *F. gigantica* se distribue de 11 à 88 % chez les ruminants. De plus, la fasciolose humaine représente actuellement un vrai problème de santé publique (Haseeb *et al.*, 2002).

Dans la plupart des rapports, l'espèce du parasite n'est pas précisée car les deux *Fasciola* peuvent infester le foie des herbivores et ont un cycle évolutif similaire. Jusqu'aux années 1950, *F. gigantica* était considéré comme la seule espèce de *Fasciola* chez les herbivores en Egypte (Halawani et Gindy, 1957) tandis que *F. hepatica* n'était trouvé que dans les oasis de la Haute Egypte ou chez les animaux importés (Soliman et Farid, 1960 ; Abd-Rabo et Abou-Rawash, 1998). Depuis 1978, on sait que les deux espèces peuvent co-exister chez les mêmes animaux domestiques avec une prévalence de 30 à 90 % mais c'est *F. hepatica* qui semble être l'espèce la plus commune d'après les mesures réalisées sur les œufs (Farang *et al.*, 1979 ; Farang, 1998). Récemment, la présence des deux *Fasciola* en Egypte a été confirmée par Lotfy *et al.* (2002).

B. *LES HOTES DEFINITIFS.*

1. **Cas des Mammifères.**

Les bovins, les chèvres et les moutons sont les animaux les plus touchés (Farang, 1998). Le chameau a été signalé comme un hôte supplémentaire pour *F. gigantica* (Haridy et Morsy, 2000). Les chevaux et les ânes ont été aussi trouvés parasités par *Fasciola* sp. (Haridy *et al.*, 2002). Des lapins naturellement infestés par *F. gigantica* ont été détectés pour la première fois par Ezzat et Abdel Ghani (1960) ainsi que par Abdou (1961). Ce fait a été aussi retrouvé lors d'infestations expérimentales de ces Lagomorphes et les douves mûres pondent des œufs dans les fèces de leur hôte (Hassanain *et al.*, 1990 ; El-Sayad, 1997). Dans

les conditions du laboratoire, les lapins sont depuis utilisés comme un modèle pour les infestations expérimentales avec *F. gigantica* (El-Bahy, 1997).

Les prévalences rapportées pour *F. gigantica* en Egypte sont de 1 à 2 % chez les moutons, de 4 à 6 % chez les bovins, de 2 à 5 % chez les buffles, de 1 % environ chez les chèvres et de 4,5 % chez les ânes (Hasslinger et El-Seify, 1996 ; Lotfi *et al.*, 1995). Beaucoup de rapports indiquent que la fasciolose existerait dans la quasi-totalité des gouvernorats situés au nord de l’Egypte. C’est ainsi que dans 32 villages, situés dans le Delta du Nil, El-Magdoub *et al.* (1999) trouvent une prévalence de 48 % chez les buffles. Dans le gouvernorat de Dakahlia, les pourcentages sont de 17,8 %, de 12,3 %, de 9,7 % et de 5,4 % respectivement chez les moutons, les bovins, les buffles et les chèvres (El-Shazly *et al.*, 2002b). Dans le gouvernorat de Gharbia, la prévalence de l’infestation est de 1,5 % chez les chevaux et de 3 % chez les ânes (Haridy *et al.*, 2002). On trouve cependant le parasite dans d’autres régions de l’Egypte car au nord du Sinâï (est de l’Egypte), Mazyad et El-Nemr (2002) ont trouvé 12,7 % de ruminants infestés (moutons et chèvres) par *Fasciola* sp.

2. Cas particulier de l’homme.

Les œufs de *Fasciola* sp. ont été trouvés dans une momie, ce qui indique l’existence de la fasciolose humaine en Egypte depuis l’ère pharaonique (Taylor, 1965 ; Farag, 1998). Si l’on se base sur les données que Farag *et al.* (1979) ont rapportées pour ce pays, 13 cas sporadiques au total auraient été détectés entre 1928 et 1958. En 1978, quelques cas ont été détectés dans une région rurale près d’Alexandrie, avec une prévalence de 7,3 % (Farag *et al.*, 1979). Ensuite, plusieurs laboratoires ont diagnostiqué cette maladie sur la plus grande partie du territoire égyptien. Même si l’espèce de *Fasciola* n’a pas été précisée, *F. hepatica* est considérée comme l’espèce la plus commune (Farag *et al.*, 1979). Nozais (1996) cite le chiffre de 130 cas humains, infestés par *F. hepatica* en Egypte. Mais la fasciolose à *F. gigantica* a été signalée par Ali *et al.* (1984) et par les auteurs qui ont suivi (Mansour *et al.*, 1983 ; Khalil *et al.*, 1990 ; Mikhail *et al.*, 1990 ; Youssef et Mansour, 1991 ; Youssef *et al.*, 1991 ; Osman et Helmy, 1994 ; Shaheen *et al.*, 1994).

Les études dans le Delta du Nil ont montré que la prévalence de la fasciolose humaine varie de 2 à 17 %. D’après l’Organisation Mondiale de la Santé (WHO, 1995), 830.000 individus au moins ont été infestés par l’un ou l’autre des deux *Fasciola* et la population à risque est estimée à 27,7 millions d’individus. Dans les dix dernières années, le nombre croissant

des cas humains touchés par la maladie a été constaté dans presque tous les gouvernorats (Frag, 1998). Dans celui de Dakahlia, par exemple, 23 cas humains ont été détectés (El-Shazly *et al.*, 1991). D'après une autre étude (El-Shazly *et al.*, 2001), le pourcentage de la fasciolose humaine dans le même gouvernorat atteindrait 7,5 %. Esteban *et al.* (2003) ont trouvé des prévalences allant de 5,2 à 19 % dans des villages du gouvernorat de Behera, avec des pourcentages plus élevés chez les femmes. Selon ces auteurs, une association positive entre la fasciolose humaine et une autre maladie : la bilharziose, a été détectée dans certains cas.

Beaucoup d'articles soulignent la gravité de la maladie chez les enfants. Farag *et al.* (1979) trouvent que dans les régions d'endémie, les enfants de moins de 15 ans ont les taux d'infestation les plus élevés. Dans le gouvernorat de Sharkia, une prévalence de 10,9 % a été établie par Hassan *et al.* (1995) pour les enfants qui fréquentent les écoles. Dans cette même région, Hassan *et al.* (1996) indiquent que parmi les écoliers souffrant de diverses parasitoses, le pourcentage de la fasciolose est de 8,7 %. A l'hôpital pédiatrique du Caire, El-Shabrawi *et al.* (1997) ont colligé entre 1990 et 1997 un total de 16 enfants (3 à 11 ans) infestés par *Fasciola* sp. De 1997 et 1999, El-Karaksy *et al.* (1999) y colligent un total de 40 enfants.

C. LES HOTES INTERMEDIAIRES.

Radix natalensis (= *L. natalensis*) est l'hôte intermédiaire principal de *F. gigantica* en Egypte. Farag (1998) déclare que cette espèce est présente dans le Delta du Nil, avec une infestation naturelle par *Fasciola* sp., variant de 10 à 40 %. D'après cet auteur, *R. natalensis* pourrait assurer la transmission de *F. hepatica*. Cependant, dans d'autres rapports, ce mollusque n'est pas sensible à l'infestation par *F. hepatica* dans les conditions du laboratoire (Boray, 1985 ; Mohamed *et al.*, 1998).

R. natalensis est naturellement infesté par *Fasciola* sp. dans plusieurs régions. Dans celle d'Alexandrie, Salem *et al.* (1993) trouvent 10 % des *R. natalensis* avec des stades larvaires de *Fasciola* (espèce non déterminée). Dans le gouvernorat de Giza, le taux global de l'infestation est de 0,6 %, avec des variations irrégulières tout au long de l'année (Ahmed et Ramzy, 1999). Dans une autre étude sur le même gouvernorat, El-Dafrawy (2002) a constaté la présence d'émissions cercariennes de *F. gigantica* chez 11,1 % des *R. natalensis*. Dans le gouvernorat de Dakahlia, El-Shazly *et al.* (2002a) rapportent une prévalence de 5,5 % chez des *R. natalensis* infestés par *Fasciola* sp. Pour expliquer cette variabilité dans les

prévalences chez la limnée, Mohamed *et al.* (1998) indiquent que la sensibilité de *R. natalensis* à *F. gigantica* diffère selon l'espèce de l'hôte définitif d'où proviennent les œufs du parasite.

Toutefois, d'autres mollusques peuvent intervenir comme hôtes intermédiaires dans le cycle local des deux *Fasciola*. C'est ainsi que *G. truncatula*, considéré comme l'hôte intermédiaire préférentiel de *F. hepatica* en Europe (Graczyk et Fried, 1999), a été trouvé naturellement infesté par des formes larvaires de *Fasciola* sp., avec une prévalence de 3,1 % (El-Shazly *et al.*, 2002a). L'infestation naturelle de *L. columella* par *F. gigantica* est de 2 % pour Ahmed et Ramzy (1999). Bien que *B. alexandrina* (Planorbidae) ait été trouvé porteur de formes larvaires de *F. gigantica* ou de *Fasciola* sp. (Farang et El-Sayad, 1995 ; El-Shazly *et al.*, 2002a), ce mollusque n'est pas sensible à l'infestation par *F. gigantica* dans les conditions du laboratoire (Mohamed *et al.*, 1998).

IV. COMMENTAIRES.

Les rappels, que nous avons présentés dans les paragraphes précédents, peuvent se résumer de la manière suivante :

- Les deux douves ont un cycle évolutif à deux hôtes. Le premier, l'hôte définitif, est un Mammifère et l'autre, l'hôte intermédiaire, est un Mollusque Pulmoné d'eau douce. Si le premier de ces hôtes permet la différenciation du parasite adulte, le second assure le développement des formes larvaires (sporocyste, rédies, cercaires).

- Plusieurs générations rédiennes se succèdent chez le mollusque, quelle que soit l'espèce de *Fasciola*. Selon la survie ou la mort précoce de la première rédie de première génération (R1a), trois modes de développement ont été décrits pour ces générations dans le cas de *F. hepatica*. Par contre, il n'y a, pour l'instant, qu'un seul mode connu pour *F. gigantica*.

- L'existence, à l'heure actuelle, de nombreux cas de fasciolose en Egypte pose un problème épidémiologique car les deux espèces de *Fasciola* y sont présentes et plusieurs mollusques contribuent à la transmission de cette maladie.

La revue de la littérature, selon le Digène et le mollusque hôte, montre qu'il existe un manque de données sur le développement larvaire de *F. gigantica* par rapport à celui de *F. hepatica*. Nous en citons quelques-uns dans les alinéas ci-dessous :

- 1) La seule différence, qui permet d'identifier les rédies à cercaires des deux espèces de *Fasciola*, est jusqu'à présent la longueur de l'intestin (il est plus long dans le cas de *F. gigantica* d'après Ollerenshaw et Graham, 1986). Il est donc utile de chercher d'autres paramètres pour identifier avec certitude les rédies immatures de chaque espèce de *Fasciola* et de vérifier si l'espèce du mollusque a un effet sur ces paramètres.

- 2) Même si les générations rédiennes de *F. gigantica* ont été étudiées par Dinnik et Dinnik (1956), Rakotondravao *et al.* (1992) et par Augot *et al.* (1995), la croissance des rédies et leur productivité larvaire en fonction de la durée d'infestation n'ont pas encore été précisées.

- 3) Dans la littérature, aucune étude comparative entre le développement rédien de *F. gigantica* chez *G. truncatula* et celui du même Digène chez *R. natalensis* n'a encore été réalisée sous des conditions expérimentales constantes. Une telle étude est donc utile pour déterminer si l'espèce de mollusque a un effet sur la productivité larvaire de *F. gigantica*.

- 4) Comme la croissance et la productivité larvaires des rédies de *F. hepatica* peuvent être affectées par l'origine géographique des miracidiums que l'on utilise pour les infestations expérimentales des limnées, nous nous sommes proposé de déterminer la caractéristiques des générations rédiennes de *F. gigantica* chez *G. truncatula* en fonction de trois isolats de miracidiums différant par leur origine géographique.

Des infestations expérimentales de *G. truncatula* et *R. natalensis* par des miracidiums de *F. hepatica* ou de *F. gigantica* ont donc été réalisées afin de répondre aux questions posées. Les résultats correspondant à ces expériences sont présentés dans les chapitres deuxième, troisième, quatrième, cinquième et sixième de cette étude.

IDENTIFICATION DES RÉDIES IMMATURES DE *Fasciola hepatica* ET DE *F. gigantica*

Des études sur les ruminants égyptiens ont montré que les deux douves : *F. hepatica* et *F. gigantica*, sont présentes dans ce pays (Lotfy *et al.*, 2002). Comme elles peuvent infester les mêmes mollusques hôtes : *G. truncatula* et *R. natalensis*, nous nous sommes posé la question de savoir si les formes larvaires des deux *Fasciola*, particulièrement le stade rédie, peuvent se reconnaître chez les deux limnées parasitées par l'une, l'autre, ou les deux douves en même temps.

La seule différence, qui permet d'identifier les rédies à cercaires, est la longueur de l'intestin (Ollerenshaw et Graham, 1986) mais ce paramètre ne peut pas être utilisé pour les rédies immatures. Il est donc utile de rechercher d'autres variables qui soient plus fiables pour identifier les rédies de chaque espèce de *Fasciola*.

Les données concernant ce point sont regroupées dans le présent chapitre. Les buts de l'étude, le matériel biologique, le protocole expérimental et les paramètres utilisés sont détaillés dans les quatre premiers paragraphes. Les résultats sont présentés dans la cinquième subdivision. Enfin, une synthèse de ces données et leur discussion par rapport aux observations rapportées dans la littérature sont fournies dans les deux derniers paragraphes.

Les résultats de la morphométrie sur les rédies de *F. hepatica* et de *F. gigantica* ont fait l'objet d'une publication (Dar *et al.*, 2003b).

I. BUTS DE L'ÉTUDE.

Il s'agit :

- 1) de déterminer les paramètres les plus efficaces pour identifier les rédies des deux *Fasciola*.

- 2) de vérifier si l'espèce du mollusque a un effet sur la morphométrie de ces rédies.

II. MATERIEL BIOLOGIQUE.

A. LES MOLLUSQUES.

Deux espèces des limnées ont été utilisées dans cette expérience. Il s'agit de :

- *Galba truncatula* O.F. Müller 1774.

- *Radix natalensis* Krauss 1848.

G. truncatula vit au bord d'une rivière à Saint-Priest-Taurion, département de la Haute-Vienne. Cette population a été choisie pour cette expérience car des prélèvements de limnées, réalisés dans les six mois précédents, ont montré l'absence de formes larvaires de Digènes chez ces mollusques lors de leur dissection. Seuls des individus hauts de $4 \pm 0,2$ mm ont été utilisés car c'est la taille pour laquelle leur sensibilité à l'infestation miracidienne est maximale (Gold et Goldberg, 1979).

Les *G. truncatula* ont été transportés au laboratoire dans des conditions isothermes. A leur arrivée, les limnées sont placées dans des bacs d'élevage à 20° C pendant 2 ou 3 jours avant l'exposition aux miracidiums. Ce délai est suffisant pour éviter la mort de limnées à la suite d'un changement trop rapide de la température dans le milieu.

Des *R. natalensis* adultes ont été prélevés dans la rivière El-Mansoria (gouvernorat de Gizeh, Egypte) et transportés au laboratoire. Les pontes de ces limnées sont maintenues dans de petits aquariums jusqu'à l'éclosion des nouveaux-nés (de 10 à 15 jours à 20° C). Seuls les descendants hauts de 4 mm ont été utilisés pour notre expérience.

B. LES ŒUFS DES DIGENES.

Les œufs de *F. gigantica* ont été récoltés chez des bovins infestés à l'abattoir de Tanta, gouvernorat de El-Gharbia, Egypte alors que ceux de *F. hepatica* ont été collectés chez les bovins saisis pour distomatose à l'abattoir de Limoges, département de la Haute-Vienne.

Après leur collecte dans la vésicule biliaire, les œufs sont séparés de la bile par décantation et épuisement progressif de celle-ci jusqu'à l'obtention d'un sédiment propre. Les œufs sont répartis en lots de 100 à 150 œufs et placés dans des récipients sous une épaisseur de 1 cm d'eau du robinet. Les œufs sont gardés à la température constante de 20° C pendant 20 jours à l'obscurité totale pour être incubés selon la méthode décrite par Ollerenshaw (1971) pour *F. hepatica*.

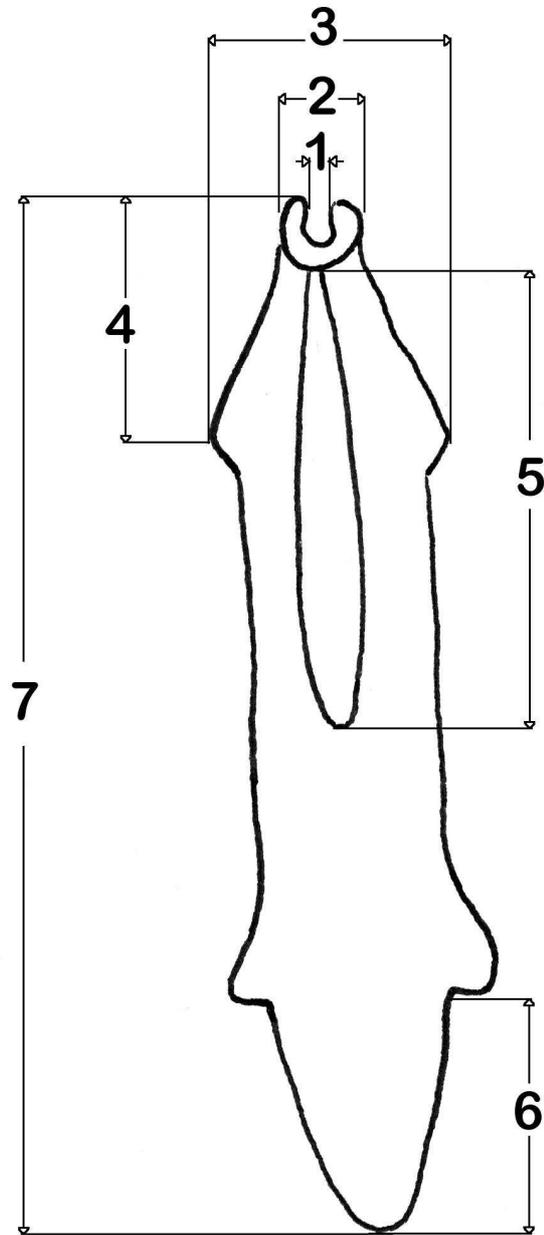


Figure 15.

Les paramètres morphométriques sur les rédies vivantes de *Fasciola* sp. :
 1 (largeur de la lumière pharyngienne), 2 (largeur du pharynx), 3 (diamètre
 du collier), 4 (distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier),
 5 (longueur de l'intestin), 6 (distance entre l'extrémité postérieure
 du corps et les appendices), et 7 (longueur du corps).

III. PROTOCOLE EXPERIMENTAL.

Quatre groupes de 25 mollusques ont été utilisés pour cette expérience. Les *G. truncatula* des deux premiers lots ont été exposés individuellement à une infestation bimiracienne, avec *F. hepatica* pour le premier groupe et *F. gigantica* pour le second. Le même protocole a été utilisé pour les deux autres lots de *R. natalensis*. Les mollusques sont ensuite placés dans des aquariums ouverts à raison de 25 individus par récipient à 20° C.

Au 28^e jour post-exposition aux miracidiums, les survivants sont disséqués sous une loupe binoculaire afin de détecter les rédies. Les techniques réalisées pour l'infestation, l'élevage et la dissection des mollusques sont présentées dans la première annexe (page 220).

A cette dernière date, les catégories rédiennes : R1a, R1b et R2a (voir le premier chapitre, page 36) sont bien développées. La mesure des paramètres morphométriques a été réalisée sur les rédies à l'aide d'un système d'analyse d'image (Aries, Paris).

IV. PARAMETRES UTILISÉS.

Les deux premiers sont le taux de la mortalité et la prévalence de l'infestation au 28^e jour pour chaque groupe. Les autres ont été déterminés pour chaque rédie vivante de *Fasciola* sp. (Fig. 15). Ces paramètres sont la largeur de la lumière pharyngienne, la largeur du pharynx, le diamètre du collier (DC), la distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier (DAC), la longueur de l'intestin (LI), la distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices (DPA), et la longueur du corps (LC). Les indices suivants : DAC / LC , LI / LC , DPA / LC et DAC / DC , établis à partir de plusieurs paramètres précédents, ont également été pris en compte.

Les pourcentages ont été confrontés entre eux par le test de comparaison des fréquences expérimentales. Les valeurs individuelles des autres paramètres et des quatre indices ont été ramenées à des moyennes, encadrées chacune d'un écart-type, en tenant compte de la nature du paramètre (ou de l'indice), du groupe expérimental et de la catégorie rédienne. Les différences entre les moyennes ont été comparées par une analyse de variance à deux facteurs (Stat-Itcf, 1988) afin de déterminer les niveaux de signification statistique. Un test PLSD de Fisher a été effectué lorsque les résultats de l'analyse de variance sont significatifs afin de détecter les valeurs qui sont à l'origine de ces effets. Il a été réalisé en calculant les différences moyennes entre les valeurs du facteur et les différences critiques qui sont des valeurs seuils permettant de déterminer la signification des premières valeurs.

<i>Fasciola</i>	Mollusque (et nombre des individus au départ)	Nombre de survivants au 28 ^e jour (et fréquence)	Nombre de mollus- ques parasités (et prévalence de l'infestation)
<i>F. gigantica</i>	<i>G. truncatula</i> (25)	21 (84 %)	5 (23,8 %)
	<i>R. natalensis</i> (25)	14 (56 %)	9 (64,3 %)
<i>F. hepatica</i>	<i>G. truncatula</i> (25)	8 (32 %)	6 (75,0 %)
	<i>R. natalensis</i> (25)	20 (80 %)	0 (0 %)

Tableau V.
La mortalité et la prévalence de l'infestation fasciolienne au 28^e jour post-exposition dans les quatre groupes expérimentaux.

<i>Fasciola</i>	Mollusque	Nombre total des rédiés	Nombre de rédiés par groupe		
			R1a	R1b	R2a
<i>F. gigantica</i>	<i>G. truncatula</i>	20	5	7	8
	<i>R. natalensis</i>	174	11	68	95
<i>F. hepatica</i>	<i>G. truncatula</i>	82	5	34	43

Tableau VI.
La charge rédienne de *Fasciola* sp. dans les différents groupes et la répartition des rédiés en fonction de leur catégorie.

V. MORPHOMÉTRIE DES RÉDIES DE *Fasciola hepatica* ET DE *F. gigantica*.

A. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE L'EXPÉRIENCE.

Le tableau V présente la survie des mollusques et la prévalence de l'infestation chez les quatre groupes des limnées. Ces derniers ont été établis au 28^e jour post-exposition. La lecture de ce tableau montre que la survie des *G. truncatula* infestés par *F. gigantica* et celle des *R. natalensis* exposés à *F. hepatica* sont les plus élevées (84 et 80 % par ordre respectif). Un taux de 56 % a été obtenu chez des *R. natalensis* avec *F. gigantica*. La valeur la plus faible (32 %) est celle trouvée chez les *G. truncatula* parasités par *F. hepatica*.

La confrontation de ces taux par le test de comparaison des fréquences expérimentales fournit des résultats qui sont consignés sur le tableau suivant :

Modalités de la comparaison		Signification
Entre <i>F. hepatica</i> et <i>F. gigantica</i>	Chez <i>G. truncatula</i> Chez <i>R. natalensis</i>	$P < 0,1$ % NS
Entre <i>G. truncatula</i> et <i>R. natalensis</i>	Cas de <i>F. hepatica</i> Cas de <i>F. gigantica</i>	$P < 1$ % $P < 5$ %

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).

Au 28^e jour, il y a une différence significative entre la survie des *G. truncatula* et celle de *R. natalensis* pour les deux *Fasciola*. L'espèce de *Fasciola* a un effet significatif sur la survie des *G. truncatula* car le nombre des survivants, dans le cas de *F. gigantica*, est plus élevé que celui des limnées dans le groupe avec *F. hepatica*.

La prévalence de l'infestation fasciolienne a été établie en considérant le nombre de limnées contenant des rédies lors de leur dissection par rapport au nombre des survivants au 28^e jour. Aucune forme larvaire de *F. hepatica* n'a été détectée dans le couple *R. natalensis* / *F. hepatica*. La prévalence de l'infestation des *G. truncatula* est plus faible dans le cas de *F. gigantica* (23,8 %) que pour *F. hepatica* (75 %). Enfin, dans le couple *R. natalensis* / *F. gigantica*, la pourcentage de l'infestation est de 64,3 %.

Deux de ces pourcentages ne peuvent être comparés entre eux en raison de leurs faibles effectifs. La seule différence significative ($P < 5$ %) a été détectée entre *G. truncatula* et *R. natalensis* lorsqu'ils sont infestés par *F. gigantica*.

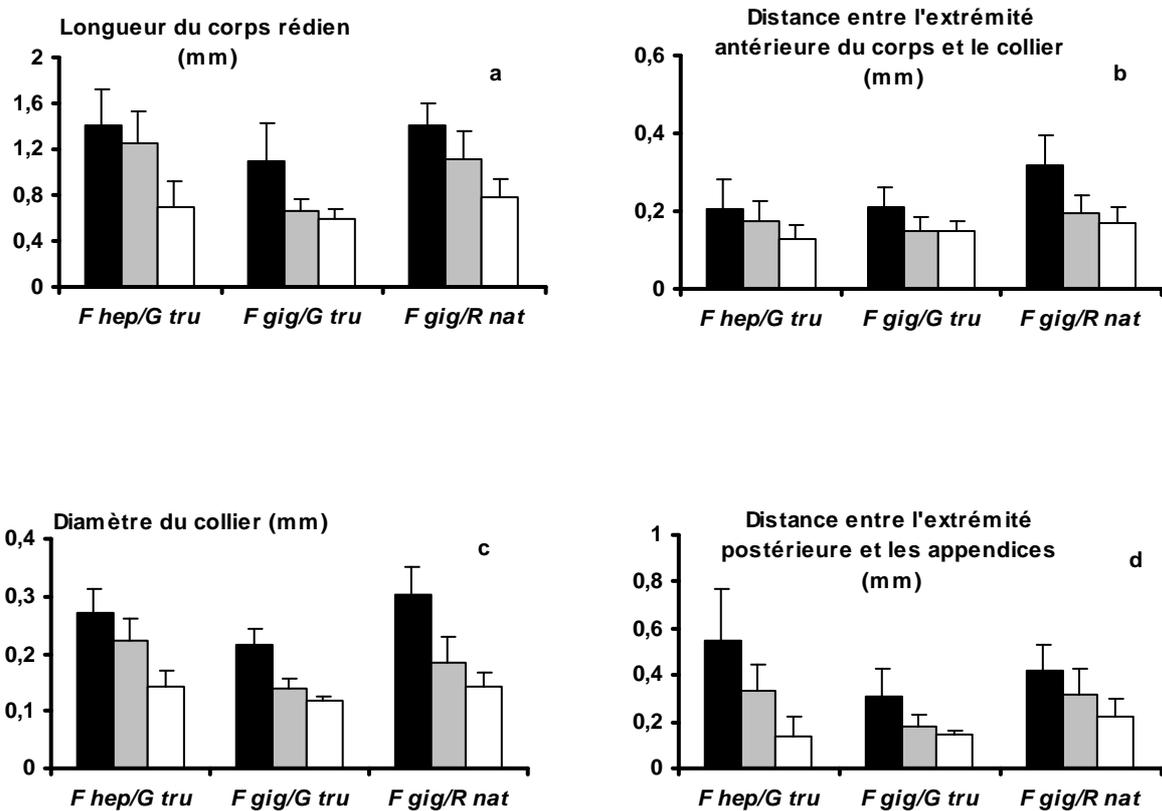


Figure 16.

Les valeurs de quatre paramètres (moyennes \pm écarts types)¹ chez les rédies de *Fasciola* sp. par rapport à l'espèce du mollusque hôte et à la catégorie rédienne.

■ R1a ■ R1b □ R2a

F. hep/G. tru : *Fasciola hepatica* / *Galba truncatula*.

F. gig/G. tru : *Fasciola gigantica* / *Galba truncatula*.

F. hep/R. nat : *Fasciola hepatica* / *Radix natalensis*.

F. gig/R. nat : *Fasciola gigantica* / *Radix natalensis*.

¹ Les moyennes et les écarts types des quatre paramètres sont présentées sur les tableaux XLXI, XLXII et XLXIII dans la première annexe (pages 221 et 222).

Paramètres	Valeurs de <i>F</i> (et signification <i>P</i>)		
	Groupe expérimental	Catégorie rédienne	Interaction des facteurs étudiés
Longueur du corps	20,39 (< 0,1 %)	68,96 (< 0,1 %)	5,89 (< 0,1 %)
Distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier	23,25 (< 0,1 %)	27,87 (< 0,1 %)	4,63 (< 1 %)
Diamètre du collier	19,28 (< 0,1 %)	96,02 (< 0,1 %)	6,22 (< 0,1 %)
Distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices	14,52 (< 0,1 %)	42,95 (< 0,1 %)	3,08 (< 5 %)

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau VII.
Les résultats de l'analyse de variance pour quatre paramètres par rapport au groupe expérimental et à la catégorie rédienne de *Fasciola* sp.

Paramètres	Entre les catégories rédiennes	Différence moyenne	Différence critique	Signification
Longueur du corps	R1a, R1b	251,58	106,92	<i>P</i> < 0,1 %
	R1a, R2a	636,29	104,71	<i>P</i> < 0,1 %
	R1b, R2a	384,711	56,79	<i>P</i> < 0,1 %
Distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier	R1a, R1b	80,54	22,47	<i>P</i> < 0,1 %
	R1a, R2a	109,71	22,0	<i>P</i> < 0,1 %
	R1b, R2a	29,17	11,94	<i>P</i> < 0,1 %
Diamètre du collier	R1a, R1b	79,16	16,46	<i>P</i> < 0,1 %
	R1a, R2a	132,63	16,12	<i>P</i> < 0,1 %
	R1b, R2a	53,47	8,74	<i>P</i> < 0,1 %
Distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices	R1a, R1b	105,75	45,67	<i>P</i> < 0,1 %
	R1a, R2a	212,99	44,72	<i>P</i> < 0,1 %
	R1b, R2a	107,24	24,26	<i>P</i> < 0,1 %

Paramètres	Entre les groupes expérimentaux	Différence moyenne	Différence critique	Signification
Longueur du corps	<i>F hep/G tru, F gig/R.nat</i>	21,26	60,09	NS
	<i>F hep/G tru, F gig/G tru</i>	236,33	111,89	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F gig/G tru, F gig/R.nat</i>	215,8	105,93	<i>P</i> < 0,1 %
Distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier	<i>F hep/G tru, F gig/R.nat</i>	-34,63	12,63	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F hep/G tru, F gig/G tru</i>	-10,10	23,52	NS
	<i>F gig/G tru, F gig/R.nat</i>	25,53	22,26	<i>P</i> < 5 %
Diamètre du collier	<i>F hep/G tru, F gig/R.nat</i>	14,40	9,25	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F hep/G tru, F gig/G tru</i>	34,53	17,23	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F gig/G tru, F gig/R.nat</i>	20,13	16,31	<i>P</i> < 5%
Distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices	<i>F hep/G tru, F gig/R.nat</i>	3,09	25,67	NS
	<i>F hep/G tru, F gig/G tru</i>	75,99	47,79	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F gig/G tru, F gig/R.nat</i>	72,90	45,25	<i>P</i> < 0,1 %

Abréviations : NS (non significatif). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau VIII.
Les résultats des deux tests PLSD de Fisher sur l'influence du groupe expérimental et de la catégorie rédienne de *Fasciola* sp. sur quatre paramètres.

La charge rédienne de *Fasciola* sp. est présentée dans le tableau VI (page 46). Dans ce tableau, le nombre total des rédies de *F. gigantica* (174) dans les *R. natalensis* est plus élevé que celui (20) noté dans les *G. truncatula*. Le nombre des rédies de *F. hepatica* est de 82 chez cette dernière limnée. Le nombre des R1a se distribue entre 5 à 11 dans les trois lots alors que le nombre des R1b et celui des R2a varient respectivement de 7 à 68 et de 8 à 95. Ces deux catégories rédiennes représentent les valeurs les plus élevées chez le couple *R. natalensis* / *F. gigantica*.

B. LES DIMENSIONS DU CORPS RÉDIEN.

Le figure 16 montre les valeurs moyennes et les écarts types correspondants pour les quatre paramètres.

1. Présentation des résultats.

Au 28^e jour de l'expérience, les moyennes de chaque paramètre pris isolément sont toujours plus élevées pour les rédies R1a. A titre d'exemple, la longueur du corps rédien est ainsi de 1,4 mm chez les rédies de *F. hepatica* (chez *G. truncatula*) alors que les moyennes sont seulement de 1,26 mm chez les rédies R1b et de 0,69 mm chez les rédies R2a.

Si l'on considère les trois groupes expérimentaux, ce sont les rédies du couple *F. gigantica* / *G. truncatula* qui ont les moyennes les plus faibles. Ce fait est très net pour la longueur du corps (Fig. 16a), la diamètre du collier (Fig. 16c) et la distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices (Fig. 16d).

Il existe des variations entre les groupes expérimentaux pour la même catégorie rédienne et le même paramètre. C'est aussi que les rédies R1a de *F. gigantica* (chez *R. natalensis*) ont des valeurs moyennes plus élevées que celles notées chez les rédies R1a dans les deux autres couples pour la longueur du corps (Fig. 16a), la distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier (Fig. 16b), et la diamètre du collier (Fig. 16c). Ces fluctuations dans les valeurs sont nettement plus variables dans le cas des deux autres catégories rédiennes.

2. Interprétation statistique.

Les moyennes obtenues des trois groupes expérimentaux ont été comparées par une analyse de variance. Les résultats sont fournis sur le tableau VII.

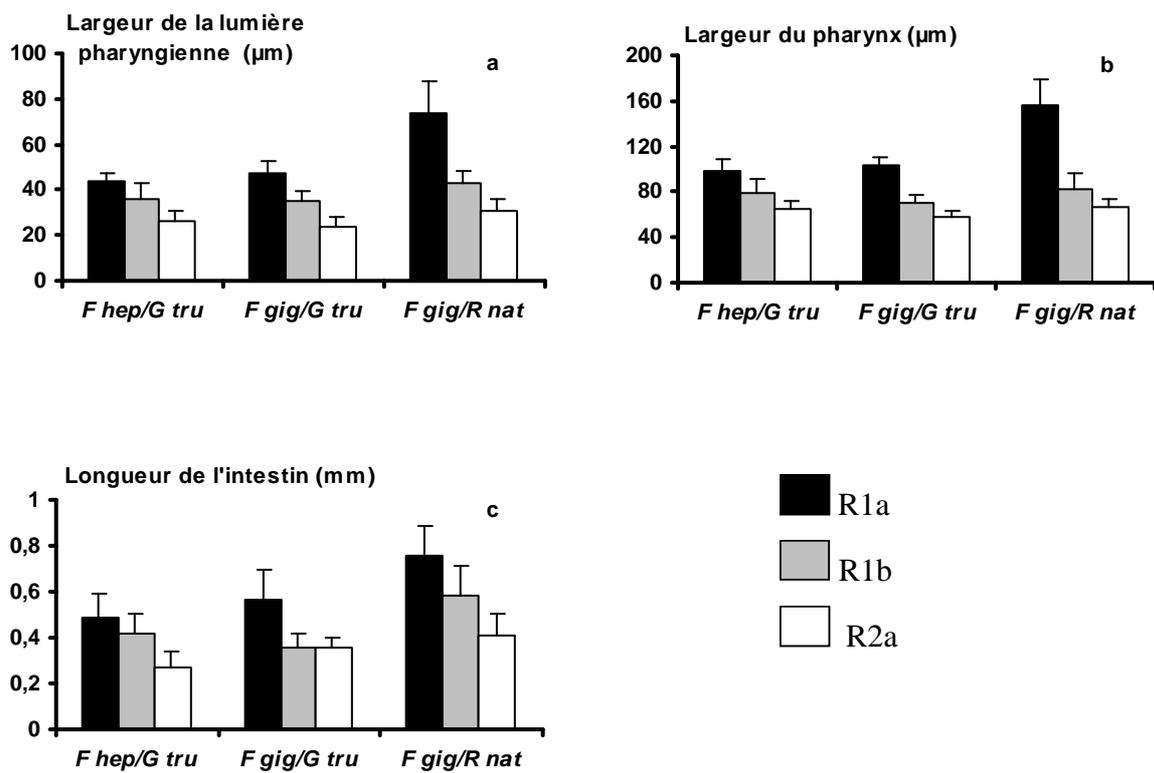


Figure 17.

Les valeurs des trois paramètres (moyennes \pm écarts types)² chez les rädies de *Fasciola* sp. par rapport à l'espèce du mollusque hôte et à la catégorie rädienne.

F. hep/G. tru : *Fasciola hepatica* / *Galba truncatula*.
F. gig/G. tru : *Fasciola gigantica* / *Galba truncatula*.
F. hep/R. nat : *Fasciola hepatica* / *Radix natalensis*.
F. gig/R. nat : *Fasciola gigantica* / *Radix natalensis*.

² Les moyennes et les écarts types des trois paramètres sont présentées sur les tableaux XLXI, XLXII et XLXIII dans la première annexe (pages 221 et 222).

Paramètres	Valeur de <i>F</i> (et signification <i>P</i>)		
	Groupe Expérimental	Catégorie rédiennne	Interaction des facteurs étudiés
Largeur du pharynx	65,34 (< 0,1 %)	182,10 (< 0,1 %)	24,20 (< 0,1 %)
Largeur de la lumière pharyngienne	78,74 (< 0,1 %)	146,38 (< 0,1 %)	15,52 (< 0,1 %)
Largeur de l'intestin	45,90 (< 0,1 %)	47,53 (< 0,1 %)	3,30 (< 5 %)

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau IX.
Les résultats de l'analyse de variance pour trois paramètres par rapport
au groupe expérimental et à la catégorie rédiennne de *Fasciola* sp.

Paramètres	Entre les catégories rédiennnes	Différence moyenne	Différence critique	Signification
Largeur du pharynx	R1a, R1b	49,65	5,17	<i>P</i> < 0,1 %
	R1a, R2a	64,69	5,07	<i>P</i> < 0,1 %
	R1b, R2a	15,04	2,74	<i>P</i> < 0,1 %
Largeur de la lumière pharyngienne	R1a, R1b	20,24	2,92	<i>P</i> < 0,1 %
	R1a, R2a	31,31	2,86	<i>P</i> < 0,1 %
	R1b, R2a	11,07	1,55	<i>P</i> < 0,1 %
Largeur de l'intestin	R1a, R1b	129,07	48,71	<i>P</i> < 0,1 %
	R1a, R2a	280,96	47,70	<i>P</i> < 0,1 %
	R1b, R2a	151,89	25,87	<i>P</i> < 0,1 %

Paramètres	Entre les groupes expérimentaux	Différence moyenne	Différence critique	Signification
Largeur du pharynx	<i>F hep/G tru, F gig/R.nat</i>	-5,72	2,91	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F hep/G tru, F gig/G tru</i>	-1,03	5,41	NS
	<i>F gig/G tru, F gig/R.nat</i>	4,69	5,13	NS
Largeur de la lumière pharyngienne	<i>F hep/G tru, F gig/R.nat</i>	-6,90	1,64	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F hep/G tru, F gig/G tru</i>	-2,28	3,06	NS
	<i>F gig/G tru, F gig/R.nat</i>	4,61	2,90	<i>P</i> < 1 %
Largeur de l'intestin	<i>F hep/G tru, F gig/R.nat</i>	-153,69	27,38	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F hep/G tru, F gig/G tru</i>	-65,56	50,98	<i>P</i> < 5 %
	<i>F gig/G tru, F gig/R.nat</i>	88,13	48,26	<i>P</i> < 0,1 %

Abréviations : NS (non significatif). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau X.
Les résultats des deux tests PLSD de Fisher sur l'influence du groupe
expérimental et de la catégorie rédiennne de *Fasciola* sp. sur trois paramètres.

Pour les quatre paramètres, le groupe utilisé et la catégorie rédienne ont une influence significative sur leurs valeurs.

Le test PLSD de Fisher (Tableau VIII) montre que les trois catégories rédiennes diffèrent significativement entre elles, quel que soit le paramètre. La distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier caractérise les rédies de *F. gigantea* chez *R. natalensis*, alors que *i*) la longueur du corps, et *ii*) la distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices caractérisent les rédies de *F. gigantea* chez *G. truncatula* par rapport aux deux autres lots.

C. LES DIMENSIONS DU PHARYNX ET DE L'INTESTIN.

La figure 17 présente les moyennes et les écarts types pour la largeur du pharynx, la largeur de la lumière pharyngienne et la longueur de l'intestin.

1. Présentation des résultats.

Les valeurs moyennes des rédies R1a dans chaque groupe expérimental sont toujours plus élevées que celles des deux catégories rédiennes, pour la largeur de la lumière pharyngienne (Fig. 17a), la largeur du pharynx (Fig. 17b) et la longueur de l'intestin (Fig. 17c). A titre d'exemple, la largeur moyenne de la lumière pharyngienne de *F. gigantea* (chez *R. natalensis*) est de 73,7 μm alors qu'elle est respectivement de 42,8 μm et de 30,6 μm chez les rédies R1b et R2a. Dans les trois groupes, les rédies R1a de *F. gigantea* chez *R. natalensis* ont des valeurs moyennes plus élevées que celles provenant des deux autres couples. La longueur de l'intestin est ainsi de 0,75 mm chez les rédies R1a de *F. gigantea* (chez *R. natalensis*) alors que les moyennes sont de 0,57 mm chez la même douve (dans *G. truncatula*) et de 0,49 mm chez *F. hepatica* (dans *G. truncatula*).

2. Interprétation statistique.

Les résultats de l'analyse de variance sont fournis sur le tableau IX. Le groupe expérimental et la catégorie rédienne ont un effet significatif, quel que soit le paramètre.

Le premier test PLSD de Fisher (Tableau X) montre l'existence de différences significatives entre les moyennes des trois catégories rédiennes. L'autre test PLSD indique que les rédies de *F. gigantea* chez *R. natalensis* sont caractérisées par la largeur de la lumière pharyngienne par rapport aux larves dans les deux autres lots.

Groupe expérimental	Catégorie rédienne	Moyennes \pm écarts types (en μm) pour chaque catégorie rédienne			
		DAC / LC	LI / LC	DPA / LC	DAC / DC
<i>F. hepatica</i> / <i>G. truncatula</i>	R1a	0,14 \pm 0,07	0,32 \pm 0,07	0,34 \pm 0,08	0,75 \pm 0,26
	R1b	0,14 \pm 0,04	0,34 \pm 0,06	0,26 \pm 0,07	0,80 \pm 0,20
	R2a	0,19 \pm 0,04	0,40 \pm 0,08	0,27 \pm 0,06	0,90 \pm 0,21
<i>F. gigantica</i> / <i>G. truncatula</i>	R1a	0,19 \pm 0,03	0,53 \pm 0,08	0,27 \pm 0,03	0,97 \pm 0,21
	R1b	0,22 \pm 0,05	0,54 \pm 0,07	0,26 \pm 0,05	1,09 \pm 0,31
	R2a	0,24 \pm 0,04	0,60 \pm 0,07	0,24 \pm 0,02	1,26 \pm 0,24
<i>F. gigantica</i> / <i>R. natalensis</i>	R1a	0,22 \pm 0,05	0,53 \pm 0,07	0,29 \pm 0,07	1,06 \pm 0,20
	R1b	0,17 \pm 0,03	0,52 \pm 0,07	0,28 \pm 0,06	1,04 \pm 0,21
	R2a	0,22 \pm 0,07	0,52 \pm 0,08	0,27 \pm 0,07	1,20 \pm 0,30

Tableau XI.
Les valeurs de quatre indices chez les rédies de *Fasciola* sp.

DAC / LC (distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier / longueur du corps).

LI / LC (longueur de l'intestin / longueur du corps).

DPA / LC (distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices / longueur du corps).

DAC / DC (distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier / diamètre du collier).

Paramètres	Valeur de <i>F</i> (et signification <i>P</i>)		
	Groupe expérimental	Catégorie rédienne	Interaction des facteurs étudiés
DAC / LC	11,08 (< 0,1 %)	6,88 (< 1 %)	1,66 (NS)
LI / LC	67,40 (< 0,1 %)	4,60 (< 5 %)	3,33 (< 5 %)
DPA / LC	1,29 (NS)	1,70 (NS)	0,63 (NS)
DAC / DC	16,76 (< 0,1 %)	6,29 (< 1 %)	0,39 (NS)

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). NS (non significatif). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XII.
Les résultats de l'analyse de variance pour les quatre indices se rapportant aux rédies de *Fasciola* sp.

Paramètres	Entre les catégories rédiennes	Différence moyenne	Différence critique	Signification
DAC / LC	R1a, R1b	0,030	0,027	<i>P</i> < 5 %
	R1a, R2a	-0,016	0,026	NS
	R1b, R2a	-0,046	0,014	<i>P</i> < 0,1 %
LI / LC	R1a, R1b	0,015	0,037	NS
	R1a, R2a	-0,010	0,036	NS
	R1b, R2a	-0,026	0,020	<i>P</i> < 5 %
DAC / DC	R1a, R1b	-0,007	0,119	NS
	R1a, R2a	-0,156	0,117	<i>P</i> < 1 %
	R1b, R2a	-0,149	0,063	<i>P</i> < 0,1 %

Paramètres	Entre les groupes expérimentaux	Différence moyenne	Différence critique	Signification
DAC / LC	<i>F hep/G tru, F gig/R. nat</i>	-0,032	0,015	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F hep/G tru, F gig/G tru</i>	-0,058	0,028	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F gig/G tru, F gig/R.nat</i>	-0,025	0,026	NS
LI / LC	<i>F hep/G tru, F gig/R.nat</i>	-0,149	0,021	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F hep/G tru, F gig/G tru</i>	-0,191	0,039	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F gig/G tru, F gig/R.nat</i>	-0,042	0,037	<i>P</i> < 5 %
DAC / DC	<i>F hep/G tru, F gig/R. nat</i>	-0,284	0,067	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F hep/G tru, F gig/G tru</i>	-0,278	0,125	<i>P</i> < 0,1 %
	<i>F gig/G tru, F gig/R.nat</i>	0,006	0,118	NS

Abréviations : NS (non significatif). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XIII.
Les résultats de deux tests PLSD de Fisher sur l'influence du groupe expérimental et de la catégorie rédienne de *Fasciola* sp. sur quatre indices.

D. LES RAPPORTS ENTRE QUELQUES PARAMETRES.

Les trois premiers indices, à savoir la distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier (DAC / LC), la longueur de l'intestin (LI / LC), et la distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices (DPA / LC), sont comparés par rapport à la longueur du corps (LC). Le dernier indice est la distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier par rapport au diamètre du collier (DAC / DC).

1. Présentation des résultats.

Le tableau XI présente les valeurs moyennes et les écarts types pour les quatre indices dans les trois groupes expérimentaux.

La lecture de ce tableau indique que les valeurs moyennes des indices : DAC / LC, LI / LC et DAC / DC, sont plus élevées pour les trois catégories rédiennes de *F. gigantea* (chez *G. truncatula* ou chez *R. natalensis*) que celles de *F. hepatica* (chez *G. truncatula*). A titre d'exemple, l'indice LI / LC chez les rédies R1b est de 0,54 dans le cas de *F. gigantea* (chez *G. truncatula*) et de 0,52 chez la même douve (chez *R. natalensis*) alors que sa valeur dans le cas de *F. hepatica* (chez *G. truncatula*) est seulement de 0,34.

Par contre, l'indice DPA / LC est plus faible dans le cas des trois catégories rédiennes de *F. gigantea* (chez *G. truncatula*) que pour les mêmes catégories de *F. gigantea* (chez *R. natalensis*).

2. Interprétation statistique.

Le tableau XII montre les résultats de l'analyse de variance. L'examen de ce tableau montre que les deux facteurs étudiés ont des effets significatifs sur tous les indices, sauf le rapport DPA / LC. L'interaction de ces facteurs a aussi un effet significatif dans le seul cas de l'indice LI / LC.

Le premier test PLSD de Fisher (Tableau XIII) indique que les rédies R1b se distinguent nettement des autres catégories par le rapport DAC / LC. De la même façon, les rédies R2a sont caractérisées par l'indice DAC / DC.

Du deuxième test, on peut constater que les deux indices DAC / LC et DAC / DC permettent de différencier les rédies de *F. hepatica* de celles appartenant à *F. gigantea* (chez les deux limnées).

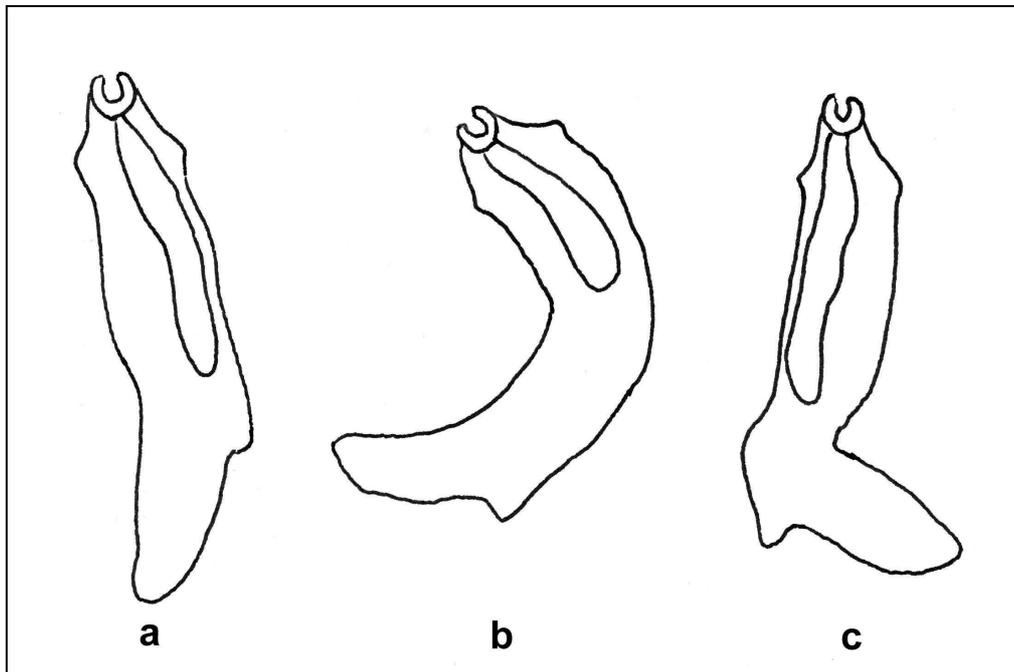


Figure 18.
Schémas montrant la morphologie générale des rédies R1b :
- de *Fasciola gigantica* chez *Radix natalensis* (a),
- de *F. hepatica* chez *Galba truncatula* (b),
- de *F. gigantica* chez *G. truncatula* (c).

VI. SYNTHÈSE.

Radix natalensis n'a pas présenté d'individus parasités avec *F. hepatica* dans le cadre de cette expérience. Par contre, dans les trois autres lots, des infestations évolutives ont été obtenues et les prévalences de ces infestations sont de 75 % dans le couple *F. hepatica* / *G. truncatula*, de 64,3 % chez les *F. gigantea* / *R. natalensis* et, enfin, de 23,8 % chez les *F. gigantea* / *G. truncatula*.

Les valeurs des sept paramètres étudiés varient de manière significative avec le groupe expérimental et la catégorie rédienne. Parmi ceux-ci, deux d'entre eux : la distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier, et la largeur de la lumière pharyngienne, permettent de caractériser les rédies de *F. gigantea* (chez *R. natalensis*). Par contre, deux autres variables : la longueur du corps et la distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices, permettent de séparer les rédies de *F. gigantea* (chez *G. truncatula*) par rapport aux larves observées dans les deux autres lots.

Parmi les indices, deux d'entre eux : DAC / LC et DAC / DC, caractérisent respectivement les rédies R1b et les R2a de *F. hepatica* (chez *G. truncatula*) par rapport à leurs homologues de *F. gigantea* (chez les deux limnées).

VII. DISCUSSION.

Le plan, que nous avons adopté pour ce paragraphe, est le même que celui utilisé pour la présentation des résultats.

A. PRÉVALENCE DE L'INFESTATION FASCIOLIENNE.

Les résultats négatifs obtenus dans le couple *F. hepatica* / *R. natalensis* concordent avec ceux trouvés par Mohamed *et al.* (1998) sur la sensibilité de cette limnée à l'infestation par ce parasite. D'après Boray (1969, 1978), l'âge de la limnée lors de l'exposition aux miracidiums a un effet ou non sur la réussite d'une infestation expérimentale, si bien que seuls les juvéniles mesurant moins de 2 mm de hauteur sont capables d'assurer le développement complet de *F. hepatica*. Cette notion est cependant à revoir pour les deux raisons suivantes :

- Des limnées infestées avec émission ont été rapportées par Dreyfuss dans sa thèse (1994) mais les conditions sont différentes car il s'agit d'individus mesurant 4 mm de hauteur lors de l'exposition aux miracidiums. De plus, le taux d'infestation est faible : trois mollusques seulement sur 70 survivants au 30^e jour d'expérience à 20° C, soit 4,2 %.

- Farag (1998), dans une synthèse, rapporte que *R. natalensis* est un hôte intermédiaire naturel de *F. hepatica* en Egypte.

Dans ces conditions, il nous paraît nécessaire de soumettre des exemplaires de cette limnée à des infestations expérimentales avec des miracidiums égyptiens de *F. hepatica* par rapport à l'âge du mollusque pour déterminer les caractéristiques des infestations évolutives et vérifier, par suite, si la sensibilité de cette espèce de mollusque n'est pas en train d'évoluer dans le temps.

Tout autre est le taux de l'infestation de *G. truncatula* par *F. hepatica*. La valeur relevée au 28^e jour (75 %) concorde avec les résultats fournis par d'autres expériences en utilisant la même population de limnées (Saint-Priest-Taurion) et le même isolat de miracidiums (bovins limousins) (Rondelaud *et al.*, 2004, par exemple).

Dans le cas de *F. gigantica*, la prévalence de l'infestation au 28^e jour est assez élevée (64,3 %) chez *R. natalensis*, mais elle est beaucoup plus faible dans le cas de l'autre limnée (23,8 %). La valeur relevée chez la première espèce s'inscrit dans la gamme des chiffres que d'autres auteurs (comme Dinnik et Dinnik, 1956, 1963 ; Rakotondravao *et al.*, 1992 ; Da Costa *et al.*, 1994, par exemple) ont rapportée, et confirme que *R. natalensis* est un hôte intermédiaire préférentiel de cette douve (Boray, 1978), tout au moins sur le continent africain. Par contre, le chiffre noté pour la population française de *G. truncatula* est assez faible par rapport aux valeurs que nous avons obtenues en infestant d'autres populations françaises de limnées avec des miracidiums égyptiens : plus de 70 % (Dar *et al.*, 2003c). Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette différence mais la plus vraisemblable est de rapporter ce fait à la longueur de l'incubation des œufs utilisés dans notre expérience (plus de deux mois à 20° C). En effet, il est admis que la réussite d'une infestation expérimentale chez le mollusque hôte diminue de manière corrélative avec l'allongement de la durée d'incubation des œufs (Andrews, 1999).

B. CRITÈRES PERMETTANT DE SÉPARER LES RÉDIES DE *Fasciola hepatica* DE CELLES DE *F. gigantica*.

Les deux indices suivants :

- DAC / LC : distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier par rapport à la longueur du corps.

- DAC / DC : distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier par rapport au diamètre du collier.

peuvent être utilisés pour identifier les rédies immatures de *F. hepatica* de celles appartenant à *F. gigantica* chez *G. truncatula* car les rédies du premier Digène ont des valeurs moyennes significativement plus faibles que celles notées pour *F. gigantica*. Ces indices sont des éléments nouveaux pour distinguer les rédies des deux espèces de *Fasciola*, surtout si ces dernières sont présentes ensemble chez le même mollusque hôte (situation probable en Egypte). En utilisant ces indices, on pourra réaliser des infestations croisées par les miracidiums des deux *Fasciola* chez la même limnée afin d'étudier les interactions entre ces deux espèces à l'intérieur du mollusque hôte sous les conditions du laboratoire.

Dans la littérature, les données sur la morphométrie de chaque catégorie rédienne sont limitées en nombre, quelle que soit l'espèce de *Fasciola*. Cependant la comparaison de ces chiffres avec ceux recueillis dans notre étude montre l'existence de quelques discordances :

- *F. hepatica*. Même si la longueur du corps rédien (1,5 à 2,0 mm pour les rédies R1a : Augot *et al.*, 1998) concorde avec nos valeurs (1,4 mm en moyenne), il n'en est pas de même pour la largeur de la lumière pharyngienne : 60 à 100 μm au 28^e jour post-exposition pour les R1a d'après Augot *et al.* (1998) au lieu de 43,8 μm en moyenne dans notre étude.

- *F. gigantica*. La longueur du corps rédien pour les R1a et R1b est plus élevée pour Dinnik et Dinnik (1956) que dans notre étude : 1,6 à 2,0 mm au lieu de 1,4 mm en moyenne.

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces discordances. La plus vraisemblable serait due à des différences dans le développement des générations rédiennes et leur productivité larvaire en fonction de la sensibilité du mollusque hôte (Dreyfuss et Rondelaud, 1995, 1997).

Le seul paramètre permettant de différencier les rédies des deux *Fasciola* était, avant notre étude, la longueur de l'intestin (Ollerenshaw et Graham, 1986). D'après ces auteurs, la rédie de *F. gigantica* a un intestin plus long que celui existant dans la rédie de *F. hepatica* et la figure 18 illustre cela en montrant plusieurs rédies R1b de *F. hepatica* et de *F. gigantica*. Cependant, d'après nos observations, il faut que la rédie contienne des cercaires pour que ce paramètre soit observable. Chez les jeunes larves, quelle que soit leur génération, il est plus difficile d'utiliser ce paramètre car les rédies ont alors un intestin court et de longueur semblable, quelle soit l'espèce de *Fasciola*.

Les deux indices précités au début de ce paragraphe peuvent donc être utilisés pour différencier les rédies de *F. hepatica* de celles de *F. gigantica*. Cette dernière conclusion nous semble d'une grande utilité pour identifier l'espèce de ces douves dans le cas de l'Egypte, aussi bien chez *G. truncatula* que chez *R. natalensis* car ces deux limnées ont été trouvées naturelle-

ment infestées par l'une ou l'autre des deux *Fasciola* (Farag, 1998 ; El-Shazly *et al.*, 2002a). Cependant ces résultats doivent être vérifiés chez des rédies pour d'autres dates de l'infestation car les paramètres suivis dans cette étude ont été mesurés au 28^e jour. Il sera donc utile de procéder à d'autres expériences en fonction de la durée de l'infestation et en suivant le même protocole que celui dans le présent travail.

C. L'ESPÈCE DU MOLLUSQUE A-T-ELLE UN EFFET SUR LA MORPHOMÉTRIE DES RÉDIES ?

Les valeurs relevées pour les paramètres suivants :

- la longueur du corps,
- la distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier,
- la distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices,
- la largeur de la lumière pharyngienne,

pour les rédies de *F. gigantica* (chez *G. truncatula*) sont significativement différentes de celles notées dans le système *F. gigantica*-*R. natalensis*. Ces paramètres morphométriques ne sont pas donc valables pour identifier les rédies des deux *Fasciola* car ils sont affectés par l'espèce du mollusque. Deux hypothèses peuvent être proposées pour interpréter ce résultat :

- La première serait de rapporter ce fait à la croissance propre des limnées car *R. natalensis* augmente plus rapidement en volume que *G. truncatula* (Hubendick, 1951) et, par conséquent, offre un volume interne plus important et de meilleures conditions pour le développement normal des rédies de *F. gigantica*. Un argument en faveur de cette hypothèse est l'accroissement numérique des rédies libres de *F. hepatica* en fonction de la taille du mollusque infesté (*G. truncatula* dans ce cas) d'après Rondelaud et Barthe (1987a).

- La deuxième hypothèse serait de considérer ce résultat comme un effet indirect, dépendant de la sensibilité propre de chaque limnée à l'infestation fasciolienne car l'aptitude de l'hôte intermédiaire pour assurer le développement larvaire de *F. hepatica* ou de *F. gigantica* varie selon l'espèce de mollusque (Boray, 1978, par exemple). De plus, l'espèce de la limnée a un effet non seulement sur la longueur du corps rédien de *F. hepatica*, mais aussi sur la productivité larvaire de ces rédies (Vignoles *et al.*, 2002).

Comme l'on sait déjà que l'hôte définitif influence la morphologie des douves adultes (Kendall, 1965, pour *F. hepatica*, et Al-Kubaisee et Altaif, 1989, dans le cas de *F. gigantica*, par exemple), l'espèce de l'hôte intermédiaire a aussi un effet sur le stade rédien.

LES REDIES DE *Fasciola gigantica* ET LEUR DÉVELOPPEMENT CHEZ DEUX LIMNEES

Même si quelques valeurs ont été rapportées par Dinnik et Dinnik (1956) sur les dimensions du corps et de la région pharyngienne chez les rédies de *F. gigantica*, les informations disponibles sur la croissance de ces larves sont encore limitées. Il était donc utile de quantifier le développement des rédies chez les mollusques hôtes et d'étudier les effets de plusieurs facteurs sur les générations rédiennes de *F. gigantica*.

Le présent chapitre regroupe les résultats que nous avons obtenus en mesurant la longueur du corps rédien et la largeur de la lumière pharyngienne sur les rédies indépendantes et en vie dans plusieurs lots de mollusques. Les deux premiers paragraphes sont consacrés aux buts de cette étude et au matériel et méthodes. Les résultats fournis par les deux expériences sont présentés dans les troisième et quatrième subdivisions. Ils sont comparés avec les données de la littérature dans le dernier temps de cet exposé.

Les résultats rapportés dans ce chapitre ont fait l'objet de trois publications (Dar *et al.*, 2002, 2003c, 2004).

I. BUTS DE L'ETUDE.

Ils sont au nombre de deux :

- 1) Déterminer la croissance des rédies de *F. gigantica* chez deux limnées : *G. truncatula* et *R. natalensis*, lorsqu'elles sont soumises aux mêmes conditions expérimentales.
- 2) Etudier le développement des rédies de *F. gigantica* chez deux populations de *G. truncatula* infestées par l'un ou l'autre de trois isolats des miracidiums différant par leur origine géographique.

Expérience	Mollusque	Origine des mollusques (Nombre d'individus au départ)	Origine de <i>Fasciola</i> <i>gigantica</i> *	Température de l'élevage
1	<i>Radix natalensis</i>	Egypte (100)	Egypte	Elevage jusqu'au 49 ^e jour. Maintenance à 22°-25° C
	<i>Galba truncatula</i>	Berneuil (100)**	Egypte	Elevage à 20° C sous des conditions constantes jusqu'au 49 ^e jour
2	<i>G. truncatula</i>	Berneuil (100)**	Egypte	Elevage à 20° C sous des conditions constantes jusqu'au 49 ^e jour
		Courcelles (100)		
		Berneuil (100)	Chine	
		Courcelles (100)		
Berneuil (100)	Madagascar			
Courcelles (100)				

* L'infestation a été réalisée par deux miracidiums par mollusque.

** Le groupe est commun aux deux expériences.

Tableau XIV.

Les caractéristiques des groupes expérimentaux réalisées pour étudier la croissance des rédies de *Fasciola gigantica* chez deux espèces de limnées.

II. MATERIEL ET METHODES.

A. LES MOLLUSQUES.

Deux populations de *G. truncatula*, différant par leur origine géographique, ont été récoltées sur le terrain. La première est originaire de Courcelles, commune de Saint-Michel-de-Weisse, département de la Creuse. La deuxième provient de Berneuil, département de la Haute-Vienne.

Les limnées de ces deux populations sont vierges de formes larvaires de Digènes au début des expériences. Ce dernier point a été vérifié par la dissection de mollusques adultes au cours des six mois précédents.

Les prélèvements ont porté sur des limnées haut de 4 (\pm 0,2) mm. Après leur récolte, les limnées sont transportées sous des conditions isothermes jusqu'au laboratoire et sont placées dans l'aquarium d'élevage à 20° C pendant 2-3 jours avant d'être exposées aux miracidiums.

Les *R. natalensis* sont maintenues dans les conditions du laboratoire comme cela a déjà été décrit dans le chapitre deuxième (page 43). Des individus de 4 mm de hauteur ont été utilisés dans la première expérience.

B. LES ŒUFS DE *Fasciola gigantica*.

Ils ont été collectés dans la vésicule biliaire de bovins infestés par *F. gigantica* dans les trois abattoirs suivants :

- Abattoir de Tanta, Gouvernorat de El-Gharbia, Egypte.
- Abattoir de Nanning, Province de Guang-Xi, Chine³.
- Abattoir de Tananarive, Madagascar.

La préparation des œufs afin de les séparer de la bile, a été effectuée en suivant la méthode mentionnée à la page 43.

Les œufs ont été incubés à la température constante de 20° C et à l'obscurité totale pendant 20 jours, quelle que soit leur origine géographique.

³ Les œufs de la souche chinoise de *F. gigantica* ont été fournis gracieusement par le Professeur A. Chauvin, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes, alors que ceux de la souche malgache ont été rapportés par le Dr. Rakotondrao, Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires de Tananarive (Madagascar).

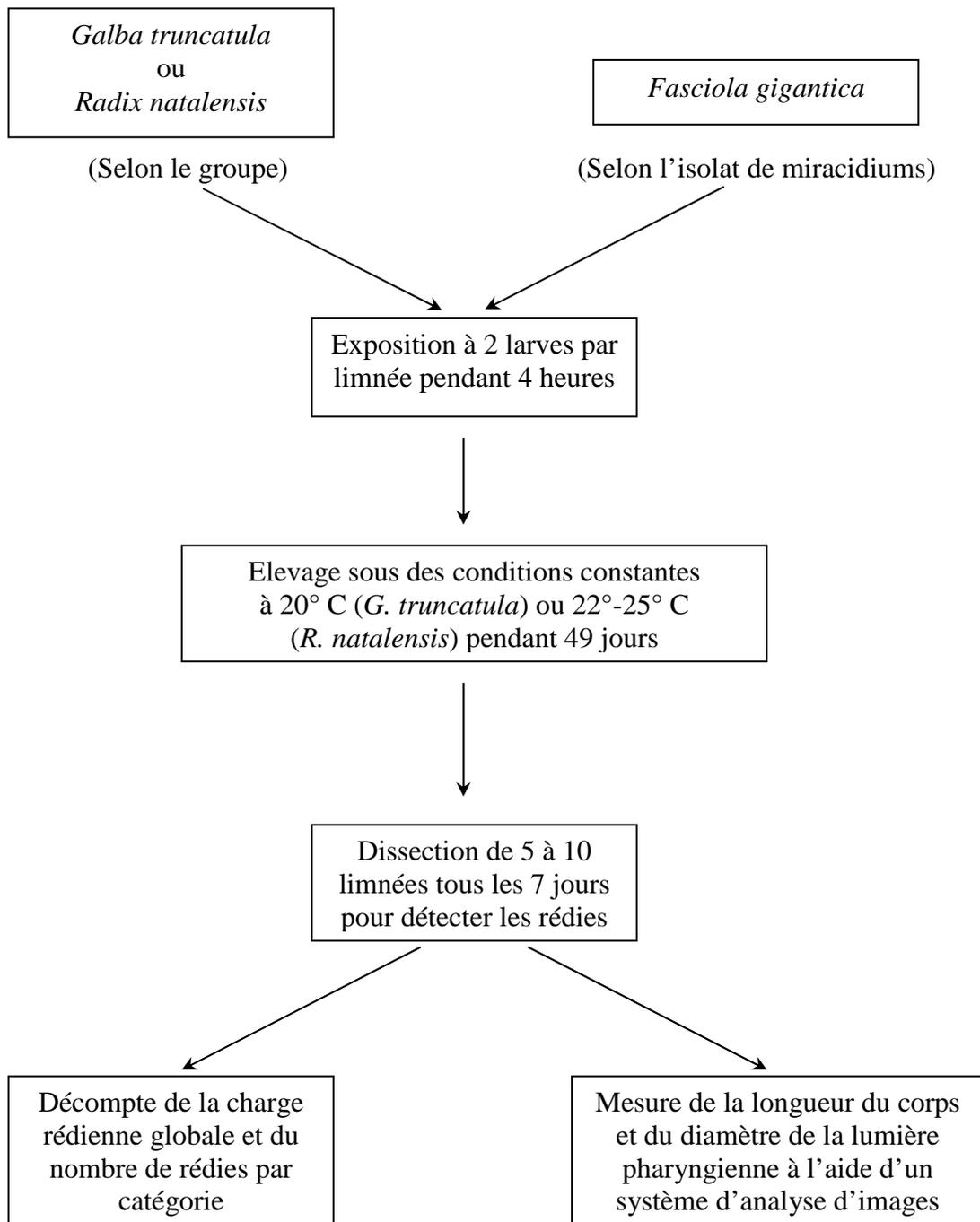


Figure 19.
Les principales étapes des protocoles mis en place pour
étudier la croissance des rédies de *Fasciola gigantica*.

C. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL.

Le tableau XIV (page 63) indique les caractéristiques des deux expériences que nous avons réalisées avec les deux espèces de limnées pour répondre à la problématique précitée. La figure 19 présente les étapes du protocole.

La première expérience porte sur la croissance des rédies de *F. gigantea* par rapport à l'espèce du mollusque hôte : *G. truncatula* ou *R. natalensis*, alors que la deuxième traite du même processus chez des *G. truncatula* infestés par des isolats de *F. gigantea* différant par leur origine géographique.

Les limnées de chaque groupe expérimental sont exposées individuellement à deux miracidiums de *F. gigantea* pendant 4 heures. Elles sont ensuite remises dans leurs aquariums d'élevage (50 individus / bac) à 20° C pour *G. truncatula*, ou à 22°-25° C dans le cas de *R. natalensis*.

Dans chaque lot de mollusques, 5 à 10 individus ont été sacrifiés tous les sept jours jusqu'au 49^e jour d'infestation. Ces dates ont été retenues afin de suivre le développement de chaque catégorie rédienne. Notre étude a été arrêtée au 49^e jour à cause des difficultés pour identifier les générations rédiennes au-delà de cette date.

Les limnées sont disséquées, sous loupe binoculaire, dans de l'eau du robinet afin de vérifier si elles sont infestées et d'isoler les éventuelles formes larvaires. Les rédies sont décomptées dans un premier temps en fonction de leur catégorie. Elles sont ensuite examinées à l'aide d'un système d'analyse d'images (Aries, Paris) pour mesurer la longueur de leur corps et la largeur de leur lumière pharyngienne.

D. PARAMETRES UTILISES.

La prévalence de l'infestation a été établie en considérant le nombre de limnées contenant des formes larvaires lors de leur dissection par rapport à l'effectif des mollusques prélevés au hasard dans les bacs.

Le nombre total des rédies indépendantes (charge rédienne) et l'effectif de ces larves par catégorie (R1a, R1b, R2a, ou R2b/R3a) ont été décomptés dans chaque limnée.

Deux variables intéressent la croissance de ces rédies. Il s'agit de la longueur du corps (mesurée depuis la bouche jusqu'à l'extrémité postérieure de la larve) et de la largeur de la lumière pharyngienne (mesurée dans le secteur le plus large de cette dernière).

Le choix de ces deux variables nous a été dicté par le fait que la longueur est le paramètre le plus représentatif pour apprécier la croissance de chaque rédie (Dinnik et Dinnik, 1956) alors que la largeur de la lumière pharyngienne est la variable la plus efficace pour différencier les catégories rédiennes de *F. gigantea* (voir le chapitre deuxième). Ces paramètres peuvent donc être utilisés pour étudier la croissance des rédies en fonction de la durée de l'infestation.

E. TESTS STATISTIQUES.

Les pourcentages ont été comparés entre eux par le test de comparaison des fréquences expérimentales (Stat-Itcf, 1988).

Le test de corrélation de Spearman a été utilisé dans tous les groupes expérimentaux pour déterminer s'il existe des corrélations significatives entre l'évolution individuelle de chaque paramètre (nombre de rédies, longueur du corps rédien, ou largeur de la lumière pharyngienne) et la durée de l'infestation.

Les valeurs individuelles notées pour chacun de ces paramètres au 49^e jour ont été ramenées à une moyenne, encadrées d'un écart type, en tenant compte de la nature du paramètre et de la catégorie rédienne (R1a, R1b, R2a ou R2b/R3a). Les moyennes ont été confrontées entre elles par le test *t* de Student ou par une analyse de variance à trois ou quatre facteurs (Stat-Itcf, 1988).

III. CROISSANCE DES REDIES DE *Fasciola gigantea* CHEZ LES DEUX LIMNEES.

Le nombre total de mollusques étudiés est de 35 pour *G. truncatula* et de 30 dans le cas de *R. natalensis*. La prévalence de l'infestation expérimentale par *F. gigantea* est donc de 60 % dans chacun des deux populations de limnées.

A. LES REDIES DE *Fasciola gigantea*.

1. Etude de la charge rédienne globale.

Le tableau XV (page suivante) indique le nombre total des rédies dans les deux groupes expérimentaux par rapport aux dates de sacrifice et à la catégorie d'appartenance. L'étude de ce tableau permet les commentaires suivants :

- Le nombre total des rédies est plus élevé chez *R. natalensis* (616) que chez *G. truncatula* (573).

Date de sacrifice (en jours)	Nombre des catégories rédiennes chez							
	<i>Galba truncatula</i>				<i>Radix natalensis</i>			
	R1a	R1b	R2a	R2b/R3a	R1a	R1b	R2a	R2b/R3a
14	1	0	0	0	2	1	0	0
21	4	16	0	0	6	8	2	0
28	3	21	38	0	4	21	23	0
35	5	36	113	7	5	24	78	12
42	3	23	117	17	2	17	80	53
49	5	31	90	43	3	27	122	126
Totaux	21	127	358	67	22	98	305	191
	573				616			

Tableau XV.
Distribution numérique des rédies de *Fasciola gigantica* chez deux limnées par rapport à leur catégorie.

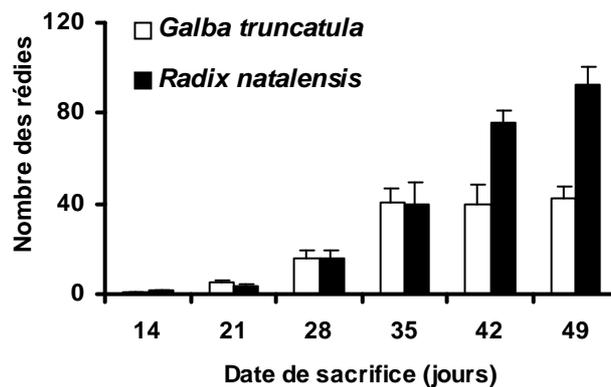


Figure 20.
Fasciola gigantica : l'évolution de la charge rédienne globale chez deux limnées par rapport à la durée de l'infestation.

- Chez les deux limnées, le développement des rédies est typique car la rédie R1a, dans chaque mollusque, est en vie, quelle que soit la durée de l'infestation.

- Le nombre des rédies R1a se distribue entre 1 et 6 au maximum. La catégorie R2a domine largement en nombre sur la R1b. A titre d'exemple, le nombre des R2a chez *G. truncatula* est de 358 au lieu de 127 pour les rédies R1b.

- Les valeurs des R2b/R3a chez *R. natalensis* sont plus élevées (191) que celles enregistrées chez *G. truncatula* (67).

La figure 20 montre, d'autre part, que le nombre total des rédies de *F. gigantea* chez les deux limnées augmente progressivement en fonction de la durée de l'expérience. L'accroissement de ces nombres dans le temps est significative comme le montrent les valeurs des coefficients de corrélation sur le tableau ci-dessous :

Mollusque	r	Signification
<i>Galba truncatula</i>	0,92	$P < 1 \%$
<i>Radix natalensis</i>	0,96	$P < 1 \%$

Abréviations : P (probabilité au seuil de). r (coefficient de corrélation).

Pour chaque date de sacrifice, nous avons comparé les charges rédiennes globales chez *G. truncatula* et *R. natalensis* en utilisant le test t de Student comme le montre le tableau ci-après :

Date de sacrifice	Valeur de t	Signification
14	1,732	NS
21	4,908	$P < 0,1 \%$
28	0,737	NS
35	0,580	NS
42	45,867	$P < 0,1 \%$
49	78,851	$P < 0,1 \%$

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de). t (test t de Student).

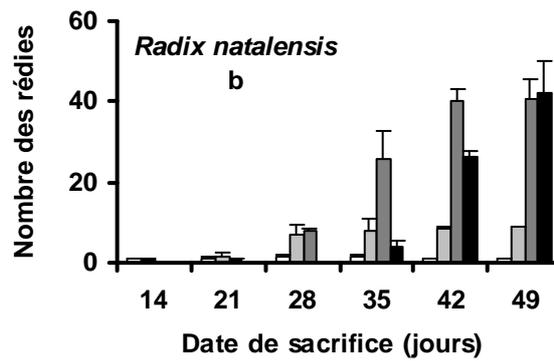
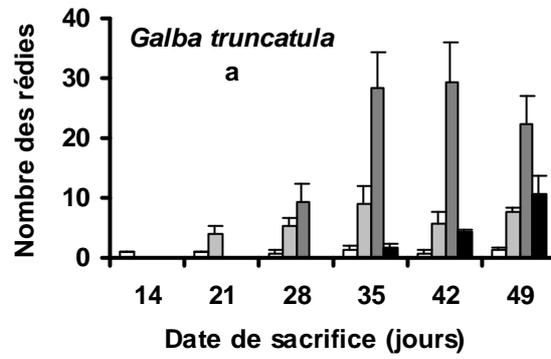


Figure 21.
Distribution numérique des rédies de *Fasciola gigantica* par rapport à leur catégorie chez *Galba truncatula* (21a) et chez *Radix natalensis* (21b) en fonction de la durée de l'infestation.

R1a
 R1b
 R2a
 R2b/R3a

Facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur du rapport <i>F</i>	Signification
Espèce du mollusque	1/20	68,53	<i>P</i> < 0,1 %
Catégorie rédienne	3/20	90,14	<i>P</i> < 0,1 %
Espèce du mollusque *	3/20	24,18	<i>P</i> < 0,1 %
Catégorie rédienne			

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XVI.

Le résultat de l'analyse de variance sur les effectifs rédiens de *Fasciola gigantica* (au 49^e jour d'expérience) par rapport à leur catégorie.

Entre les deux limnées	Différence moyenne	Différence critique	Signification
<i>Galba truncatula</i> , <i>Radix natalensis</i>	-12,604	3,176	<i>P</i> < 0,1 %

Entre les catégories rédiennes	Différence moyenne	Différence critique	Signification
R1a, R1b	-7,143	4,445	<i>P</i> < 0,1 %
R1a, R2a	-29,143	4,445	<i>P</i> < 0,1 %
R1a, R2b/R3a	-23,0	4,445	<i>P</i> < 0,1 %
R1b, R2a	-22,0	4,445	<i>P</i> < 0,1 %
R1b, R2b/R3a	-15,86	4,445	<i>P</i> < 0,1 %
R2a, R2b/R3a	6,143	4,445	<i>P</i> < 0,1 %

Abréviations : *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XVII.

Les résultats de deux tests PLSD de Fisher :
- sur l'influence de l'espèce du mollusque,
- sur celle de la catégorie rédienne,
sur la distribution numérique des rédies de *Fasciola gigantica* par rapport à leur catégorie.

Le tableau situé en bas de la page 69 montre que les nombres moyens des rédies sont significativement plus élevés chez *R. natalensis* au 42^e et au 49^e jour que chez *G. truncatula* alors que c'est l'inverse au 21^e jour.

2. Etude des effectifs par catégorie rédienne.

La figure 21 montre la distribution numérique des larves pour les quatre catégories par rapport aux dates de sacrifice.

Le nombre des rédies R1a, chez les deux limnées, n'augmente pas au cours de l'infestation. Par contre, un accroissement significatif des nombres pour les rédies R1b, R2a et R2b/R3a a été observé lorsque la durée de l'expérience augmente. Le tableau ci-après fournit les valeurs des coefficients de corrélation et leur signification statistique.

Catégorie	Relations entre le nombre total des rédies et la durée de l'expérience	
	<i>Galba truncatula</i>	<i>Radix natalensis</i>
R1a	$r = 0,101$; NS	$r = -0,045$; NS
R1b	$r = 0,557$; $P < 1$ %	$r = 0,827$; $P < 0,1$ %
R2a	$r = 0,770$; $P < 0,1$ %	$r = 0,945$; $P < 0,1$ %
R2b/R3a	$r = 0,845$; $P < 0,1$ %	$r = 0,870$; $P < 0,1$ %

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).
 r (coefficient de corrélation).

Au 49^e jour d'infestation, les rédies R1a et R1b ont des valeurs moyennes très proches chez les deux espèces de mollusques. Les effectifs rédiens les plus élevés se situent dans les catégories R2a et R2b/R3a chez *R. natalensis*.

Les moyennes notées au 49^e jour ont été comparées par une analyse de variance à deux facteurs (espèce de limnée et catégorie rédienne) comme l'indique le tableau XVI. L'examen de celui-ci montre que l'espèce de mollusque, la catégorie et l'interaction entre les deux ont un effet significatif sur le nombre de ces rédies au 49^e jour.

Deux tests PLSD de Fisher (Tableau XVII) ont été réalisés afin de dégager les groupes où l'on note cet effet significatif. Les nombres des rédies, en particulier pour les R2a et les R2b/R3a, sont significativement différents chez les deux limnées. Les différences entre les nombres moyens des rédies sont significatives, quelle que soit la catégorie rédienne.

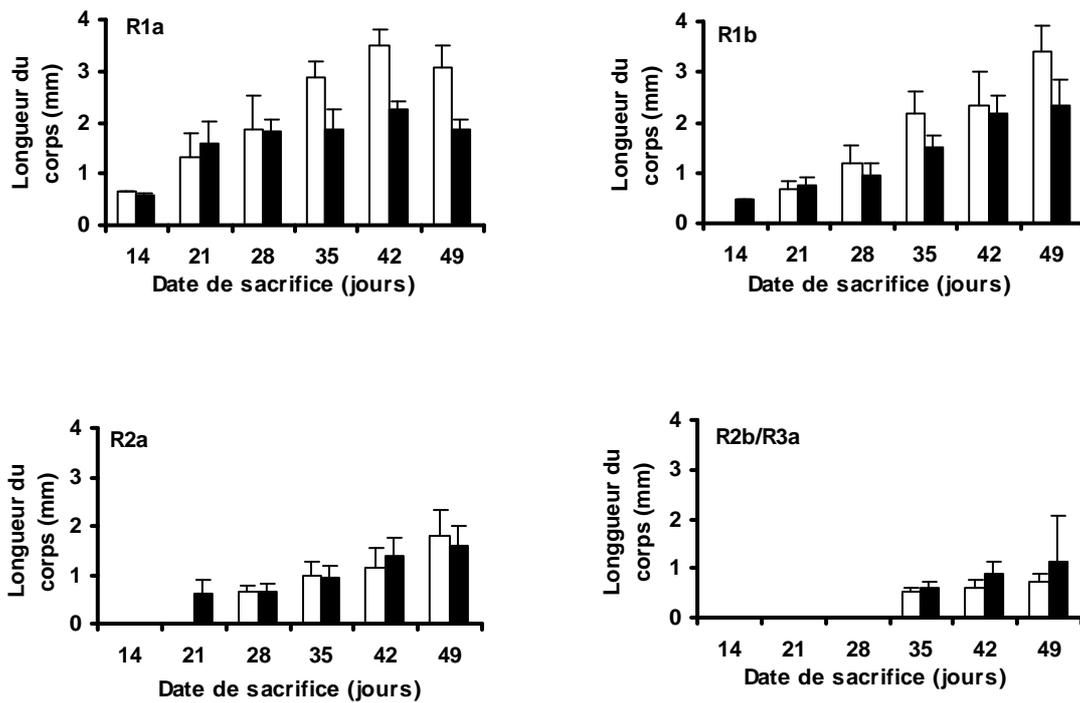


Figure 22.

Fasciola gigantica : la longueur des rédies chez *Galba truncatula* et *Radix natalensis* par rapport à la durée de l'expérience et à la catégorie rédienne.

□ *Galba truncatula* ■ *Radix natalensis*

Facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur du rapport <i>F</i>	Signification
Espèce du mollusque	1/438	15,75	$P < 0,1 \%$
Catégorie rédienne	3/438	135,23	$P < 0,1 \%$
Espèce du mollusque *	3/438	21,23	$P < 0,1 \%$
Catégorie rédienne			

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XVIII.

Le résultat de l'analyse de variance sur les longueurs des rédies de *Fasciola gigantica* (au 49^e jour d'expérience) par rapport à leur catégorie.

Entre les deux limnées	Différence moyenne	Différence critique	Signification
<i>Galba truncatula</i> , <i>Radix natalensis</i>	380,99	120,33	$P < 0,1 \%$

Entre les catégories rédiennes	Différence moyenne	Différence critique	Signification
R1a, R1b	-281,50	464,94	NS
R1a, R2a	932,09	444,08	$P < 0,1 \%$
R1a, R2b/R3a	1592,44	445,99	$P < 0,1 \%$
R1b, R2a	1213,60	182,86	$P < 0,1 \%$
R1b, R2b/R3a	1873,95	187,46	$P < 0,1 \%$
R2a, R2b/R3a	660,35	127,19	$P < 0,1 \%$

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). NS (non significatif).
P (probabilité au seuil de).

Tableau XIX.

Les résultats de deux tests PLSD de Fisher :
- sur l'influence de l'espèce de mollusque,
- sur celle de la catégorie rédienne,
sur la longueur des rédies de *Fasciola gigantica*
par rapport à leur catégorie.

B. LONGUEUR DU CORPS REDIEN.

Ce paramètre n'a été mesuré que pour les rédies indépendantes et en vie.

Chez les *G. truncatula* et les *R. natalensis* parasités par *F. gigantea*, la longueur du corps, quelle que soit la catégorie, augmente progressivement en fonction de la durée de l'expérience (Fig. 22).

Au 49^e jour, les longueurs des rédies R1a se distribuent entre 1,8 et 3,1 mm alors qu'elles se situent entre 2,4 et 3,4 mm pour les rédies R1b chez les deux limnées. Dans le cas des rédies R2a et des R2b/R3a, la longueur ne dépasse pas 1,8 mm.

En général, les corps des rédies R1a et R1b, développées chez *G. truncatula*, sont plus longs que ceux des larves trouvées chez *R. natalensis*, en particulier à partir du 35^e jour de l'expérience. Les longueurs des rédies R2b/R3a ont les valeurs les plus faibles chez les deux groupes de limnées (de 0,7 à 1,1 mm).

L'accroissement de cette variable dans le temps est significatif pour toutes les catégories rédiennes comme le montrent les valeurs des coefficients de corrélation, rapportées sur le tableau ci-dessous :

Catégorie	Relations entre la longueur du corps des rédies et la durée de l'expérience	
	<i>Galba truncatula</i>	<i>Radix natalensis</i>
R1a	$r = 0,818 ; P < 0,1 \%$	$r = 0,567 ; P < 1 \%$
R1b	$r = 0,866 ; P < 0,1 \%$	$r = 0,857 ; P < 0,1 \%$
R2a	$r = 0,632 ; P < 0,1 \%$	$r = 0,199 ; P < 1 \%$
R2b/R3a	$r = 0,388 ; P < 1 \%$	$r = 0,684 ; P < 0,1 \%$

Abréviations : *P* (probabilité au seuil de). *r* (coefficient de corrélation).

Au 49^e jour d'infestation, les moyennes relevées ont été, d'autre part, comparées par une analyse de variance à deux facteurs, comme l'indique le tableau XVIII. L'examen de ce dernier montre que l'espèce de mollusque et la catégorie rédienne ont un effet significatif sur la longueur des rédies. De plus, l'interaction entre ces deux facteurs est significative.

Les deux tests PLSD de Fisher (Tableau XIX) permettent de montrer que toutes les catégories rédiennes diffèrent significativement entre elles au niveau de la longueur de leur corps, sauf entre les rédies R1a et R1b.

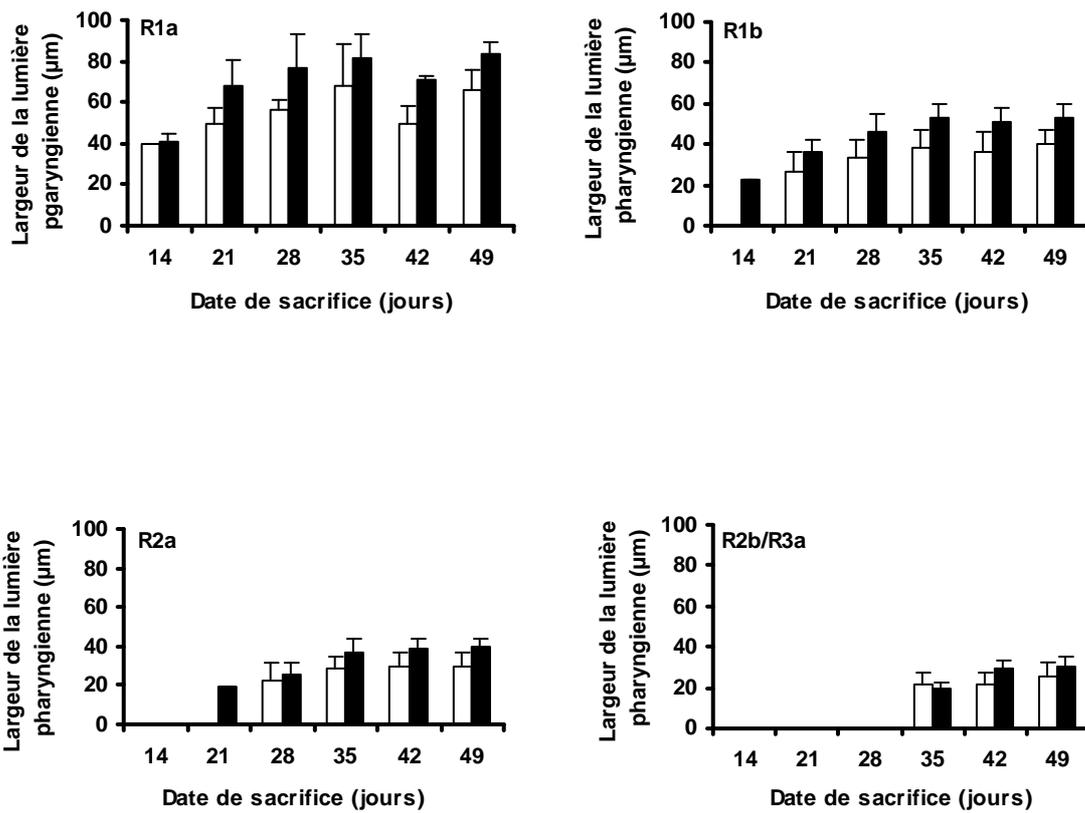


Figure 23.
Fasciola gigantica : la largeur de la lumière pharyngienne chez les rédies se développant chez *Galba truncatula* et *Radix natalensis* par rapport à la durée de l'expérience et à la catégorie rédienne.

□ *Galba truncatula* ■ *Radix natalensis*

Facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur du rapport <i>F</i>	Signification
Espèce du mollusque	1/438	95,31	<i>P</i> < 0,1 %
Catégorie rédienne	3/438	263,65	<i>P</i> < 0,1 %
Espèce du mollusque *	3/438	11,34	<i>P</i> < 0,1 %
Catégorie rédienne			

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XX.

Le résultat de l'analyse de variance sur la largeur des lumières pharyngiennes chez les rédies de *Fasciola gigantica* (au 49^e jour d'expérience) par rapport à leur catégorie.

Entre les deux limnées	Différence moyenne	Différence critique	Signification
<i>Galba truncatula</i> , <i>Radix natalensis</i>	-5,28	1,09	<i>P</i> < 0,1 %

Entre les catégories rédiennes	Différence moyenne	Différence critique	Signification
R1a, R1b	26,43	4,22	<i>P</i> < 0,1 %
R1a, R2a	36,90	4,03	<i>P</i> < 0,1 %
R1a, R2b/R3a	43,31	4,04	<i>P</i> < 0,1 %
R1b, R2a	10,48	1,66	<i>P</i> < 0,1 %
R1b, R2b/R3a	16,88	1,70	<i>P</i> < 0,1 %
R2a, R2b/R3a	6,41	1,15	<i>P</i> < 0,1 %

Abréviation : *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XXI.

Les résultats de deux tests PLSD de Fisher :

- sur l'influence de l'espèce de mollusque,
- sur celle de la catégorie rédienne,

sur la largeur des lumières pharyngiennes chez les rédies de *Fasciola gigantica* par rapport à leur catégorie.

C. LARGEUR DE LA LUMIERE PHARYNGIENNE.

La figure 23 présente les valeurs moyennes de ce paramètre en fonction des quatre catégories de rédies chez les deux limnées.

Sur ces graphes, la largeur de la lumière pharyngienne s'accroît de manière progressive avec le durée de l'expérience.

Les largeurs moyennes des rédies R1a sont de 66 et de 84 μm au 49^e jour chez *G. truncatula* et *R. natalensis* (par ordre respectif) alors que ces valeurs pour les rédies R1b sont de 40 et de 54 μm . Ces moyennes sont toujours plus élevées que celles appartenant aux deux autres catégories (R2a et R2b/R3a).

Les rédies R2b/R3a, qui ne deviennent indépendantes qu'au 35^e jour, présentent les valeurs les plus faibles au 49^e jour de l'infestation. Les moyennes sont ainsi de 26 μm dans le cas de *G. truncatula* et de 30,4 μm chez *R. natalensis*.

Les valeurs des coefficients de corrélation sont fournies sur le tableau ci-dessous. Les corrélations sont significatives dans le cas des deux limnées, sauf pour les rédies R1a chez *G. truncatula*.

Catégorie	Relations entre la largeur de la lumière pharyngienne des rédies et la durée de l'expérience	
	<i>Galba truncatula</i>	<i>Radix natalensis</i>
R1a	$r = 0,367$; NS	$r = 0,544$; $P < 1$ %
R1b	$r = 0,373$; $P < 0,1$ %	$r = 0,508$; $P < 0,1$ %
R2a	$r = 0,236$; $P < 0,1$ %	$r = 0,479$; $P < 0,1$ %
R2b/R3a	$r = 0,299$; $P < 5$ %	$r = 0,421$; $P < 0,1$ %

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).
 r (coefficient de corrélation).

Les moyennes recueillies pour ce paramètre au 49^e jour dans les deux lots de limnées ont été comparées entre elles par une analyse de variance à deux facteurs. Les résultats sont fournis sur le tableau XX. L'espèce du mollusque hôte, la catégorie rédienne et l'interaction entre les deux variables ont un effet significatif sur la largeur maximale de la lumière pharyngienne.

Les deux tests PLSD de Fisher (Tableau XXI) montrent que les différences entre les catégories rédiennes sont toutes significatives.

Origine du parasite	Population du mollusque	Nombre de mollusques prélevés	Nombre de mollusques parasités	Prévalence de l'infestation
Madagascar	Courcelles	90	19	21 %
	Berneuil	40	7	17,5 %
Chine	Courcelles	30	18	60 %
	Berneuil	25	15	60 %
Egypte	Courcelles	30	24	80 %
	Berneuil	35	21	60 %

Tableau XXII.

La prévalence de l'infestation fasciolienne par *Fasciola gigantica* dans six groupes de *Galba truncatula* infestés par l'un ou l'autre des trois isolats de miracidiums.

Population du mollusque	Origine du parasite	Signification
Courcelles	Madagascar, Chine	$P < 5 \%$
	Madagascar, Egypte	$P < 5 \%$
	Chine, Egypte	NS
Berneuil	Madagascar, Chine	$P < 5 \%$
	Madagascar, Egypte	$P < 5 \%$
	Chine, Egypte	NS
Entre Courcelles et Berneuil	groupes malgaches	NS
	groupes chinois	NS
	groupes égyptiens	NS

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).

Tableau XXIII.

Les résultats fournis par le test de comparaison des fréquences expérimentales dans les six groupes de *Galba truncatula* infestés par *Fasciola gigantica*.

IV. CROISSANCE DES REDIES DE *Fasciola gigantica* CHEZ *Galba truncatula* EN FONCTION DE L'ORIGINE GÉOGRAPHIQUE DES MIRACIDIUMS.

A. PREVALENCE DE L'INFESTATION FASCIOLIENNE.

Les données générales, fournies par les deux populations de *G. truncatula* exposées aux isolats de miracidiums provenant de Madagascar, de Chine et d'Égypte, ont été regroupées sur le tableau XXII.

La prévalence globale de l'infestation a été déterminée en rapportant le nombre total de limnées présentant des formes larvaires en vie à celui des mollusques prélevés dans les bacs au cours de l'expérience (du 14^e au 49^e jour). Les valeurs les plus faibles se situent chez les limnées infestées par la souche malgache du parasite (17,5 % pour la population de Berneuil et 20 % pour celle de Courcelles). Les pourcentages obtenus avec les isolats de Chine et d'Égypte sont plus élevés et se situent entre 60 et 80 %.

Ces pourcentages ont été confrontés par le test de comparaison des fréquences expérimentales. Les résultats ont été regroupés dans le tableau XXIII. L'examen de celui-ci montre que des différences significatives existent entre les prévalences des groupes Madagascar et celles des lots infestés par les deux autres isolats. Si l'on compare les résultats entre les deux populations pour chaque isolat de miracidiums considéré séparément, les différences ne sont pas significatives.

B. LES REDIES DE *Fasciola gigantica*.

1. Etude de la charge rédienne globale.

Il s'agit des rédies indépendantes et en vie que la limnée peut contenir.

Le nombre total des rédies est fourni sur le tableau ci-après pour chaque catégorie :

<i>Fasciola gigantica</i>	Population de <i>Galba truncatula</i>	Nombre total de rédies étudiées par catégorie			
		R1a	R1b	R2a	R2b/R3a
Madagascar	Courcelles	15	58	76	46
	Berneuil	6	24	40	2
Chine	Courcelles	20	85	105	28
	Berneuil	22	50	65	23
Égypte	Courcelles	31	136	203	68
	Berneuil	21	127	358	67

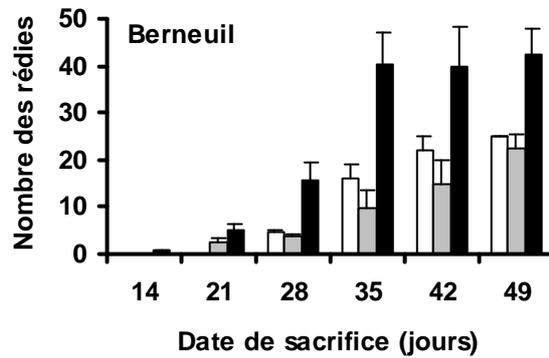
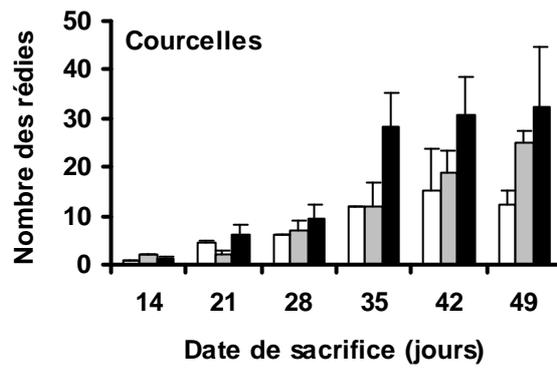


Figure 24.
La charge rédienne globale de *Fasciola gigantica*
dans les six groupes de *Galba truncatula*.

Madagascar
 Chine
 Egypte

Courcelles

Berneuil

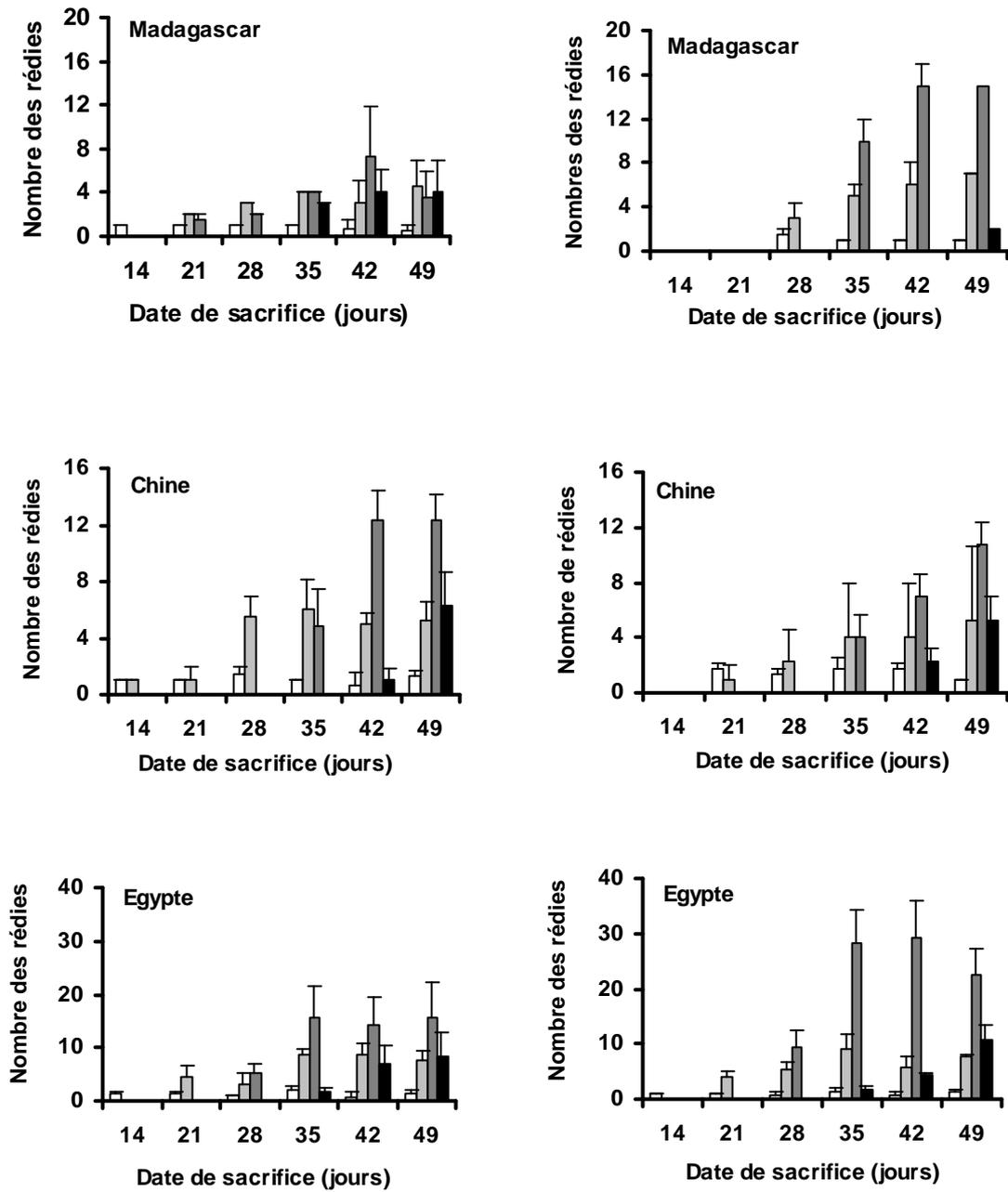


Figure 25.

Le nombre des rédies de *Fasciola gigantica* par rapport à leur catégorie dans les groupes expérimentaux de *Galba truncatula*.

R1a
 R1b
 R2a
 R2b/R3a

Le nombre total des rédies est plus élevé chez les limnées parasitées par la souche égyptienne de *F. gigantea* (1.011) que chez celles infestées par l'isolat chinois (398) ou par celui de Madagascar (267). Dans les deux populations de limnées, le développement des rédies est typique car la rédie R1a reste en vie. Les rédies R2a sont les plus nombreuses dans le groupe égyptien (203 chez les mollusques de Courcelles et 358 chez ceux de Berneuil).

Le figure 24 montre les nombres totaux de rédies dans les six groupes expérimentaux.

Les moyennes relevées dans les deux lots Egypte sont plus élevées que celles notées dans les quatre autres lots, surtout dans la période comprise entre le 35^e et le 49^e jour d'expérience. Dans la population de Berneuil, par exemple, 42,3 rédies en moyenne ont été dénombrées au 49^e jour dans le groupe Egypte au lieu de 22,3 et de 25 rédies, respectivement, dans les lots Chine et Madagascar.

Dans tous les cas, on note que le nombre de rédies augmente significativement par rapport à la durée de l'expérience comme le montre le tableau suivant :

Relations entre le nombre total des rédies et la durée de l'expérience

Origine du parasite	Population du mollusque	Coefficient de corrélation r	Signification
Madagascar	Courcelles	$r = 0,740$	$P < 5 \%$
	Berneuil	$r = 0,940$	$P < 0,1 \%$
Chine	Courcelles	$r = 0,913$	$P < 0,1 \%$
	Berneuil	$r = 0,910$	$P < 0,1 \%$
Egypte	Courcelles	$r = 0,839$	$P < 0,1 \%$
	Berneuil	$r = 0,866$	$P < 0,1 \%$

Abréviation : P (probabilité au seuil de).

2. Etude des effectifs par catégorie rédienne.

La figure 25 présente la distribution des rédies de *F. gigantea* par rapport à leur catégorie chez les deux populations de *G. truncatula*.

Le nombre moyen des rédies R1a se situe, dans tous les groupes, entre 1 et 2 rédies alors que celui des autres catégories rédiennes (R1b, R2a ou R2b/R3a) s'accroît en nombre au cours de l'expérience.

La date d'apparition des rédies R2a indépendantes et des R2b/R3a varie dans les deux groupes Madagascar pour les deux populations de limnées. Elles apparaissent au 21^e jour de l'expérience pour les rédies R2a et au 35^e jour pour les larves R2b/R3a dans la population de

Origine du parasite	Catégorie rédienne	Population du mollusque	Coefficient de corrélation r	Signification
Madagascar	R1a	Courcelles	$r = -0,249$	NS
		Berneuil	$r = -0,509$	NS
	R1b	Courcelles	$r = 0,738$	$P < 5 \%$
		Berneuil	$r = 0,820$	$P < 5 \%$
R2a	Courcelles	$r = 0,513$	NS	
	Berneuil	$r = 0,861$	$P < 5 \%$	
R2b/R3a	Courcelles	$r = 0,742$	$P < 5 \%$	
	Berneuil	-	-	

Origine du parasite	Catégorie rédienne	Population du mollusque	Coefficient de corrélation r	Signification
Chine	R1a	Courcelles	$r = -0,066$	NS
		Berneuil	$r = -0,229$	NS
	R1b	Courcelles	$r = 0,468$	$P < 5 \%$
		Berneuil	$r = 0,775$	$P < 0,1 \%$
R2a	Courcelles	$r = 0,879$	$P < 0,1 \%$	
	Berneuil	$r = 0,929$	$P < 0,1 \%$	
R2b/R3a	Courcelles	$r = 0,707$	$P < 0,1 \%$	
	Berneuil	$r = 0,808$	$P < 0,1 \%$	

Origine du parasite	Catégorie rédienne	Population du mollusque	Coefficient de corrélation r	Signification
Egypte	R1a	Courcelles	$r = -0,095$	NS
		Berneuil	$r = 0,101$	NS
	R1b	Courcelles	$r = 0,675$	$P < 5 \%$
		Berneuil	$r = 0,557$	$P < 1 \%$
R2a	Courcelles	$r = 0,781$	$P < 0,1 \%$	
	Berneuil	$r = 0,770$	$P < 0,1 \%$	
R2b/R3a	Courcelles	$r = 0,754$	$P < 0,1 \%$	
	Berneuil	$r = 0,845$	$P < 0,1 \%$	

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).

Tableau XXIV.

Les valeurs des coefficients de corrélation (r) entre les effectifs des rédies *Fasciola gigantica* et la durée de l'infestation chez *Galba truncatula*.

Facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur du rapport <i>F</i>	Signification
Origine du parasite (OP)	2/48	12,156	$P < 0,1 \%$
Population du mollusque (PM)	1/48	0,068	NS
Catégorie rédienne (CR)	3/48	35,021	$P < 0,1 \%$
OP * PM	2/48	2,147	NS
OP * CR	6/48	2,541	$P < 5 \%$
PM * CR	3/48	3,342	$P < 5 \%$
OP * PM * CR	6/48	0,129	NS

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). NS (non significatif).
P (probabilité au seuil de).

Tableau XXV.

Les résultats de l'analyse de variance sur les effectifs rédiens de *Fasciola gigantica* (au 49^e jour) dans les six groupes de *Galba truncatula*.

Entre les origines du parasite	Différence moyenne	Différence critique	Signification
Chine, Egypte	-3,379	1,698	$P < 0,1 \%$
Chine, Madagascar	1,798	2,264	NS
Egypte, Madagascar	5,177	2,221	$P < 0,1 \%$

Entre les catégories rédiennes	Différence moyenne	Différence critique	Signification
R1a, R1b	-5,222	2,187	$P < 0,1 \%$
R1a, R2a	-13,167	2,187	$P < 0,1 \%$
R1a, R2b/R3a	-5,833	2,187	$P < 0,1 \%$
R1b, R2a	-7,944	2,187	$P < 0,1 \%$
R1b, R2b/R3a	-0,611	2,187	NS
R2a, R2b/R3a	7,333	2,187	$P < 0,1 \%$

Abréviations : NS (non significatif). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XXVI.

Les résultats de deux tests PLSD de Fisher :
- sur l'influence de l'origine du parasite,
- sur celle de la catégorie rédienne,
sur la distribution numérique de rédies de *Fasciola gigantica*
dans les six groupes de *Galba truncatula*.

Courcelles. Par contre, chez les mollusques de Berneuil, les dates respectives sont le 35^e et le 49^e jour.

Dans les lots Chine et Egypte, on ne retrouve pas ce décalage dans les dates en fonction de la population de limnées. Les rédies R2a et les R2b/R3a deviennent indépendantes au 35^e et au 42^e jour, respectivement, dans les deux groupes Chine alors qu'elles apparaissent à partir du 28^e et du 35^e jour dans les lots Egypte.

Le tableau XXIV fournit les valeurs des coefficients de corrélation et leur signification statistique :

- Dans les deux groupes Madagascar, le nombre des rédies R1b s'accroît de manière significative avec la durée de l'infestation chez les deux populations de limnées. Une corrélation significative existe aussi entre l'augmentation numérique des rédies R2a (dans la population de Berneuil) et la durée de l'expérience. La même remarque s'observe également dans la population de Courcelles entre l'accroissement numérique des R2b/R3a et la durée de l'infestation.

- Dans le cas des groupes Chine et Egypte, les rédies R1b, R2a et R2b/R3a présentent des corrélations positives et significatives entre l'augmentation de leurs nombres et celle de l'expérience en durée.

Les moyennes relevées au 49^e jour pour les rédies de *F. gigantea* dans les deux populations de limnées ont été comparées entre elles en utilisant une analyse de variance à trois facteurs (origine du parasite, population du mollusque et catégorie rédienne). Les résultats de cette analyse sont fournis sur le tableau XXV.

L'examen de ces données montre que l'origine du parasite et la catégorie rédienne ont des effets significatifs sur les nombres des rédies au 49^e jour. De plus, les interactions entre la catégorie rédienne et les deux autres variables (origine du parasite, population du mollusque), chacune étant prise à part, sont significatives.

Les deux tests PLSD de Fisher (Tableau XXVI) montrent que l'effet significatif lié à l'origine du parasite est dû à la souche égyptienne des miracidiums car les effectifs des rédies par catégorie diffèrent sur le plan significatif par rapport à ceux notés dans les autres souches. Si l'on fait exception de la comparaison entre les rédies R1b et les R2b/R3a, les autres catégories rédiennes présentent des différences significatives.

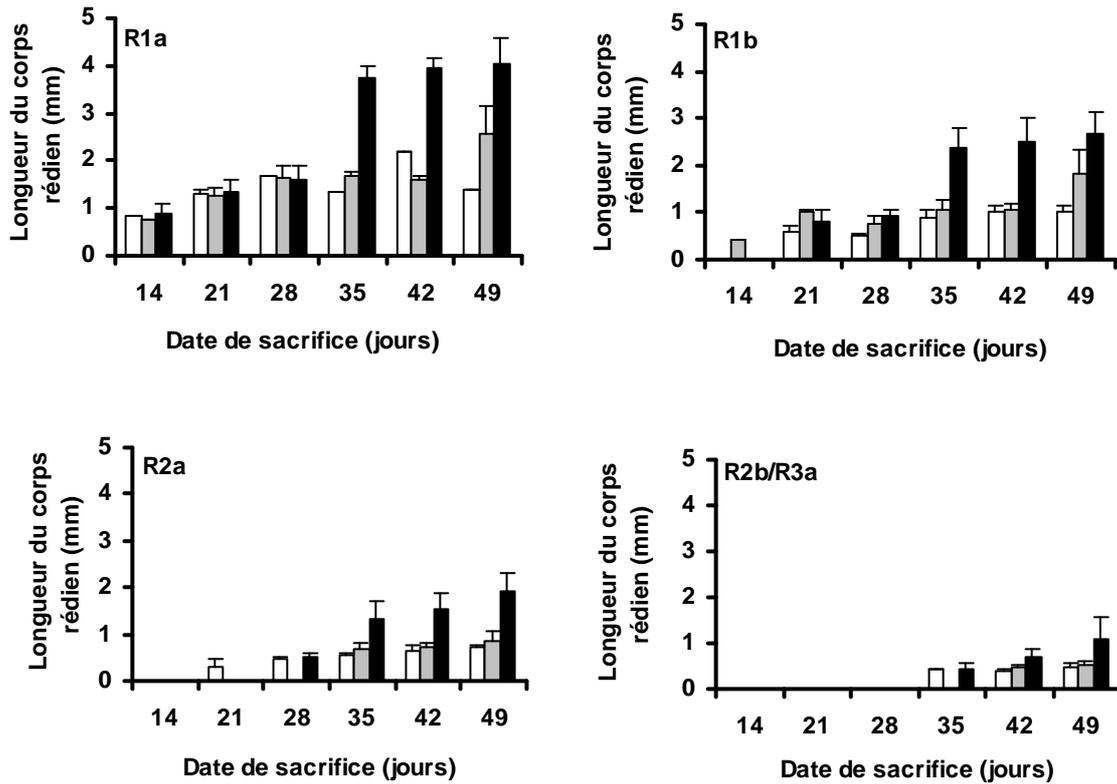


Figure 26.
L'évolution des longueurs pour les rédies de *Fasciola gigantica* dans les trois groupes de *Galba truncatula* réalisés avec la population de **Courcelles**.

□ Madagascar □ Chine ■ Egypte

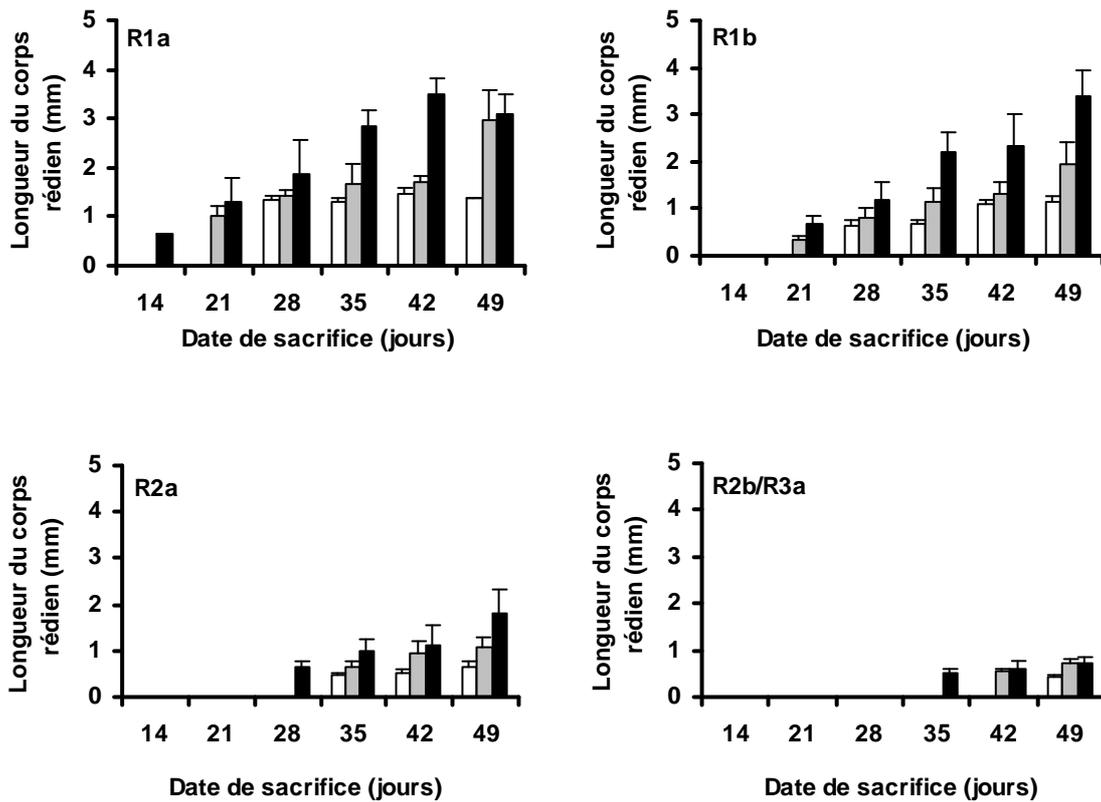


Figure 27.
L'évolution des longueurs pour les rédies de *Fasciola gigantica* dans les trois groupes de *Galba truncatula* réalisés avec la population de **Berneuil**.

□ Madagascar □ Chine ■ Egypte

C. LONGUEUR DU CORPS REDIEN.

1. Etude descriptive.

Les figures 26 et 27 montrent l'évolution de ce paramètre dans le temps pour les rédies de *F. gigantea* chez les deux populations de Limnées tronquées. La lecture de ces graphes permet d'émettre les commentaires suivants :

- Dans toutes les catégories, la longueur des rédies s'accroît progressivement avec la durée de l'infestation, quelle que soit la population de mollusques.

- Les rédies R1a, R1b et R2a de la souche égyptienne ont des valeurs moyennes plus élevées que celles des deux autres isolats, surtout à partir du 35^e jour. A titre d'exemple, dans la population de Courcelles, la longueur des R1a est de 4 mm au lieu de 2,5 et de 1,4 mm dans le cas des souches chinoise et malgache par ordre respectif.

- Dans les deux population de limnées, la catégorie R2b/R3a a les moyennes les plus faibles pour les trois isolats utilisés car la longueur de ces rédies ne dépasse pas 1,1 mm en moyenne au 49^e jour d'expérience.

Le tableau XXVII (page suivante) regroupe les valeurs pour les coefficients de corrélation dans les six groupes expérimentaux. On peut remarquer les éléments suivants :

- a) Dans le cas des lots Madagascar, la longueur des rédies s'accroît significativement en fonction de la durée de l'expérience pour toutes les catégories, sauf pour les rédies R1a dans les limnées de Berneuil.

- b) Si l'on fait exception des rédies R2b/R3a dans la population de Courcelles, il existe des corrélations significatives entre l'accroissement des longueurs pour les autres catégories de la souche Chine et l'allongement de la durée de l'expérience.

- c) Dans les deux groupes Egypte, il existe aussi des corrélations positives et significatives entre les deux variables précitées, quelles que soient la population du mollusque et la catégorie rédienne.

2. Interprétation statistique.

Les moyennes relevées au 49^e jour de l'expérience dans les six groupes précédents ont été comparées par une analyse de variance à trois facteurs (origine du parasite, population du mollusque, catégorie rédienne).

Origine du parasite	Catégorie rédienne	Population du mollusque	Coefficient de corrélation r	Signification
Madagascar	R1a	Courcelles Berneuil	$r = 0,660$ $r = 0,409$	$P < 5 \%$ NS
	R1b	Courcelles Berneuil	$r = 0,723$ $r = 0,824$	$P < 0,1 \%$ $P < 0,1 \%$
	R2a	Courcelles Berneuil	$r = 0,648$ $r = 0,634$	$P < 0,1 \%$ $P < 0,1 \%$
	R2b/R3a	Courcelles Berneuil	$r = 0,419$ -	$P < 5 \%$ -

Origine du parasite	Catégorie rédienne	Population du mollusque	Coefficient de corrélation r	Signification
Chine	R1a	Courcelles Berneuil	$r = 0,752$ $r = 0,778$	$P < 0,1 \%$ $P < 0,1 \%$
	R1b	Courcelles Berneuil	$r = 0,735$ $r = 0,786$	$P < 0,1 \%$ $P < 0,1 \%$
	R2a	Courcelles Berneuil	$r = 0,370$ $r = 0,657$	$P < 0,1 \%$ $P < 0,1 \%$
	R2b/R3a	Courcelles Berneuil	$r = 0,152$ $r = 0,822$	NS $P < 0,1 \%$

Origine du parasite	Catégorie rédienne	Population du mollusque	Coefficient de corrélation r	Signification
Egypte	R1a	Courcelles Berneuil	$r = 0,901$ $r = 0,818$	$P < 0,1 \%$ $P < 0,1 \%$
	R1b	Courcelles Berneuil	$r = 0,784$ $r = 0,866$	$P < 0,1 \%$ $P < 0,1 \%$
	R2a	Courcelles Berneuil	$r = 0,701$ $r = 0,632$	$P < 0,1 \%$ $P < 0,1 \%$
	R2b/R3a	Courcelles Berneuil	$r = 0,497$ $r = 0,388$	$P < 0,1 \%$ $P < 5 \%$

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).

Tableau XXVII.

Les valeurs des coefficients de corrélation (r) entre les longueurs des rédies de *Fasciola gigantica* et la durée de l'infestation chez *Galba truncatula*.

Facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur du Rapport <i>F</i>	Signification
Origine du parasite (OP)	2/493	159,62	$P < 0,1 \%$
Population du mollusque (PM)	1/493	0,04	NS
Catégorie rédienne (CR)	3/493	154,69	$P < 0,1 \%$
OP * PM	2/493	6,26	$P < 1 \%$
OP * CR	6/493	20,41	$P < 0,1 \%$
PM * CR	3/493	3,236	$P < 5 \%$
OP * PM * CR	6/493	7,56	$P < 0,1 \%$

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). NS (non significatif).
P (probabilité au seuil de).

Tableau XXVIII.

Les résultats de l'analyse de variance sur la longueur du corps des rédies de *Fasciola gigantica* (au 49^e jour) dans les six groupes de *Galba truncatula*.

Entre les origines du parasite	Différence moyenne	Différence critique	Signification
Chine, Egypte	-753,38	77,12	$P < 0,1 \%$
Chine, Madagascar	366,27	127,72	$P < 0,1 \%$
Egypte, Madagascar	1119,66	120,94	$P < 0,1 \%$

Entre les catégories rédiennes	Différence moyenne	Différence critique	Signification
R1a, R1b	649,90	139,41	$P < 0,1 \%$
R1a, R2a	1539,96	185,37	$P < 0,1 \%$
R1a, R2b/R3a	2253,01	192,05	$P < 0,1 \%$
R1b, R2a	890,06	89,67	$P < 0,1 \%$
R1b, R2b/R3a	1603,11	102,76	$P < 0,1 \%$
R2a, R2b/R3a	713,05	86,70	$P < 0,1 \%$

Abréviation : *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XXIX.

Les résultats de deux tests PLSD de Fisher :
- sur l'influence de l'origine du parasite,
- sur celle de la catégorie rédienne,
sur la longueur des rédies de *Fasciola gigantica*.

Les tableaux XXVIII et XXIX regroupent les résultats de cette étude. Leur lecture permet de formuler quelques remarques :

- L'origine du parasite et la catégorie rédienne ont des effets significatifs sur la longueur des rédies au 49^e jour. Par contre, la population du mollusque est sans effet sur ce paramètre. Il faut noter, cependant, que toutes les interactions entre les trois facteurs précédents sont significatives.

- Les deux tests PLSD de Fisher montrent des différences significatives entre les longueurs des rédies, quelles que soient leur origine et leur catégorie.

D. LARGEUR DE LA LUMIERE PHARYNGIENNE.

1. Etude descriptive.

Les figures 28 et 29 (pages suivantes) présentent l'évolution de ce paramètre pour les quatre catégories rédiennes de *F. gigantea* et les deux populations de *G. truncatula* par rapport à la durée de l'infestation.

L'examen de ces deux figures appelle les commentaires suivants :

- On note un accroissement progressif de la largeur pour les différentes catégories rédiennes dans toutes les groupes expérimentaux, sauf chez les rédies R1a des deux souches Egypte et Madagascar.

- Chez les rédies R1a, la largeur de la lumière pharyngienne présente des variations entre les deux population de mollusques. A titre d'exemple, dans le cas de l'isolat malgache de miracidiums, les valeurs moyennes se distribuent entre 50 et 70 μm chez les mollusques de Courcelles au cours de l'expérience alors qu'elles se situent entre 33,3 et 50 μm chez les limnées de Berneuil. Ce fait se retrouve également pour les isolats égyptien et chinois car la largeur de la lumière chez les rédies R1a est plus élevée dans les mollusques de Berneuil que dans ceux de Courcelles, surtout au 42^e et au 49^e jours.

- Chez les deux populations de mollusques, les valeurs moyennes des rédies R1b se distribuent entre 30 et 47 μm à partir du 35^e jour de l'expérience alors que celles notées pour les R2a se situent entre 22 et 34 μm .

- Dans toutes les groupes expérimentaux, les rédies R2b/R3a ont les valeurs moyennes les plus faibles car elles se distribuent entre 13 et 30 μm .

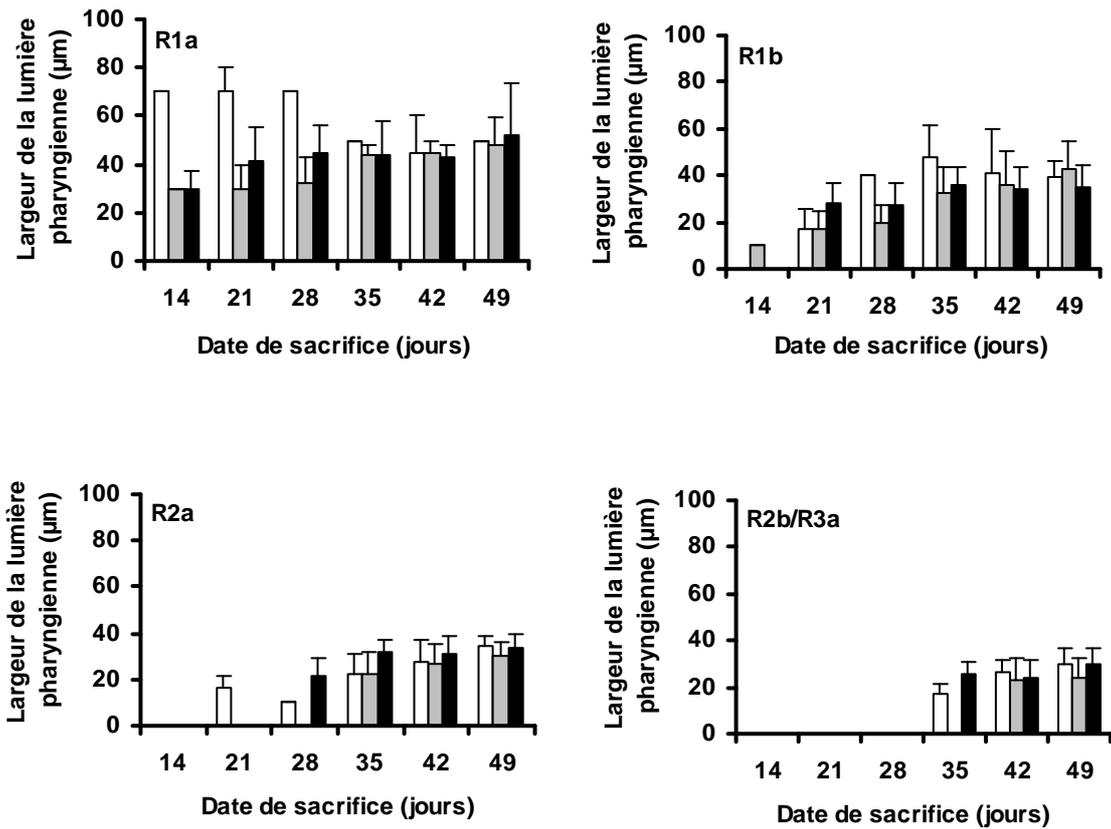


Figure 28.
 La largeur de la lumière pharyngienne chez les rédies
 de *Fasciola gigantica* dans les trois groupes de *Galba truncatula*,
 réalisés avec la population de **Courcelles**.

Madagascar
 Chine
 Egypte

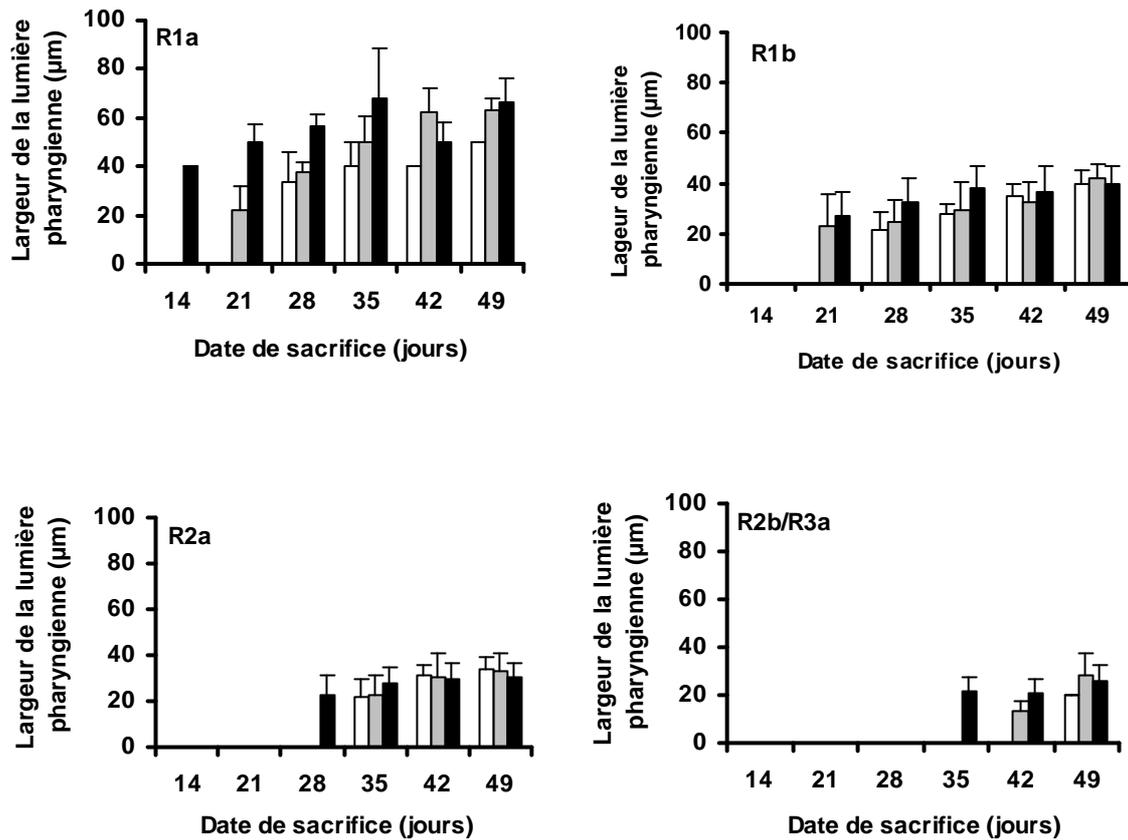


Figure 29.
 La largeur de la lumière pharyngienne chez les rédies
 de *Fasciola gigantica* dans les trois groupes de *Galba truncatula*,
 réalisés avec la population de **Berneuil**.

□ Madagascar □ Chine ■ Egypte

Les valeurs des coefficients de corrélation sont fournies sur le tableau XXX (page suivante). On remarque les éléments suivants :

- Dans le cas de la souche Madagascar, il existe des corrélations significatives entre l'accroissement des largeurs et la durée de l'expérience pour les rédies R1b (chez les limnées de Berneuil), les R2a (dans les deux populations de *G. truncatula*) et les R2b/R3a (mollusques de Courcelles).

- Dans le cas de la souche Chine, les corrélations entre les deux variables sont significatives dans toutes les catégories rédiennes, à l'exception des rédies R2b/R3a chez la population de Courcelles.

- Dans le cas de la souche Egypte, la largeur de la lumière pharyngienne s'accroît de manière corrélative tout au long de l'expérience, sauf chez les rédies R1a des deux populations de limnées.

2. Interprétation statistique.

Les moyennes relevées au 49^e jour de l'expérience ont été également comparées par une analyse de variance à trois facteurs (origine du parasite, population du mollusque et catégorie rédienne). Les résultats sont fournis sur le tableau XXXI (page suivante).

L'examen de ce tableau montre que seule la catégorie rédienne a un effet significatif sur la largeur de la lumière pharyngienne. Les interactions entre les trois facteurs sont toutes significatives, à l'exception de l'interaction entre l'origine du parasite et la population de *G. truncatula*.

Le test PLSD de Fisher (Tableau XXXII) indique que toutes les catégories rédiennes diffèrent significativement entre elles.

V. SYNTHÈSE.

A. CROISSANCE DES RÉDIÉS CHEZ LES DEUX LIMNÉES.

La prévalence de l'infestation expérimentale est identique (soit 60 %) chez les deux limnées : *R. natalensis* et *G. truncatula*, infestées par la souche égyptienne de *F. gigantea*.

A l'exception des rédies R1a, un accroissement numérique significatif a été observé pour les rédies R1b, R2a et R2b/R3a lorsque la durée de l'expérience augmente chez les deux limnées.

Origine du parasite	Catégorie rédienne	Population du mollusque	Coefficient de corrélation r	Signification
Madagascar	R1a	Courcelles	$r = -0,701$	NS
		Berneuil	$r = 0,541$	NS
	R1b	Courcelles	$r = 0,328$	NS
		Berneuil	$r = 0,836$	$P < 1 \%$
R2a	Courcelles	$r = 0,576$	$P < 0,1 \%$	
	Berneuil	$r = 0,625$	$P < 0,1 \%$	
R2b/R3a	Courcelles	$r = 0,436$	$P < 5 \%$	
	Berneuil	-	-	

Origine du parasite	Catégorie rédienne	Population du mollusque	Coefficient de corrélation r	Signification
Chine	R1a	Courcelles	$r = 0,470$	$P < 5 \%$
		Berneuil	$r = 0,851$	$P < 0,1 \%$
	R1b	Courcelles	$r = 0,626$	$P < 0,1 \%$
		Berneuil	$r = 0,596$	$P < 1 \%$
R2a	Courcelles	$r = 0,323$	$P < 0,1 \%$	
	Berneuil	$r = 0,451$	$P < 0,1 \%$	
R2b/R3a	Courcelles	$r = 0,002$	NS	
	Berneuil	$r = 0,575$	$P < 1 \%$	

Origine du parasite	Catégorie rédienne	Population du mollusque	Coefficient de corrélation r	Signification
Egypte	R1a	Courcelles	$r = 0,264$	NS
		Berneuil	$r = 0,361$	NS
	R1b	Courcelles	$r = 0,269$	$P < 1 \%$
		Berneuil	$r = 0,373$	$P < 0,1 \%$
R2a	Courcelles	$r = 0,305$	$P < 0,1 \%$	
	Berneuil	$r = 0,236$	$P < 0,1 \%$	
R2b/R3a	Courcelles	$r = 0,297$	$P < 5 \%$	
	Berneuil	$r = 0,299$	$P < 5 \%$	

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).

Tableau XXX.

Les valeurs des coefficients de corrélation (r) entre les largeurs des lumières pharyngiennes chez les rédies de *Fasciola gigantica* et la durée de l'infestation chez *Galba truncatula*.

Facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur du rapport <i>F</i>	Signification
Origine du parasite (OP)	2/493	0,478	NS
Population du mollusque (PM)	1/493	2,727	NS
Catégorie rédienne (CR)	3/493	63,165	$P < 0,1 \%$
OP * PM	2/493	2,157	NS
OP * CR	6/493	2,947	$P < 0,1 \%$
PM * CR	3/493	3,022	$P < 5 \%$
OP * PM * CR	6/493	2,281	$P < 5 \%$

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). NS (non significatif).
P (probabilité au seuil de).

Tableau XXXI.

Les résultats de l'analyse de variance sur la largeur de la lumière pharyngienne chez les rédies de *Fasciola gigantica* (au 49^e jour) dans les six groupes de *Galba truncatula*.

Entre les catégories rédiennes	Différence moyenne	Différence critique	Signification
R1a, R1b	15,848	3,719	$P < 0,1 \%$
R1a, R2a	23,853	3,564	$P < 0,1 \%$
R1a, R2b/R3a	28,846	3,692	$P < 0,1 \%$
R1b, R2a	8,005	1,724	$P < 0,1 \%$
R1b, R2b/R3a	12,999	1,976	$P < 0,1 \%$
R2a, R2b/R3a	4,994	1,667	$P < 0,1 \%$

Abréviation : *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XXXII.

Les résultats du test PLSD de Fisher sur l'influence de la catégorie rédienne sur la largeur de la lumière pharyngienne chez les rédies de *Fasciola gigantica*.

La charge rédienne globale au 49^e jour de l'infestation est plus élevée chez *R. natalensis* (92,7 en moyenne) que celle notée chez *G. truncatula* (42,3). L'augmentation du nombre de rédies chez *R. natalensis* concerne les rédies R2a et R2b/R3a qui sont au nombre de 40,7 et de 42 rédies par limnée (par ordre respectif).

Chez les deux limnées précitées, la longueur du corps, dans toutes les catégories rédiennes, augmente progressivement en fonction de la durée de l'expérience. De la même façon, la largeur de la lumière pharyngienne s'accroît de manière corrélative dans le temps chez les deux espèces de mollusques, sauf pour les rédies R1a chez *G. truncatula*.

Au 49^e jour d'expérience, l'espèce du mollusque et la catégorie rédienne ont des effets significatifs sur la longueur des rédies et la largeur maximale de la lumière pharyngienne.

B. CROISSANCE DES RÉDIÉS PAR RAPPORT À L'ORIGINE DU PARASITE.

Chez deux populations de *G. truncatula*, infestées par des isolats de miracidiums différant par leur origine géographique (Chine, Egypte et Madagascar), les prévalences de l'infestation dans les deux groupes malgaches sont significativement plus faibles que celles notées dans les quatre autres lots.

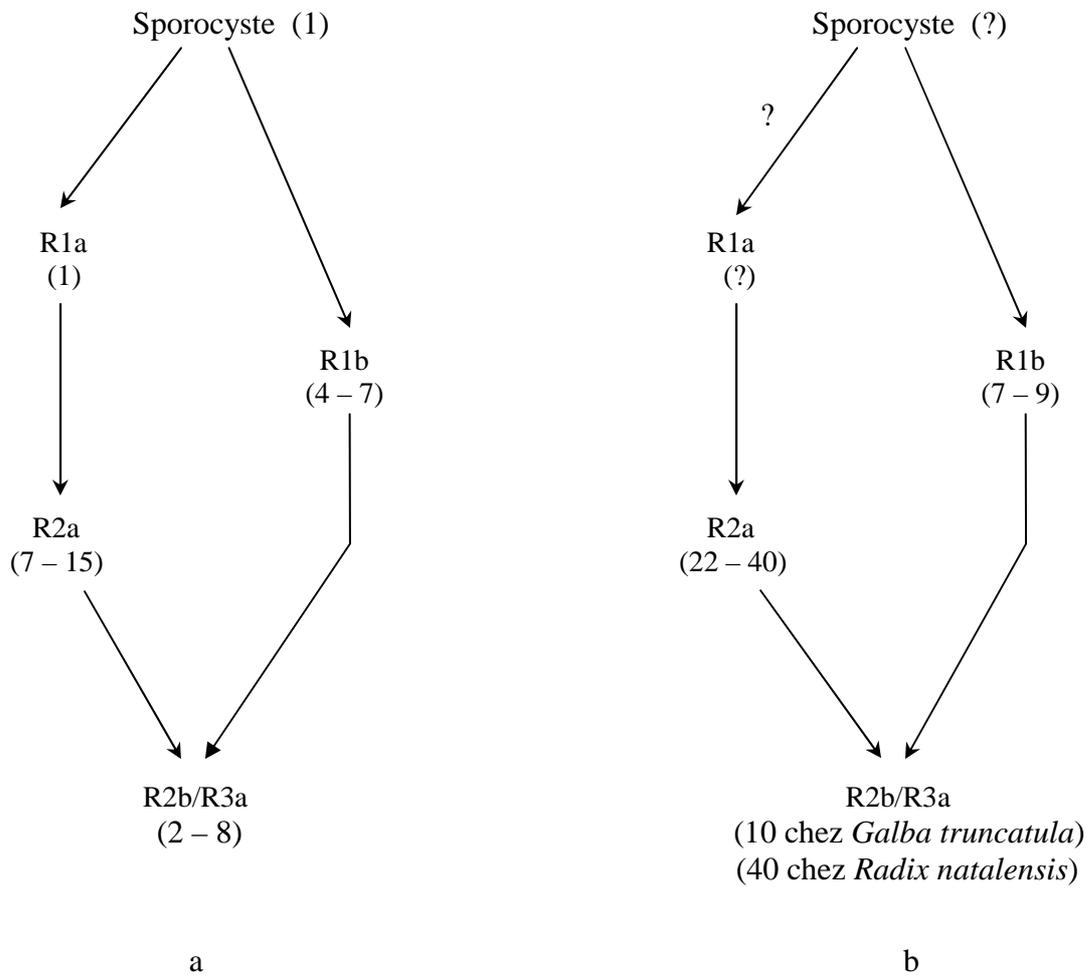
La charge rédienne globale chez les deux populations de limnées infestées par la souche égyptienne est plus élevée que celles relevées dans les autres groupes expérimentaux, en particulier à partir du 35^e jour de l'expérience. A titre d'exemple, le nombre total des rédies indépendantes au 49^e jour est de 32,5 rédies en moyenne chez les mollusques de Courcelles dans le cas de l'isolat égyptien au lieu de 12,5 et de 25 rédies pour les souches Madagascar et Chine par ordre respectif.

Pour les trois isolats de *F. gigantica*, la longueur du corps rédien et la lumière de la largeur pharyngienne s'accroissent significativement au cours de l'infestation pour la plupart des catégories rédiennes et ceci chez les deux populations de mollusques.

La longueur du corps rédien présente des différences significatives en rapport avec l'origine du parasite (Chine, Egypte ou Madagascar) et la catégorie rédienne. Dans le cas de la lumière pharyngienne, seule la catégorie rédienne a une influence significative sur les valeurs.

VI. DISCUSSION.

Le plan de ce paragraphe tient compte des deux expériences que nous avons réalisées.



Les 5 groupes de la deuxième expérience

- les deux de Madagascar
- les deux de Chine
- un groupe Egypte (Courcelles)

Les 2 groupes de la première expérience

- un d'Egypte (Berneuil) avec *Galba truncatula*
- un d'Egypte avec *Radix natalensis*

Figure 30.
Le développement de *Fasciola gigantica* chez leurs mollusques hôtes.
Les nombres de larves pour chaque stade larvaire
sont indiqués entre parenthèses.

A. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

1. Modes de développement pour les rédies.

La figure 30 schématise le développement larvaire de *F. gigantea* chez leurs hôtes intermédiaires : *G. truncatula* et *R. natalensis*. Le premier schéma (Fig. 30a) présente le mode le plus fréquent avec toutes les rédies se développant à partir d'un seul sporocyste et, par suite, d'une seule rédie R1a. Si l'on se rapporte aux données que plusieurs auteurs (comme Augot *et al.*, 1998, 1999) ont publiées pour *F. hepatica*, nous proposons de considérer comme « typique » ce premier mode de développement à partir d'un seul sporocyste. Par contre, le deuxième (Fig. 30b) montre un accroissement progressif des rédies R2a et des R2b/R3a. Pour expliquer ce dernier schéma, deux hypothèses peuvent être émises :

- a) L'une d'entre elles serait d'admettre que la charge rédienne observée sur la figure 30b serait due au développement des deux sporocystes dans le mollusque (la limnée est infestée par deux miracidiums) et, par voie de conséquence, aux deux R1a, avec une disparition plus rapide de l'une entre elles par rapport à l'autre au cours de l'infestation. Deux arguments appuient cette première hypothèse. Le premier concerne la qualité de la nourriture offerte aux mollusques. En effet, d'après Rondelaud *et al.* (2004), une alimentation à base de salade et de Tetraphyll[®] permet le développement des deux sporocystes (de *F. hepatica*) chez 50 % au moins des survivants alors que la salade ne se traduit que par 20 % de mollusques avec le développement des deux sporocystes. Le deuxième argument concerne le nombre des rédies R2a qui est de 22 à 40 rédies dans les groupes de la première expérience alors que il est de 7 à 15 chez les cinq lots de la deuxième expérience.

- b) Le nombre de rédies R2b/R3a chez *G. truncatula* (10 par limnée) et celui noté chez *R. natalensis* (40) dans la première expérience sont plus élevés que celui relevé dans les groupes de deuxième expérience. Ce dernier peut s'expliquer par le fait que, chez *R. natalensis*, la croissance de la coquille est plus importante que celle de *G. truncatula* (Hubendick, 1951) si bien que le volume interne plus grand de la première limnée permettrait le développement d'un plus grand nombre de rédies R2b/R3a que chez *G. truncatula*.

2. Largeur de la lumière pharyngienne.

Les valeurs moyennes de ce paramètre sur les rédies vivantes de *F. gigantea*, que nous avons obtenues pour tous les groupes expérimentaux, sont plus élevées que celles rapportées par Augot *et al.* (1995) chez une population de *R. natalensis* issue de Madagascar.

Le tableau suivant récapitule les chiffres de cet auteur et nos propres résultats :

Références	Largeur moyenne de la lumière pharyngienne (μm)		
	R1b	R2a	R2b/R3a
Augot <i>et al.</i> (1995)*	28,2	18,6	6,4
Nos résultats personnels**	53,5	40	30,4

* Mesures effectuées au 50^e jour sur des coupes sériées de *Radix natalensis* infestés par *Fasciola gigantica*.

** Mesures effectuées au 49^e jour sur des rédies vivantes provenant de *R. natalensis* parasités.

Comme on peut le constater sur ce tableau, les valeurs varient du simple au double dans le cas des R1b et des R2a alors qu'elles sont multipliées par x 5 dans le cas des R2b/R3a. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces différences. A notre avis, la plus valide serait de rapporter ces faits aux techniques qui ont été utilisées pour effectuer les mesures :

- En effet, les valeurs d'Augot *et al.* (1995) ont été mesurées sur des coupes sériées de limnées parasitées (pour l'étude histologique) si bien que les rédies sont mortes lors de la fixation, en restant dans la position qu'elles occupaient dans le corps du mollusque.

- Par contre, dans notre propre étude, les dimensions ont été mesurées sur des rédies vivantes, sorties du corps du mollusque et montées sur des lames histologiques pour effectuer l'opération avec le système d'analyse d'images. Dans ces conditions, les rédies présentent encore des mouvements de leur pharynx si bien qu'il est difficile de saisir cet organe au repos. Plusieurs images sont donc souvent nécessaires avant d'effectuer la mesure pour déterminer la largeur maximale de la lumière pharyngienne.

Comme l'espèce du mollusque a une influence significative sur la largeur des lumières pharyngiennes dans le cas de la première expérience, on peut se demander si ce paramètre ne serait pas modifié par la population de la limnée utilisée pour les infestations expérimentales car, pour chaque colonie, la croissance des mollusques dans le temps présente des variations individuelles tant sur le plan de la hauteur de la coquille que sur celle de la largeur (Glöer et Meier-Brook, 1994).

B. CROISSANCE DES REDIES PAR RAPPORT A L'ESPECE DU MOLLUSQUE.

La longueur des rédies de *F. gigantea*, chez les deux espèces de limnées, s'accroît au cours de l'infestation jusqu'au 49^e jour. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Dinnik et Dinnik (1956) sur des rédies de *F. gigantea* provenant de *R. natalensis* disséqués. Malgré le volume corporel important de cette limnée et l'espace interne qu'elle offre pour le développement du parasite, il est utile de remarquer que la longueur des rédies, chez des *G. truncatula* au 49^e jour, est plus élevée (3,1 µm en moyenne pour des rédies R1a au lieu de 1,9 µm pour celles qui se développent chez *R. natalensis*, par exemple). Cette contradiction peut s'interpréter en tenant compte de la charge rédienne présente chez les deux limnées (elle est plus élevée dans le cas de *R. natalensis*) et en admettant que la compétition entre les rédies indépendantes dans le mollusque hôte pourrait retarder la croissance des larves car la quantité d'aliments, que la limnée peut offrir aux rédies, serait plus limitée. Un premier argument en faveur de cette hypothèse est celui de Boray (1978). D'après cet auteur, le seul facteur limitant la croissance des rédies est la quantité d'aliments qu'elles ont à leur disposition. Un deuxième argument est fourni par Vignoles *et al.* (2002). Ces auteurs signalent que l'espèce du mollusque (*G. truncatula*, *Omphiscola glabra* et *Radix ovata* dans ce cas) a un effet positif sur la longueur des rédies de *F. hepatica* lorsque les infestations sont réalisées avec de jeunes limnées (moins de 2 mm de hauteur lors de l'exposition).

De la même façon, la diamètre de la lumière pharyngienne, pour les rédies de *F. gigantea*, augmente progressivement chez les deux espèces de mollusques avec la durée de l'expérience. Dinnik et Dinnik (1956) ont aussi montré une croissance de ces pharynx au cours de temps mais en utilisant un autre paramètre (la longueur du pharynx). Au 49^e jour, les rédies de *F. gigantea* ont également une lumière pharyngienne plus large chez *R. natalensis* que chez *G. truncatula*. Cette différence peut s'expliquer par la même hypothèse que nous avons déjà formulée précédemment pour la longueur du corps rédien (voir ci-dessus).

C. CROISSANCE DES REDIES PAR RAPPORT A L'ORIGINE GÉOGRAPHIQUE DU PARASITE.

Les *G. truncatula* infestés par la souche égyptienne de *F. gigantea* ont des effectifs rédiens plus élevés que ceux notés dans les autres groupes expérimentaux. Ces données montrent que cet isolat de miracidiums est bien adapté aux deux populations françaises de *G. truncatula*. Comme cette limnée vit normalement en Egypte (Brown, 1994, par exemple), on peut donc considérer cette espèce comme un hôte intermédiaire additionnel pour *F. gigantea*,

en plus du mollusque hôte habituel (*R. natalensis*) de ce Digène en Egypte (Farag, 1998). Un argument en faveur de cette affirmation est la découverte par El-Shazly *et al.* (2002a) de *G. truncatula* naturellement parasités par des formes larvaires de *Fasciola* sp. (espèce non déterminée).

La sensibilité élevée des limnées françaises à l'infestation par la souche égyptienne de *F. gigantica* montre l'efficacité de la combinaison allopatrique entre *G. truncatula* et le parasite comme le montrent les résultats que Gasnier *et al.* (2000) ont obtenus en utilisant un isolat espagnol de *F. hepatica* pour parasiter des limnées françaises. Mais ce dernier résultat doit être vérifié avec une autre combinaison entre les miracidiums égyptiens de *F. gigantica* et les *G. truncatula* du même pays.

La prévalence de l'infestation expérimentale et la charge rédienne la plus faible sont notées chez les limnées des groupes Madagascar. Devant ce résultat, il est logique de penser que les deux populations françaises de *G. truncatula* sont peu sensibles à l'isolat malgache des miracidiums de *F. gigantica*. Cette remarque s'appuie sur le fait que les *G. truncatula* ne vivent pas à Madagascar si bien que *R. natalensis* est la seule espèce existant dans ce pays (Stothard *et al.*, 2000) et est donc le seul hôte intermédiaire pour *F. gigantica*.

Comme l'origine géographique du parasite a un effet significatif sur la longueur des rédies, quelle que soit leur catégorie d'appartenance, deux hypothèses peut-être complémentaires peuvent être émises pour expliquer ce résultat :

- La première s'appuie sur la sensibilité de *G. truncatula* à l'infestation expérimentale avec la souche de miracidiums. Comme les valeurs les plus élevées ont été obtenues avec l'isolat égyptien de *F. gigantica*, ceci permet d'affirmer qu'il existe une bonne compatibilité entre cet isolat et les deux populations françaises de *G. truncatula*. Cette compatibilité se traduirait par une croissance normale des rédies (de la souche égyptienne) lors de leur différenciation.

- La deuxième hypothèse tient compte de la charge rédienne globale. Un nombre élevé de rédies chez le mollusque hôte se traduirait par une diminution correspondante de leur longueur. C'est le cas des rédies R1a de la souche égyptienne chez les mollusques de Berneuil car la longueur moyenne de ces rédies au 49^e jour de l'infestation est réduite alors que la charge rédienne est élevée. Cependant, cette supposition ne peut s'appliquer à toutes les catégories.

A l'inverse de la longueur des rédies, l'origine du parasite n'a pas d'effet significatif sur la largeur de la lumière pharyngienne. Les deux hypothèses formulées ci-dessus ne peuvent donc pas s'appliquer dans ce cas et une autre explication doit être proposée. A notre avis, la plus valide serait d'admettre que la croissance en largeur de la lumière pharyngienne serait indépendante de celle des autres dimensions corporelles pour les rédies si bien qu'il n'y aurait qu'une relation indirecte entre le premier paramètre et la longueur du corps rédien.

Dans ces conditions, l'élargissement de la lumière pharyngienne se ferait directement en liaison avec le développement de la limnée (tant sur le plan de la hauteur que de son volume) et, par suite, de l'espace interne offert par le mollusque pour la différenciation des rédies. Si l'on considère cette dernière hypothèse comme valide, il est nécessaire de remarquer que ceci se produirait dans toutes les groupes expérimentaux, quelle que soit l'origine de l'isolat des miracidiums utilisés.

PRODUCTIVITE LARVAIRE CHEZ LES REDIES DE *Fasciola gigantica*

Par productivité cercarienne, nous considérons la quantité de morulas qui sont susceptibles de se différencier en cercaires. Ce paramètre ne correspond donc pas au nombre de cercaires que le mollusque peut produire, ni à celle des rédies, mais plutôt à une estimation globale du nombre de morulas qui peuvent se développer en cercaires dans un temps donné.

Le développement des masses germinatives intra-rédiennes de *F. gigantica* a déjà été étudié par Dinnik et Dinnik (1956) chez *R. natalensis* mais la productivité de chaque catégorie rédienne n'a pas été précisée. Comme la croissance des rédies est influencée par l'origine du parasite et l'espèce du mollusque hôte (troisième chapitre), il nous a paru utile de déterminer la dynamique des masses germinatives intra-rédiennes à l'intérieur des limnées en tenant compte des deux facteurs précités.

Les deux premiers paragraphes présentent les buts de l'étude, et le matériel et méthodes. Les résultats des deux expériences sont fournis dans les troisième et quatrième subdivisions. Enfin, le dernier paragraphe regroupe le commentaire des résultats par rapport à la littérature parue sur la question.

Les résultats présentés dans ce chapitre ont fait l'objet de deux publications (Dar *et al.*, 2002, 2003c).

I. BUTS DE L'ÉTUDE.

Ils complètent ceux que nous avons déjà développés dans le chapitre troisième. Ils sont au nombre de deux :

- 1) Déterminer la productivité larvaire des rédies de *F. gigantica* chez les deux limnées, à savoir *G. truncatula* et *R. natalensis*.

Etape	Méthode de calcul
1	<p>- Détermination, pour chaque rédie, du nombre des morulas et des embryons susceptibles de se différencier en cercaires.</p> <p>C'est la différence entre deux chiffres : $N1 - N2$, N1 = nombre des morulas et des embryons dans les rédies les plus jeunes de chaque catégorie. C'est là où le nombre de morula est le plus élevé.</p> <p>N2 = nombre total de masses germinatives restant dans les rédies les plus âgées (ce sont les plus longues). Ce chiffre comprend aussi les morulas qui se sont différenciées en rédies filles.</p>
2	<p>- Calcul du nombre total de morulas susceptibles de se différencier en cercaires pour chaque catégorie rédienne (R1a, R1b et R2a)*.</p> <p>Ce chiffre correspond à la multiplication de la différence ($N1 - N2$) par le nombre total de rédies indépendantes et en vie contenues dans le mollusque.</p>
3	<p>- Estimation du nombre de cercaires fournies par les trois catégories rédiennes.</p> <p>Les chiffres provenant des trois catégories (donc trois valeurs) sont additionnés afin de déterminer le nombre global de cercaires susceptibles d'être formées et de les exprimer ensuite sous forme de pourcentages.</p>

* La productivité cercarienne des rédies R2b/R3a n'a été pas déterminée car le contenu de ces larves est encore en cours de développement.

Tableau XXXIII.

Les étapes pour calculer la productivité cercarienne des rédies R1a, R1b et R2a de *Fasciola gigantica* chez les mollusques hôtes.

- 2) Etudier le développement des masses germinatives à l'intérieur des rédies de *F. gigantea* chez deux populations de *G. truncatula* infestées par l'un ou l'autre de trois isolats de miracidiums différant par leur origine géographique.

II. MATERIEL ET METHODES.

A. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL.

Celui-ci a déjà été détaillé dans le troisième chapitre (page 66). La première expérience porte sur la productivité larvaire des rédies de *F. gigantea* par rapport à l'espèce du mollusque hôte : *G. truncatula* ou *R. natalensis*. La deuxième traite du même processus chez des *G. truncatula* infestés par des isolats de *F. gigantea* différant par leur origine géographique (Chine, Egypte ou Madagascar).

Comme le but des investigations dans ce chapitre est l'étude des masses germinatives intra-rédiennes et la détermination de la productivité cercarienne pour chaque catégorie rédienne, les comptages ont été effectués sur les rédies indépendantes et en vie. L'effectif de ces dernières larves a déjà été fourni sur le tableau XV, page 68 pour la première expérience, et en bas de la page 80 pour la deuxième.

L'identification des masses germinatives a été réalisée à la suite de l'étape morphométrique. Il s'agit des morulas, des embryons, des rédies filles, des procercaires et des cercaires. La description de ces différentes masses germinatives a déjà été fournie dans le premier chapitre (page 27).

B. PARAMETRES UTILISES.

Les nombres des différentes masses germinatives ont été déterminés en tenant compte de la date de sacrifice des limnées et de la catégorie rédienne (R1a, R1b, R2a ou R2b/R3a).

Le tableau XXXIII montre les étapes pour déterminer la productivité larvaire pour chaque catégorie rédienne. Sur ce tableau, la productivité de chaque rédie a été calculée, dans un premier temps, en établissant la différence entre le nombre maximal de morulas dans les rédies les plus jeunes et l'effectif des masses germinatives (morulas, embryons) qui restent dans les rédies les plus longues au 49^e jour de l'expérience. Ce chiffre est, ensuite, multiplié par le nombre moyen des rédies indépendantes et en vie pour chaque catégorie au 49^e jour afin d'établir le nombre total de masses germinatives qui sont susceptibles de se différencier

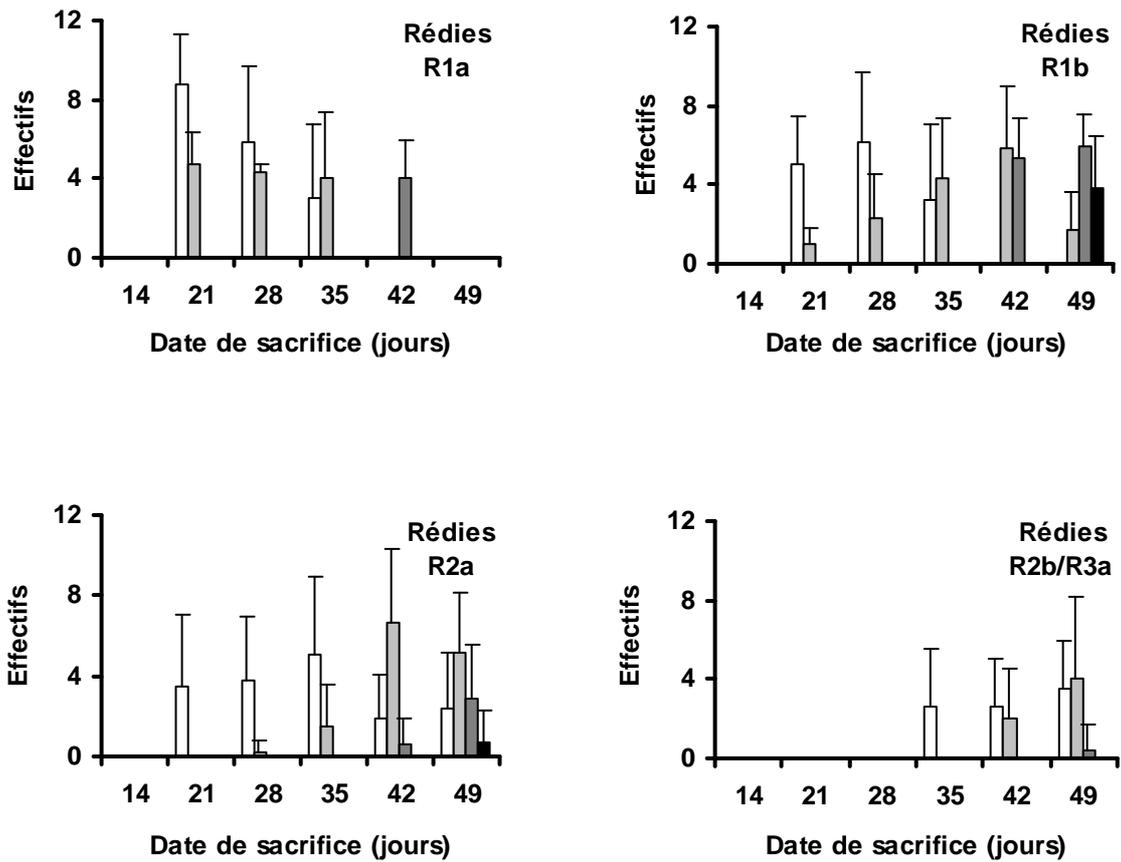


Figure 31.
Variations numériques des masses germinatives chez les réديات de *Fasciola gigantica* se développant dans *Radix natalensis* par rapport à la durée de l'infestation.

Morula
 Embryon
 Procercaire
 Cercaire

en cercaires pour chaque catégorie. Enfin, les productivités cercariennes des trois catégories rédiennes sont totalisées et exprimées sous forme de pourcentages afin de connaître la part de chaque catégorie.

C. TESTS STATISTIQUES.

Le premier est le test des coefficients de corrélation de Spearman afin de déterminer l'évolution numérique des stades larvaires partout dans l'expérience.

Le deuxième test est une analyse de variance à trois facteurs (Stat-Itcf, 1988) afin de confronter les valeurs moyennes notées pour les masses germinatives au cours de l'expérience en tenant compte de la date de sacrifice et de la catégorie rédienne (R1a, R1b, R2a ou R2b/R3a).

III. PRODUCTIVITÉ LARVAIRE DES RÉDIÉS DE *Fasciola gigantica* CHEZ LES DEUX LIMNÉES.

A. DÉVELOPPEMENT DES MASSES GERMINATIVES INTRA-RÉDIENNES.

1. Cas de *Radix natalensis*.

La figure 31 montre les variations numériques de ces masses germinatives par rapport à la durée de l'expérience et à la catégorie rédienne. La lecture de cette illustration permet les remarques suivantes :

- Le nombre moyen des morulas diminue au cours de l'infestation du mollusque dans les rédiés R1a, R1b et R2a alors que celui noté dans les rédiés R2b/R3a augmente avec le temps. A l'exception des rédiés R1a, des corrélations significatives entre ces paramètres ont été trouvées comme le montre le tableau suivant :

Relations entre le nombre total de morulas et la durée de l'expérience

Rédiés	r	Probabilité P
R1a	-0,148	NS
R1b	-0,523	$P < 0,1 \%$
R2a	-0,283	$P < 0,1 \%$
R2b/R3a	0,183	$P < 5 \%$

Abréviations : NS (non significatif). r (coefficient de corrélation).

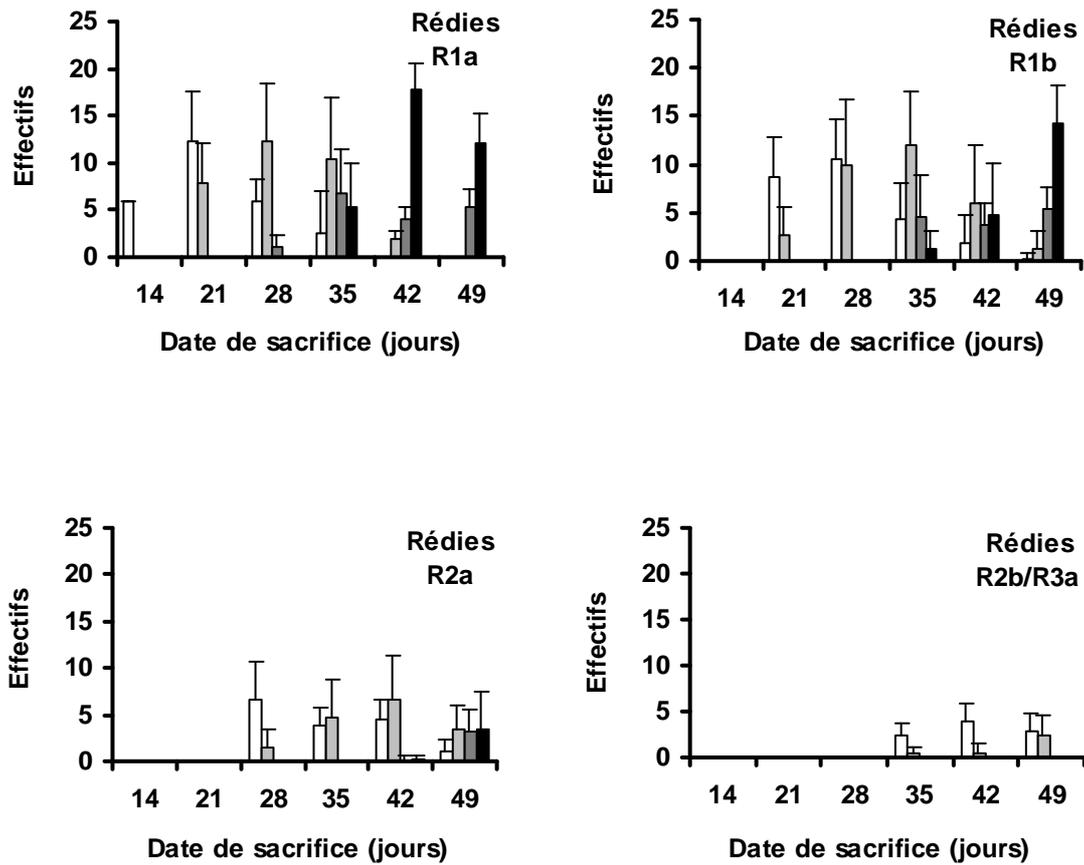


Figure 32.
Variations numériques des masses germinatives chez les réديات de *Fasciola gigantica* se développant dans *Galba truncatula* (population de Berneuil) par rapport à la durée de l'infestation.

Morula
 Embryon
 Procercaire
 Cercaire

- Chez les rédies R1b et R2a, le nombre des embryons s'accroît dans le temps jusqu'à un pic au 42^e jour, avant de chuter au 49^e jour. Les moyennes au 42^e jour sont alors de 5,8 et de 6,6 embryons par ordre respectif. Par contre, chez les rédies R2b/R3a, l'effectif augmente à partir du 42^e jour.

- Les procercaires et les cercaires ne sont présentes qu'au 42^e jour d'infestation dans les catégories R1a, R1b et R2a. Ce sont les rédies R1b qui ont les moyennes les plus importantes au 49^e jour, avec 5,9 procercaires et 3,8 cercaires par rédie.

Les rédies filles (résultats non représentés sur la fig. 31) sont présentes dans les rédies R1a à partir au 21^e jour (à 2,3 larves par rédie) et dans les R1b au 28^e jour de l'expérience (à 0,5 / rédie). Si l'on considère, par exemple, la catégorie R1a, la moyenne au 35^e jour est de 4 larves par rédie parentale avant la sortie de ces rédies filles au 42^e jour.

2. Cas de *Galba truncatula*.

La figure 32 présente les variations quantitatives du contenu rédien au cours de l'infestation parasitaire chez cette limnée. Sur les quatre graphes de cette illustration, on peut constater les points suivants :

- L'effectif total des morulas dans les rédies R1a et R1b passe respectivement par un maximum au 21^e et au 28^e jour avant de diminuer jusqu'au 49^e jour. Dans le cas des rédies R1a, la moyenne au 21^e jour est de 12,3 morulas par rédie alors que, dans les rédies R1b, elle est de 10,5 morulas au 28^e jour. Chez les rédies R2a, le nombre des morulas diminue avec le temps à partir du 28^e jusqu'au 49^e jour.

- A l'exception de la catégorie R2b/R3a, les corrélations entre les rédies R1a, R1b, R2a, et la durée de l'infestation sont toutes significatives, comme on peut le constater sur le tableau ci-après :

Rédies	<i>r</i>	Probabilité <i>P</i>
R1a	-0,718	<i>P</i> < 0,1 %
R1b	-0,699	<i>P</i> < 0,1 %
R2a	-0,485	<i>P</i> < 0,1 %
R2b/R3a	-0,127	NS

Abréviations : NS (non significatif). *r* (coefficient de corrélation).

Masses germinatives intra-rédiennes	Facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur de rapport <i>F</i>	Signification
Morulas	Espèce du mollusque	1/1173	21,89	$P < 0,1 \%$
	Catégorie rédienne	3/1173	12,75	$P < 0,1 \%$
	Durée de l'infestation	1/1173	115,65	$P < 0,1 \%$
Embryons	Espèce du mollusque	1/1173	18,26	$P < 0,1 \%$
	Catégorie rédienne	3/1173	24,49	$P < 0,1 \%$
	Durée de l'infestation	1/1137	2,58	NS
Rédies filles	Espèce du mollusque	1/1173	1,0	NS
	Catégorie rédienne	3/1173	58,36	$P < 0,1 \%$
	Durée de l'infestation	1/1173	33,84	$P < 0,1 \%$
Procercaires	Espèce du mollusque	1/1173	0,78	NS
	Catégorie rédienne	3/1173	9,84	$P < 0,1 \%$
	Durée de l'infestation	1/1173	161,70	$P < 0,1 \%$
Cercaires	Espèce du mollusque	1/1173	45,57	$P < 0,1 \%$
	Catégorie rédienne	3/1173	24,99	$P < 0,1 \%$
	Durée de l'infestation	1/1173	210,42	$P < 0,1 \%$

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). NS (non significatif).
P (probabilité au seuil de).

Tableau XXXIV.

Les effets de trois facteurs sur les masses germinatives intra-rédiennes de *Fasciola gigantica* chez les deux espèces de limnées au cours de l'expérience.

Les interactions entre ces trois facteurs se retrouvent sur le tableau XLXIV dans la première annexe, page 223.

Masses germinatives intra-rédiennes	Entre les catégories rédiennes	Différence moyenne	Différence critique	Signification
Morulas	R1a, R1b	0,52	0,95	NS
	R1a, R2a	0,76	0,90	NS
	R1a, R2b/R3a	1,02	0,94	$P < 5 \%$
	R1b, R2a	0,24	0,44	NS
	R1b, R2b/R3a	0,49	0,52	NS
	R2a, R2b/R3a	0,26	0,42	NS
Embryons	R1a, R1b	-0,54	1,31	NS
	R1a, R2a	0,14	1,23	NS
	R1a, R2b/R3a	1,78	1,29	$P < 1 \%$
	R1b, R2a	0,67	0,61	$P < 5 \%$
	R1b, R2b/R3a	2,32	0,72	$P < 0,1 \%$
	R2a, R2b/R3a	1,65	0,58	$P < 0,1 \%$
Rédies filles	R1a, R1b	1,32	0,17	$P < 0,1 \%$
	R1a, R2a	1,62	0,16	$P < 0,1 \%$
	R1a, R2b/R3a	1,65	0,17	$P < 0,1 \%$
	R1b, R2a	0,30	0,08	$P < 0,1 \%$
	R1b, R2b/R3a	0,33	0,09	$P < 0,1 \%$
	R2a, R2b/R3a	0,02	0,07	NS
Procercaires	R1a, R1b	-0,99	0,59	$P < 1 \%$
	R1a, R2a	0,69	0,56	$P < 5 \%$
	R1a, R2b/R3a	1,76	0,59	$P < 0,1 \%$
	R1b, R2a	1,69	0,28	$P < 0,1 \%$
	R1b, R2b/R3a	2,75	0,33	$P < 0,1 \%$
	R2a, R2b/R3a	1,06	0,26	$P < 0,1 \%$
Cercaires	R1a, R1b	0,18	0,68	NS
	R1a, R2a	2,61	0,65	$P < 0,1 \%$
	R1a, R2b/R3a	3,23	0,68	$P < 0,1 \%$
	R1b, R2a	2,43	0,32	$P < 0,1 \%$
	R1b, R2b/R3a	3,06	0,37	$P < 0,1 \%$
	R2a, R2b/R3a	0,63	0,30	$P < 0,1 \%$

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).

Tableau XXXV.
Les résultats des tests PLSD de Fisher sur l'influence de la catégorie rédienne sur les effectifs des masses germinatives de *Fasciola gigantica*.

- Des remarques identiques ont été notées pour les embryons. Leurs moyennes passent également par des pics au 28^e jour pour les rédies R1a (à 12,3 embryons par rédie), au 35^e jour pour les R1b (à 11,9 par rédie) et au 42^e jour pour les R2a (à 6,6 par rédie).

- Les stades procercaire et cercaire ont été observés à partir du 35^e jour d'expérience chez les rédies R1a et R1b, et à compter du 42^e jour chez les R2a. Les moyennes les plus élevées : 5,4 procercaires et 14,3 cercaires, ont été notées chez les rédies R1b au 49^e jour d'infestation.

Les rédies filles (résultats non représentés sur la fig. 32) commencent à se différencier à partir du 21^e jour pour les rédies R1a et du 28^e pour les R1b. Dans le cas de la première catégorie, le nombre des rédies filles est de 2,8 par rédie au 21^e jour alors que, chez les R1b, l'effectif est assez faible au 28^e jour (< 1 larve / rédie).

3. **Interprétation statistique.**

Une analyse de variance à trois facteurs, à savoir l'espèce du mollusque, la catégorie rédienne et la durée de l'infestation, a été réalisée, pour chaque type de masse germinative, afin d'étudier l'influence de ces trois facteurs sur les effectifs de ces masses au cours de l'expérience.

Les résultats sont présentés sur le tableau XXXIV. La lecture de cette figure permet les remarques suivantes :

- L'espèce du mollusque a une influence significative sur les effectifs des morulas, des embryons et des cercaires.

- La catégorie rédienne a également un effet net sur les nombres de toutes les masses germinatives étudiées.

- Enfin, un effet significatif s'observe entre la durée de l'infestation et les moyennes des différentes masses germinatives, à l'exception des embryons.

Des tests PLSD de Fisher (Tableau XXXV) ont été utilisés pour déterminer quelles sont les catégories rédiennes qui sont à l'origine des différences significatives entre les effectifs des masses germinatives. L'examen de ce tableau montre que, pour les embryons, la différence significative est due aux rédies R2b/R3a. Les rédies R1a et R1b sont à l'origine des différences significatives entre les moyennes des rédies filles. Dans le cas des cercaires, l'effet significatif est dû aux rédies R2a et R2b/R3a car elles ont les moyennes les plus faibles.

B. PRODUCTIVITÉ CERCARIENNE.

Le tableau ci-dessous indique le nombre des morulas et des embryons qui peuvent se différencier théoriquement en cercaires dans chaque rédie indépendante par rapport à l'espèce de la limnée et à la catégorie d'appartenance.

Paramètres	Catégorie rédienne chez :					
	<i>Galba truncatula</i>			<i>Radix natalensis</i>		
	R1a	R1b	R2a	R1a	R1b	R2a
Nombre moyen des rédies au 49 ^e jour	1,3	7,8	22,5	1	9	40,7
N1 (Nombre moyen de morulas et d'embryons dans les rédies jeunes)	20,1	20,5	11	13,5	8,5	8,5
A (Nombres moyens de masses germinatives restant dans les rédies les plus âgées)	0	1,4	4,5	0	1,7	7,6
B (Nombre moyen de rédies filles produites)	2,6	0,3	0	8,3	2	0
N2 (A + B)	2,6	1,7	4,5	8,3	3,7	7,6
N1- N2	17,5	18,8	6,5	5,2	4,8	0,9
Nombre moyen de cercaires qui peuvent être produites par chaque catégorie	22,8	146,6	146,3	5,2	43,2	36,6
Nombre total de cercaires par mollusque	315,7			85		
Pourcentage de cercaires	7,3	46,4	46,3	6	51	43

Sur ce tableau, on peut remarquer les points suivants :

- Au 49^e jour d'expérience, la production de la catégorie R1a ne dépasse pas 7,3 % des cercaires produites par l'ensemble des rédies chez les deux limnées.

- La plupart des cercaires provient des rédies R1b et des R2a chez les *G. truncatula* car elles produisent respectivement 46,4 % et 46,3 % des cercaires.

- Dans le cas de *R. natalensis*, 51 % des cercaires proviennent de la catégorie R1b alors que 43 % des morulas peuvent se différencier en cercaires chez les rédies R2a.

- Le nombre théorique des morulas et des embryons capables de se développer en cercaires est plus élevé chez *G. truncatula* que chez *R. natalensis* (315,7 larves au total par limnée au lieu de 85).

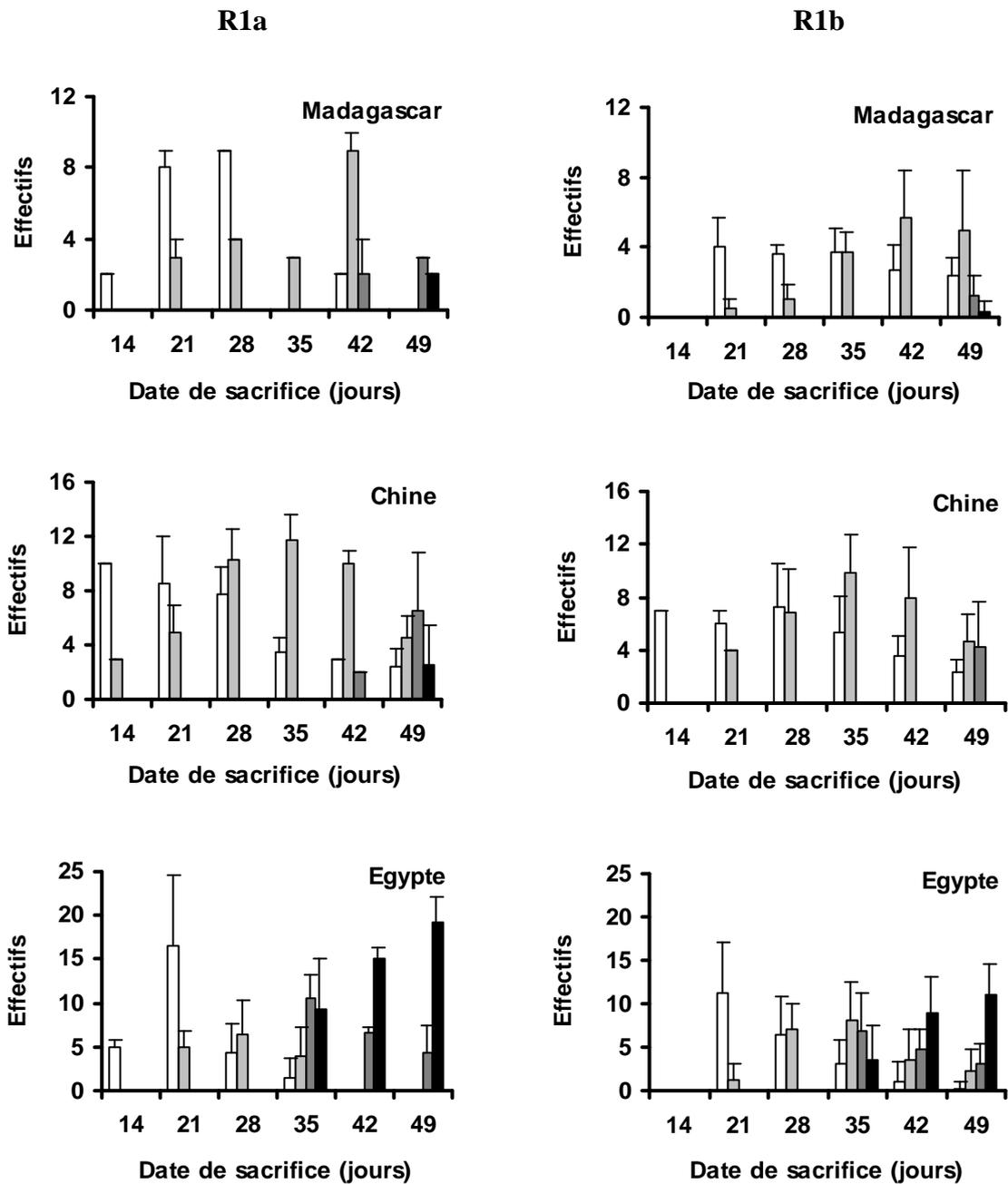


Figure 33.

Variations numériques des masses germinatives chez les rédies R1a et R1b de *Fasciola gigantica* se développant dans *Galba truncatula* (population de **Courcelles**) par rapport à la durée de l'infestation.

□ Morula ◐ Embryon ◑ Procercaire ■ Cercaire

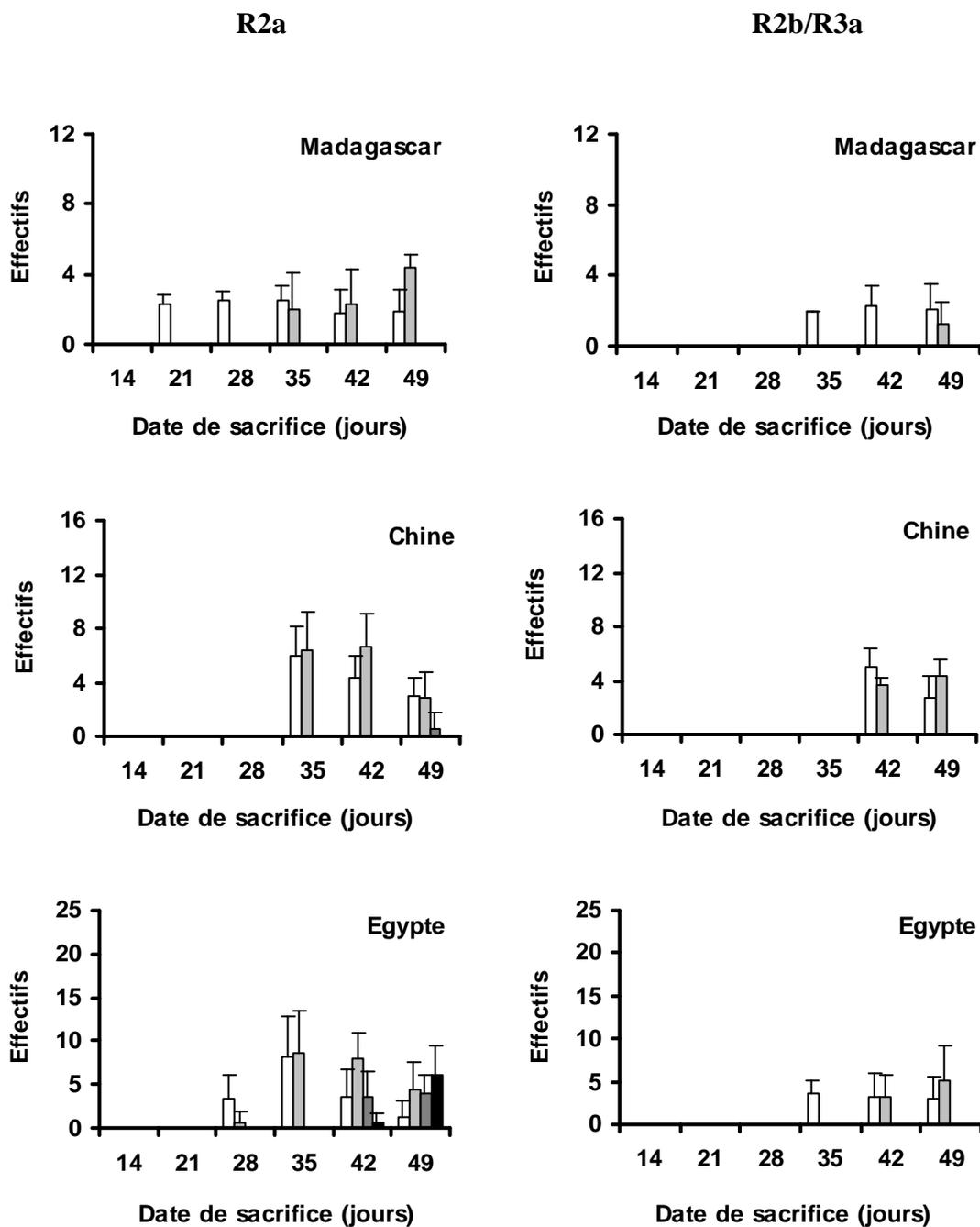


Figure 34.

Variations numériques des masses germinatives chez les rédies R2a et R2b/R3a de *Fasciola gigantica* se développant dans *Galba truncatula* (population de **Courcelles**) par rapport à la durée de l'infestation.

Morula
 Embryon
 Procercaire
 Cercaire

IV. PRODUCTIVITÉ LARVAIRE DES RÉDIÉS DE *Fasciola gigantica* CHEZ *Galba truncatula* EN FONCTION DE L'ORIGINE GÉOGRAPHIQUE DES MIRACIDIUMS.

A. DÉVELOPPEMENT DES MASSES GERMINATIVES INTRA-REDIENNES.

Cette étude a été réalisée chez deux populations de mollusques, provenant de Courcelles et de Berneuil.

1. Cas des limnées de Courcelles.

Les figures 33 et 34 présentent l'évolution numérique des masses germinatives pour toutes les catégories rédiennes par rapport à l'origine des isolats au cours de l'infestation

La lecture de ces graphes montre les points suivants :

- Chez les rédiés R1a des isolats malgache et égyptien, les nombres de morulas présentent respectivement des pics au 28^e jour ou au 21^e jour avant de diminuer jusqu'au 49^e jour. Dans le cas du groupe Chine, l'effectif de ces masses, dans les R1a, diminue progressivement lorsque la durée de l'infestation augmente. Si l'on considère les R1b et les R2a, on constate que le nombre de ces morulas chute dans le temps, aussi bien pour les R1b des trois isolats que pour les R2a des lots Chine et Egypte. Chez les R2b/R3a, on retrouve cette diminution numérique, quel que soit l'isolat des miracidiums utilisés.

- Le nombre moyen des embryons s'accroît dans le temps jusqu'à un maximum et chute par la suite chez les rédiés R1a et R1b, quelle que soit l'origine des miracidiums. Si l'on considère le groupe Chine, par exemple, des pics ont été notés au 35^e jour dans les catégories R1a (à 11,8 embryons par rédie) et R1b (à 9,9 / rédie). Dans le cas des R2a, le développement des embryons varie selon les lots. Si leur nombre augmente dans le groupe Madagascar, les effectifs de ces masses diminuent, par contre, dans le cas des deux autres isolats. Chez les rédiés R2b/R3a, les embryons ne sont trouvés dans le lot Madagascar qu'au 49^e jour alors que ces masses s'observent au 42^e jour dans les deux autres groupes.

- Chez les R1a et les R1b, les procercaires et les cercaires apparaissent au 35^e jour dans le lot Egypte. Par contre, dans les groupes Chine et Madagascar, les premières masses s'observent à partir de 42^e jour et les cercaires au 49^e jour (dans le lot Madagascar). Les procercaires sont présentes avec les cercaires chez les rédiés R2a à partir du 42^e jour dans le cas de la souche égyptienne alors qu'elles ne s'observent qu'au 49^e jour dans le groupe Chine.

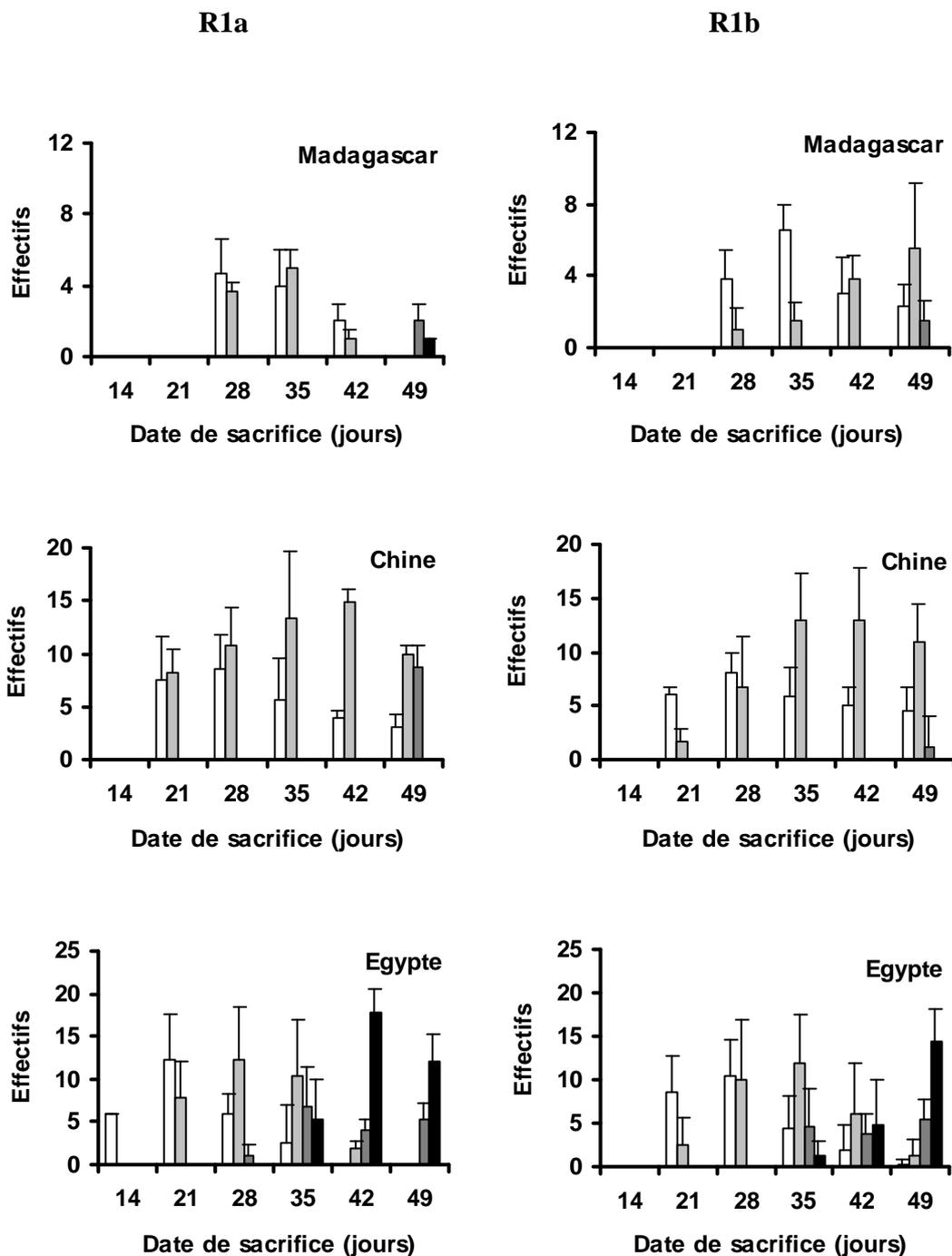


Figure 35.

Variations numériques des masses germinatives chez les rédies R1a et R1b de *Fasciola gigantica* se développant dans *Galba truncatula* (population de **Berneuil**) par rapport à la durée de l'infestation.

Morula
 Embryon
 Procercaire
 Cercaire

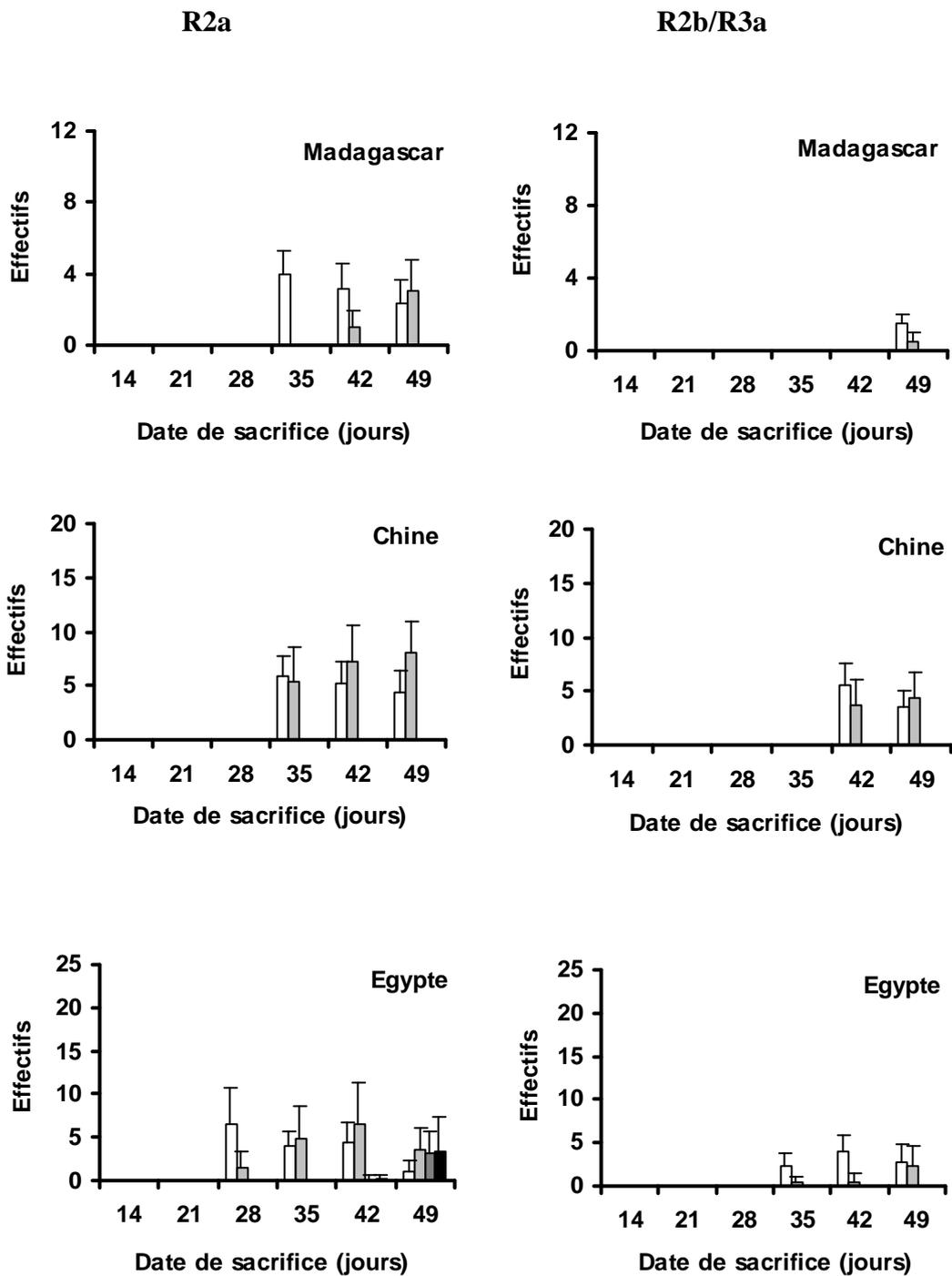


Figure 36.
Variations numériques des masses germinatives chez les rédies R2a
R2b/R3a de *Fasciola gigantica* se développant dans *Galba truncatula*
(population de **Berneuil**) par rapport à la durée de l'infestation.

Morula
 Embryon
 Procercaire
 Cercaire

Chez les trois isolats de *F. gigantea*, les rédies filles (résultats non présentés sur les figures 33 et 34) ont été observées chez les R1a, R1b et R2a. Chez les premières rédies, les valeurs maximales sont de 7 larves en moyenne au 28^e jour dans le lot Madagascar, de 6,5 pour la même date dans le groupe Egypte, et de 11,8 au 35^e jour dans le lot Chine. Chez les R1b, les pics ont été notés au 35^e jour dans les groupes Chine et Egypte (  9,9 et 8,2 / rédie par ordre respectif), et au 42^e jour dans le cas du lot Madagascar (  5,7 / rédie). Chez les R2a, les rédies filles n'ont été trouvées qu'au 42^e et au 49^e jour dans le groupe Egypte, avec des moyennes assez faibles (0,1 / rédie pour chaque date).

2. Cas des limnées de Berneuil.

Les figures 35 et 36 présentent les moyennes et les écarts types correspondants pour les nombres de masses germinatives dans les rédies de *F. gigantea* par rapport à l'origine des miracidiums et à la durée de l'infestation.

Chez les rédies R1a, R1b et R2a, les morulas présentent une diminution progressive de leurs nombre avec la durée de l'expérience, quelle que soit l'origine géographique des miracidiums utilisés pour l'infestation.

Chez les rédies R1a, les moyennes des embryons passent par des maxima avant de chuter par la suite. Ces pics s'observent au 28^e jour dans le groupe Egypte (  12,3 / rédie), au 35^e jour dans le lot Madagascar (  5 / rédie) et au 42^e jour chez le dernier (  14,8 / rédie). Une remarque identique peut être notée pour les R1b des deux groupes Chine et Egypte : les pics se trouvent respectivement au 42^e jour (  14,8 embryons / rédie) et au 35^e jour (  11,9 / rédie). Le nombre des embryons chez les R2a présente un pic au 42^e jour (  6,6 / rédie) dans le lot Egypte alors qu'il augmente progressivement dans les deux autres groupes.

Des procercaires ont été trouvées à partir du 28^e jour chez les rédies R1a et à compter du 35^e jour chez les R1b dans le groupe Egypte alors qu'elles ne s'observent qu'au 49^e jour chez les limnées infestées par les isolats malgache ou chinois. Chez les rédies R2a, ces masses sont trouvées au 42^e jour dans le lot Egypte.

Dans le groupe Egypte, les cercaires s'observent à partir du 35^e jour chez les rédies R1a et R1b, et à compter du 42^e jour chez les R2a. Les moyennes sont respectivement de 12,0, de 14,3 et de 3,4 cercaires dans les trois catégories rédiennes au 49^e jour. Les mollusques infestés par l'isolat chinois n'ont pas présenté de cercaires au cours de l'expérience. Par contre, quelques larves s'observent au 49^e jour chez les R1a du lot Madagascar.

Masses germinatives intra-rédiennes	Facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur de rapport <i>F</i>	Signification
Morulas	Origine du parasite	2/1556	7,22	$P < 0,1 \%$
	Catégorie rédienne	3/1556	2,978	$P < 5 \%$
	Durée de l'infestation	1/1556	81,74	$P < 0,1 \%$
Embryons	Origine du parasite	2/1556	4,58	$P < 1 \%$
	Catégorie rédienne	3/1556	0,78	NS
	Durée de l'infestation	1/1556	0,49	NS
Rédie filles	Origine du parasite	2/1556	1,88	NS
	Catégorie rédienne	3/1556	16,39	$P < 0,1 \%$
	Durée de l'infestation	1/1556	6,41	NS
Procercaires	Origine du parasite	2/1556	2,09	NS
	Catégorie rédienne	3/1556	0,56	NS
	Durée de l'infestation	1/1556	41,22	$P < 0,1 \%$
Cercaires	Origine du parasite	2/1556	21,68	$P < 0,1 \%$
	Catégorie rédienne	3/1556	1,87	NS
	Durée de l'infestation	1/1556	50,07	$P < 0,1 \%$

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). NS (non significatif).
P (probabilité au seuil de).

Tableau XXXVI.

Les effets de trois facteurs sur les masses germinatives intra-rédiennes de *Fasciola gigantica* au cours de l'infestation.

Les interactions entre ces trois facteurs se retrouvent sur le tableau XLXV dans la première annexe, page 224.

Masses germinatives intra-rédiennes	Entre les origines du parasite	Différence moyenne	Différence critique	Signification
Morulas	Chine, Egypte	0,928	0,348	$P < 0,1 \%$
	Chine, Madagascar	1,891	0,537	$P < 0,1 \%$
	Egypte, Madagascar	0,963	0,486	$P < 0,1 \%$
Embryons	Chine, Egypte	1,749	0,498	$P < 0,1 \%$
	Chine, Madagascar	4,376	0,770	$P < 0,1 \%$
	Egypte, Madagascar	2,626	0,696	$P < 0,1 \%$
Cercaires	Chine, Egypte	-2,399	0,276	$P < 1 \%$
	Chine, Madagascar	-0,014	0,426	NS
	Egypte, Madagascar	2,384	0,385	$P < 0,1 \%$

Masses germinatives intra-rédiennes	Entre les catégories rédiennes	Différence moyenne	Différence critique	Signification
Morulas	R1a, R1b	0,786	0,629	$P < 5 \%$
	R1a, R2a	1,247	0,602	$P < 0,1 \%$
	R1a, R2b/R3a	2,040	0,695	$P < 0,1 \%$
	R1b, R2a	0,461	0,345	$P < 1 \%$
	R1b, R2b/R3a	1,254	0,490	$P < 0,1 \%$
	R2a, R2b/R3a	0,793	0,454	$P < 0,1 \%$
Rédie filles	R1a, R1b	1,222	0,140	$P < 0,1 \%$
	R1a, R2a	1,386	0,134	$P < 0,1 \%$
	R1a, R2b/R3a	1,398	0,155	$P < 0,1 \%$
	R1b, R2a	0,165	0,077	$P < 0,1 \%$
	R1b, R2b/R3a	0,176	0,109	$P < 1 \%$
	R2a, R2b/R3a	0,012	0,101	NS

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).

Tableau XXXVII.

Les résultats des tests PLSD de Fisher sur l'influence de la catégorie rédienne et de l'origine du parasite sur les nombres des masses germinatives de *Fasciola gigantica*.

Chez les rédies R1a (résultats non présentés), des rédies filles ont été notées au 28^e jour d'expérience chez le groupe Madagascar et leur nombre augmente jusqu'au 42^e jour (à 3 larves / rédie). Les valeurs maximales sont de 3,4 / rédie au 42^e jour chez les R1a dans le lot Chine et de 2,8 / rédie au 21^e jour dans le groupe Egypte. Chez les R1b, ces larves ont des moyennes assez faibles, quel que soit l'isolat du parasite. Les rédies filles ont été observées dans quelques rédies R2a du groupe Egypte à partir du 42^e jour (à 0,1 rédie fille en moyenne par rédie parentale et par date de sacrifice).

3. **Interprétation statistique.**

Elle a été réalisée à l'aide d'analyses de variance à trois facteurs : l'origine du parasite, la catégorie rédienne et la durée de l'infestation. Les résultats sont indiqués sur le tableau XXXVI.

La lecture de ce tableau montre :

- que l'origine du parasite a un effet significatif au cours de l'infestation sur les masses germinatives suivantes : morulas, embryons et cercaires. Aucune action nette n'a été relevée pour les rédies filles et les procercaires.

- qu'il existe aussi des relations significatives entre la durée de l'infestation d'une part, et les effectifs des morulas, des procercaires et des cercaires d'autre part.

- que la catégorie rédienne n'a un effet significatif que sur les effectifs de morulas et ceux des rédies filles.

Deux tests PLSD de Fisher ont été réalisés afin de dégager les origines du parasite ou les catégories rédiennes pour lesquelles on note un effet significatif. Les données fournies par ces tests sont présentées sur le tableau XXXVII :

- 1) Le premier test porte sur l'origine du parasite. Les trois isolats du parasite diffèrent entre eux quant au nombre des morulas et à l'effectif des embryons. Par contre, c'est la souche égyptienne des miracidiums qui a un effet marqué sur le nombre des cercaires (tableau situé en haut).

- 2) Le deuxième test concerne les catégories rédiennes. L'effet significatif de ce facteur concerne toutes les catégories rédiennes dans le cas des morulas. Dans le cas des rédies filles, ce sont les rédies R1a et les R1b qui ont un effet significatif sur ce type de masse germinative (tableau situé en bas).

Paramètres		Origine de <i>Fasciola gigantica</i>													
		Madagascar				Chine				Egypte					
		Courcelles		Berneuil		Courcelles		Berneuil		Courcelles			Berneuil		
R1a	R1	R1a	R1b	R1a	R1b	R1a	R1b	R1a	R1b	R1a	R1b	R1a	R1b	R2a	R2a
Nombre moyen des rédies au 49 ^e jour	0,5	4,5	1,0	7,0	1,3	5,3	12,3	1	5,3	1,3	7,5	15,5	1,3	7,8	22,5
N1 (Nombre moyen de morulas et d'embryons dans les rédies jeunes)	13,0	8,4	8,4	8,1	15,0	11,5	12,3	19,0	18,7	10,8	13,6	16,9	20,1	20,5	11
A (Nombre moyen de masses germinatives restant dans les rédies les plus âgées)	0	7,3	0	7,8	7,0	7,0	5,9	13,0	15,4	0	2,5	5,6	0	1,4	4,5
B (Nombre moyen de rédies filles produites)	6,0	0	5,0	0	0	0,3	0	3,4	1,8	5,4	0,5	0,2	2,6	0,3	0
N2 (A + B)	6,0	7,3	5,0	7,8	7,0	7,3	5,9	16,4	17,2	5,4	3,0	5,8	2,6	1,7	4,5
N1- N2	7,0	1,1	3,4	0,3	8,0	4,2	6,4	2,6	1,5	5,4	10,6	11,1	17,5	18,8	6,5
Nombre moyen de cercaires qui peuvent être produites par chaque catégorie	3,5	4,9	3,4	2,1	10,4	22,3	78,7	2,6	7,9	7,0	79,5	172,1	22,8	146,6	146,3
Nombre total de cercaires par mollusque	8,4		5,5		111,4			10,5			258,6			315,7	
Pourcentage de cercaires	41,5	58,5	61,8	38,2	9,4	20	70,6	25	75	2,7	30,7	66,6	7,3	46,4	46,3

Tableau XXXVIII.

Les nombres des morulas et des embryons qui peuvent se différencier en cercaires dans les rédies de *Fasciola gigantica* au 49^e jour pour les deux populations de *Galba truncatula* par rapport à l'origine géographique du parasite.

B. PRODUCTIVITÉ CERCARIENNE.

Le tableau XXXVIII montre les nombres théoriques de morulas qui se différencient en cercaires par rapport à l'origine du parasite et à la catégorie rédienne. La lecture de ces données permet d'émettre les commentaires suivants :

- Au 49^e jour d'expérience, la plupart des cercaires de *F. gigantea*, dans les groupes Madagascar, provient des rédies R1a et R1b. Dans le cas des limnées de Courcelles, par exemple, les deux catégories forment 41,5 et 58,5 % des cercaires par ordre respectif.

- Un résultat similaire se retrouve chez les limnées de Berneuil, infestées par l'isolat chinois. Chez ces dernières, les rédies R1a produisent 25 % des cercaires alors que les R1b en forment 75 %.

- Par contre, dans les autres groupes, ce sont les catégories R1b et R2a qui produisent le plus grand nombre de cercaires. A titre d'exemple, dans les lots Egypte, 30,7 à 46,4 % des cercaires proviennent des rédies R1b alors que les R2a produisent plus de 46,3 % des cercaires.

V. SYNTHÈSE.

A. PRODUCTIVITÉ LARVAIRE DES RÉDIES CHEZ LES DEUX LIMNÉES.

Le nombre des morulas contenues dans les rédies de *F. gigantea* décroît dans le temps. Cette diminution numérique s'accompagne d'un accroissement numérique des embryons. Ceux-ci vont se différencier en rédies filles ou en procercaires. Les rédies filles n'ont été observées que dans les catégories R1a et R1b à partir du 21^e jour de l'expérience. Les procercaires et, par suite, les cercaires sont présentes au 35^e jour dans les rédies R1a et R1b chez *G. truncatula* alors qu'elles apparaissent au 42^e jour dans les mêmes catégories chez *R. natalensis*.

L'espèce du mollusque a un effet significatif sur la distribution numérique des morulas, des embryons et des cercaires au cours de l'expérience. La catégorie rédienne a aussi un effet significatif sur les effectifs de toutes les masses germinatives étudiées, quel que soit leur type.

La productivité cercarienne est surtout le fait des rédies R1b et R2a. Le nombre de morulas capables de se différencier en cercaires est plus élevé chez *G. truncatula* que chez *R. natalensis* (un total de 315,7 cercaires par limnée au lieu de 85).

B. PRODUCTIVITÉ LARVAIRE DES RÉDIÉS EN FONCTION DE L'ORIGINE DU PARASITE.

Le nombre de morulas dans la plupart des rédiés diminue lorsque la durée de l'infestation augmente. Les effectifs des embryons passent par des pics mais les dates de ces derniers diffèrent selon la population du mollusque et l'isolat des miracidiums. Les nombres les plus élevés de rédiés filles ont été notés chez les rédiés R1a et R1b à partir du 21^e jour, quel que soit l'isolat utilisé. Des rédiés filles ont été décomptées, en plus, chez les rédiés R2a à partir du 42^e jour dans les seuls groupes Egypte. Les procercaires et les cercaires ne sont présentes que dans ces deux derniers lots, chez les rédiés R1a et R1b à partir du 35^e jour.

L'origine du parasite a un effet significatif sur le nombre des morulas, des embryons et des cercaires : les trois isolats de miracidiums diffèrent entre eux pour les effectifs des morulas et des embryons alors que c'est l'isolat égyptien qui a un effet marqué sur le nombre des cercaires. La catégorie rédienne a une influence significative sur les effectifs des morulas et des rédiés filles.

La plupart des cercaires de *F. gigantica* dans les deux groupes Madagascar et l'un des lots Chine (population de Berneuil) provient des rédiés R1a et R1b. Dans les cas des autres groupes, ce sont les rédiés R1b et R2a qui produisent le plus grand nombre de cercaires.

VI. DISCUSSION.

A. CONSIDERATIONS GÉNÉRALES SUR LE DÉVELOPPEMENT DU CONTENU INTRA-RÉDIEN CHEZ *Fasciola gigantica*.

Les masses germinatives intra-rédiennes présentent la même succession dans le temps, quelles que soient l'espèce du mollusque et l'origine du parasite. Plusieurs points de notre étude concordent avec les observations rapportées par Dinnik et Dinnik (1956) chez *R. natalensis* :

- Le nombre de morulas dans chaque rédie diminue lorsque la durée de l'infestation augmente.
- L'effectif des embryons s'accroît dans le temps jusqu'à un pic avant de chuter par la suite jusqu'au 49^e jour d'expérience.
- La plupart des rédiés filles s'observe dans les catégories R1a et R1b (rédiés de première génération).

- Le contenu des rédies R1a et R1b passe par deux phases successives de développement. Les rédies filles se différencient et sortent des rédies parentales avant la formation des cercaires.

- La sortie de la deuxième génération rédienne (correspondant aux R2a dans le cas de notre étude) s'effectue à partir du 21^e jour à 26° C. Dans notre groupe réalisé à 22°-25° C, la première rédie de la catégorie R2a devient indépendante au 21^e jour dans le cas des R1a parentales.

Pourtant, deux différences s'observent entre le rapport de Dinnik et Dinnik (1956) et nos propres résultats :

-1) La première porte sur la date d'apparition des cercaires dans les rédies parentales car Dinnik et Dinnik (1956) signalent que la différenciation de ces masses germinatives (à partir des embryons) s'effectue à compter du 29^e jour (à 26° C) alors que dans notre propre étude à 22°-25° C, le stade cercaire n'est pas visible avant le 49^e jour de l'infestation.

- 2) La deuxième différence est le nombre de procercaires par rédie. Dinnik et Dinnik (1956) ont décompté 3,6 procercaires par rédie de première génération au 45^e jour alors que celui, que nous avons noté dans cette étude au 42^e jour, est plus élevé (4 procercaires par rédie R1a et 5,3 par R1b).

A notre avis, ces deux discordances peuvent s'expliquer par la dose miracidienne utilisée dans chaque expérience : dans le cas de Dinnik et Dinnik (1956), la production larvaire de *F. gigantica* provient du développement d'un seul miracidium par mollusque alors que les limnées dans notre expérience ont été soumises à des expositions bimiracidienne individuelles. Un seul miracidium par mollusque conduirait à une charge rédienne plus faible et à une production de cercaires plus précoce que celles résultant d'une infestation avec deux miracidiums par limnée. Un argument confortant cette hypothèse provient des travaux de Dinnik et Dinnik (1956) comme le montre le tableau suivant pour la charge rédienne de *F. gigantica* en fonction du nombre de miracidiums :

Rédies indépendantes	Nombre de rédies de <i>F. gigantica</i> :	
	Un seul miracidium (au 47 ^e jour)	3, 4 ou 5 miracidiums (au 49 ^e jour)
Immatures	28	69
Avec des rédies filles	8	4
Avec des cercaires	125	226
Nombre total	161	299

B. DEVELOPPEMENT LARVAIRE PAR RAPPORT A L'ESPÈCE DU MOLLUSQUE.

Notre expérience montre que l'espèce de la limnée a un effet sur la productivité larvaire de *F. gigantica* chez l'hôte intermédiaire (elle est plus élevée au 49^e jour chez *R. natalensis* pour les rédies filles et plus importante chez *G. truncatula* dans le cas des cercaires). Ce résultat est difficile à comparer avec les autres données parues dans la littérature sur les hôtes intermédiaires infestés par *Fasciola* sp. car l'intensité du développement larvaire dépend de la sensibilité propre de la population du mollusque à un Digène d'une part, et de l'isolat des miracidiums utilisés pour cette infestation d'autre part (Boray, 1969). Dans ces conditions, la comparaison ne peut se faire qu'avec des limnées (d'espèces ou de populations différentes) qui ont la même sensibilité pour un parasite donné (*F. gigantica* dans ce cas).

L'influence de l'espèce de la limnée sur la productivité larvaire de *F. gigantica*, obtenue dans la présente étude, peut s'expliquer à partir des données fournies par Vignoles *et al.* (2002) sur les rédies de *F. hepatica* chez trois espèces de jeunes limnées. D'après ces auteurs, l'espèce du mollusque n'a pas seulement un effet sur la charge rédienne et la longueur des rédies, mais aussi sur leur productivité larvaire. Comme la croissance des *R. natalensis* avec le temps est plus importante que celle des *G. truncatula* (soit 22 mm en moyenne à l'état adulte pour la première limnée au lieu de 12 mm pour la seconde : Brown, 1994), les rédies parentales forment un grand nombre des rédies filles (voir le troisième chapitre, page 69) car il y a une corrélation positive entre la taille de mollusque et la production larvaire du Digène (Zischke, 1967 ; Rondelaud et Barthe, 1987a).

Le nombre théorique des cercaires chez *G. truncatula* est plus élevé que celui noté chez *R. natalensis* et ceci doit être rapporté à l'effectif des rédies indépendantes qui est plus faible chez la première limnée et plus élevé chez la seconde. En effet, d'après Kendall et Ollerenshaw (1963), une augmentation numérique des rédies de *F. hepatica* chez le mollusque hôte est souvent associée à une diminution dans le nombre des cercaires formées. Néanmoins, chez les deux limnées, les cercaires proviennent essentiellement des rédies R1b et R2a et le pourcentage des cercaires produit par chaque catégorie se situe dans le même ordre de grandeur. Ceci indique que ces deux catégories rédiennes jouent un rôle majeur dans la production des cercaires, quels que soient les facteurs biotiques ou non qui peuvent influencer sur le développement larvaire du parasite.

C. DEVELOPPEMENT LARVAIRE PAR RAPPORT A L'ORIGINE GÉOGRAPHIQUE DU PARASITE.

Nos résultats montrent que la provenance des miracidiums utilisés pour l'infestation du mollusque a une influence sur la productivité larvaire de *F. gigantica* chez *G. truncatula*. Dans le cas de la souche malgache, les valeurs moyennes des morulas, des embryons et des cercaires sont moins élevées que celles notées pour les deux autres isolats (Chine et Egypte). De plus, la production des rédies filles par les catégories R1a et R1b y est la plus faible (voir le troisième chapitre, page 80). Par contre, le nombre de cercaires, qui se développent dans les rédies de l'isolat égyptien, est plus élevé, quelle que soit la population de mollusque utilisée. Ces données sont soutenues par le fait que le nombre de morulas capables de se différencier théoriquement dans les rédies de l'isolat égyptien est plus élevé que celui noté dans le cas des deux autres souches de *F. gigantica*.

Ces résultats indiquent un développement lent des rédies dans le cas de la souche malgache par rapport aux deux autres isolats étudiés. Plusieurs hypothèses peuvent être proposées pour expliquer cette donnée. Mais, à notre avis, deux d'entre elles sont les plus valides :

- 1) Les miracidiums de la souche Madagascar ne seraient pas adaptés aux deux populations françaises de Limnées tronquées utilisées dans cette expérience alors que la souche égyptienne aurait des relations « normales » (d'après la définition de Boray, 1978) avec ces deux colonies de mollusques. Cette affirmation s'appuie sur le fait qu'à Madagascar, l'hôte intermédiaire de *F. gigantica* est *R. natalensis* (Stothard *et al.*, 2000) et que les *G. truncatula* ne vivent pas sur cette île.

- 2) Par contre, dans le cas de l'isolat égyptien, les *G. truncatula* ont été trouvées dans ce pays (Brown, 1994) et cette limnée peut donc être un hôte intermédiaire potentiel pour *F. gigantica*. Un argument soutenant cette dernière proposition est l'infestation naturelle de *G. truncatula* par des larves de *Fasciola* sp. (El-Shazly *et al.*, 2002a).

Chez *G. truncatula*, la présence de rédies R1a, qui restent en vie tout au long des 49 jours de l'expérience, indique que le mode du développement larvaire, dans le cadre de cette expérience, est « typique », quelle que soit l'origine des miracidiums utilisés. Dans ce cas de figure, ce sont les rédies R2a qui produisent le plus grand nombre de cercaires par rapport aux autres catégories rédiennes, comme Augot et Rondelaud (2001) l'ont montré dans le cas de *F. hepatica*. Si l'on considère nos propres résultats, on constate :

- que ce rôle majeur des rédies R2a dans la production des cercaires se retrouve chez les limnées de Courcelles lorsqu'elles sont exposées à l'un ou l'autre des isolats Egypte ou Chine.

- mais que, chez les limnées de Berneuil, infestées par les miracidiums égyptiens, les rédies R1b interviennent, avec les R2a, dans la production des cercaires. Ce dernier résultat peut s'expliquer par le fait que la charge rédienne dans ce groupe provient du développement des deux sporocystes, comme nous l'avons montré dans le troisième chapitre (page 100). Il en résulte que le nombre des rédies R1b chez les limnées de Berneuil est élevé au 49^e jour (22,5 rédies en moyenne au lieu de 15,5 / limnée dans le lot correspondant de Courcelles). Cette augmentation dans l'effectif des R1b explique donc la participation de ces rédies dans la production de cercaires, avec les R2a.

En conclusion, les résultats rapportés dans les paragraphes ci-dessus démontrent que la productivité rédienne dépend de l'espèce de la limnée, de la population de celle-ci et de l'isolat de *F. gigantica*. L'effet du premier facteur peut provenir des différences biologiques entre les espèces de mollusques qui interviennent dans le cycle évolutif du parasite comme, par exemple, la croissance de la coquille. Cette dernière est plus importante chez *R. natalensis* (Hubendick, 1951) car l'espace offert aux rédies permet le développement progressif des stades larvaires intra-rédiens comme le montrent Vignoles *et al.* (2002) dans le cas de *F. hepatica*.

D'autre part, la productivité larvaire des rédies de *F. gigantica* présente une variation nette selon l'origine géographique des isolats utilisés. Si l'on considère ceux qui proviennent de Chine ou de Madagascar, les populations françaises de *G. truncatula* ne représentent pas un hôte intermédiaire favorable car *G. truncatula* manque dans ces deux pays (Stothard *et al.*, 2000 ; Torgerson et Claxton, 1999). Au contraire, la productivité cercarienne élevée de l'isolat égyptien chez ce mollusque suggère une bonne comptabilité dans le couple *G. truncatula* / *F. gigantica* car cette limnée vit naturellement en Egypte (Brown, 1994). Les *G. truncatula* peuvent donc jouer un rôle important dans la transmission de la fasciolose à *F. gigantica* et, en plus, dans celle à *F. hepatica* en Egypte.

LES EMISSIONS CERCARIENNES DE *Fasciola gigantica* CHEZ DEUX LIMNEES

Le développement larvaire et le nombre des cercaires « théoriquement » produites par les rédies de *F. gigantica*, jusqu'au 49^e jour de l'infestation, dépendent de l'espèce du mollusque et de l'origine du parasite (voir le quatrième chapitre). Devant cet état de fait, on peut se demander si ces deux facteurs ont des effets sur les caractéristiques des émissions cercariennes de *F. gigantica* et, dans le même temps, sur le nombre total des cercaires émises.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le cadre de ce chapitre. Les deux premiers paragraphes présentent les buts de cette étude et le matériel et méthodes. Les résultats sont détaillés dans les troisième et quatrième subdivisions. Le dernier paragraphe est consacré à la discussion des résultats par rapport aux éléments de la littérature.

Les résultats rapportés dans ce chapitre ont fait l'objet de deux publications (Dar *et al.*, 2003a, 2004).

I. BUTS DE L'ETUDE.

Ils sont au nombre de deux :

1). Déterminer les caractéristiques des émissions cercariennes de *F. gigantica* chez deux mollusques : *G. truncatula* et *R. natalensis*, lorsqu'ils sont exposés à une infestation expérimentale avec ce parasite.

2). Etudier la dynamique cercarienne de *F. gigantica* chez des deux populations de *G. truncatula* infestées par l'un ou l'autre de deux isolats des miracidiums différant par leur origine géographique⁴.

⁴ Les caractéristiques de l'infestation fasciolienne et celles des émissions cercariennes n'ont pas été réalisées dans le cas de l'isolat malgache de *F. gigantica* car une étude de ce type a déjà été effectuée par Dreyfuss (1994) et par Dreyfuss et Rondelaud (1997).

Expérience	Mollusque	Origines de mollusques (Nombre d'individus au départ)	Origine de <i>Fasciola</i> <i>gigantica</i> *	Température de l'élevage
1	<i>Radix natalensis</i>	Egypte (50)	Egypte	Elevage jusqu'au 30 ^e jour. Maintenance à 22°-25° C
	<i>Galba truncatula</i>	Berneuil (50)**	Egypte	Elevage à 20° C sous des conditions constantes jusqu'au 30 ^e jour
2	<i>G. truncatula</i>	Berneuil (50)**	Egypte	Elevage à 20° C sous des conditions constantes jusqu'au 30 ^e jour
		Courcelles (110)		
Berneuil (150)	Chine			
Courcelles (244)				

* L'infestation a été réalisée avec deux miracidiums par mollusque.

** Le groupe est commun aux deux expériences.

Tableau XXXIX.

Les caractéristiques des deux expériences réalisées pour
étudier les émissions cercariennes de *Fasciola gigantica*
chez deux espèces de limnées.

II. MATERIEL ET METHODES.

A. LES MOLLUSQUES.

Les deux populations de *G. truncatula*, utilisées dans cette étude, proviennent pour l'une de Courcelles, commune de Saint-Michel-de-Veisse, département de la Creuse, et pour l'autre de Berneuil, département de la Haute-Vienne. La hauteur des mollusques lors de leur récolte en juin est de $4 \pm 0,2$ mm au début des expériences.

Comme nous l'avons déjà indiqué dans le troisième chapitre, la dissection régulière de limnées adultes provenant de ces deux populations, pendant six mois avant le début des expériences, a montré que ces mollusques sont vierges des formes larvaires de trématodes.

Les mollusques sont transportés sous des conditions isothermes jusqu'au laboratoire et placés dans des aquariums d'élevage à 20° C pendant 2 ou 3 jours avant d'être exposés aux miracidiums.

Les *R. natalensis* sont élevés dans le laboratoire comme cela a déjà été indiqué dans le chapitre deuxième (page 43). Des limnées de 4 mm de hauteur ont été utilisées pour la première expérience.

B. LES ŒUFS DE *Fasciola gigantica*.

Ils ont été collectés dans la vésicule biliaire de bovins infestés par *F. gigantica* à l'abattoir de Tanta, gouvernorat de El-Gharbia, Egypte, et à l'abattoir de Nanning, province de Guang-Xi, Chine.

La préparation des œufs a été effectuée en suivant la méthode mentionnée dans le chapitre deuxième, page 43. Les œufs ont été incubés à la température constante de 20° C pendant 20 jours (chapitre troisième, page 64).

C. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL.

Les caractéristiques générales des deux expériences que nous avons réalisées sont présentées sur le tableau XXXIX. La première porte sur les caractéristiques des émissions cercariennes de *F. gigantica* par rapport à l'espèce du mollusque hôte : *G. truncatula* ou *R. natalensis*, alors que la deuxième expérience est réalisée selon le même protocole chez deux populations différentes de *G. truncatula* infestés par l'un ou l'autre de deux isolats de *F. gigantica* différant par leur origine géographique.

Paramètres	Mode de calcul
Taux de survie au 30 ^e jour (en %)	C'est le nombre de survivants au 30 ^e jour par rapport à l'effectif initial des mollusques dans chaque groupe expérimental.
Fréquences des mollusques : - non parasités - infestés sans émission - infestés avec émission	Elles sont calculées en effectuant le rapport entre le nombre de mollusques concernés et l'effectif des survivants au 30 ^e jour de l'expérience.
Prévalence de l'infestation (%)	C'est le rapport entre le nombre total des limnées infestées (sans ou avec émission) par rapport à celui des survivants au 30 ^e jour.
Durée de survie des mollusques (jours)	C'est l'intervalle de temps (en jours) entre le début de l'expérience et la mort des limnées.
Période prépatente (jours)	Elle correspond à la durée de temps entre la date de l'infestation et la première sortie des cercaires pour les limnées avec émission cercarienne.
Période patente (jours)	Période des émissions cercariennes.
Nombre total des cercaires	Ensemble des cercaires émises par les limnées.
Pourcentage de kystes flottants	Il est établi dans chaque groupe en rapportant le nombre de kystes flottants à l'ensemble des métacercaires formées, quel que soit leur type.

Tableau XL.
Les paramètres utilisés et leur mode de calcul lors de l'étude sur les caractéristiques des émissions cercariennes de *Fasciola gigantica* dans les groupes expérimentaux.

Après l'exposition individuelle de chaque limnée à deux miracidiums de *F. gigantica* pendant 4 heures, les mollusques sont placés dans leurs bacs d'élevage (50 individus / bac) à 20° C pour *G. truncatula*, ou à 22°-25° C dans le cas de *R. natalensis*.

Au 30^e jour de l'infestation, les survivants sont isolés individuellement dans des boîtes de Pétri de 35 mm (*G. truncatula*) ou de 50 mm (*R. natalensis*), avec une petite quantité d'eau (provenant des aquariums d'élevage) et un fragment de salade pour chaque boîte.

Les récipients sont placés dans les mêmes salles climatisées que les aquariums. Une surveillance quotidienne des limnées est réalisée pour décompter les métacercaires présentes dans les boîtes et déterminer leur type (kyste flottant ou fixé), changer l'eau des récipients et renouveler, si nécessaire, le fragment de salade. Cette surveillance se poursuit jusqu'à la mort du mollusque.

D. PARAMETRES UTILISES.

Nous les avons regroupés, sur le tableau XL, en indiquant leur mode de calcul ou leur définition.

Les quatre premiers paramètres sont la prévalence des mollusques survivant au 30^e jour de l'expérience, les fréquences de trois catégories de limnées (non parasitées, infestées sans émission cercarienne, et infestées avec émission), la prévalence de l'infestation fasciolienne, et la durée totale de la vie (en jours) pour chaque catégorie précitée à partir de la date de l'exposition aux miracidiums jusqu'à la mort des mollusques.

Les autres paramètres ne concernent que les limnées qui ont émis des cercaires. Il s'agit de la période prépatente, de la période patente et du nombre total des métacercaires fournies par chaque limnée en tenant compte du type des métacercaires (kyste flottant ou fixé).

E. TESTS STATISTIQUES.

Les pourcentages obtenus pour les deux premiers paramètres dans les groupes de mollusques ont été confrontés en utilisant le test Chi² (Stat-Itcf, 1988).

Les valeurs moyennes notées pour chacun des quatre autres paramètres ont été soumises à une analyse de variance à un seul, deux ou trois facteurs (Stat-Itcf, 1988) afin de déterminer les niveaux de signification statistique.

Paramètres	<i>Galba truncatula</i>	<i>Radix natalensis</i>
Nombre de survivants au 30 ^e jour (taux en %)	40 (80)	49 (98)
Prévalence de l'infestation fasciolienne (%)	55	65,3
Nombre de mollusques (%) :		
- non parasités	18 (45,0)	17 (34,7)
- infestés sans émission	5 (12,5)	3 (6,1)
- infestés avec émission	17 (42,5)	29 (59,2)
Durée totale de la vie (jours)*		
- non parasités	74,0 ± 34,2	136,6 ± 1,6
- infestés sans émission	38,0 ± 18,8	54,0 ± 1,6
- infestés avec émission	80,0 ± 21,0	100,3 ± 13,5
Période prépatente (jours)*	47,1 ± 4,0	62,7 ± 4,4
Période patente (jours)*	32,9 ± 21,8	37,8 ± 14,0
Nombre total des cercaires	4.080	8.302
Nombre de cercaires par limnée survivante*	240,0 ± 152,0	286,3 ± 87,9
Pourcentage de kystes flottants	3,3	4,2

* Moyenne ± écart type.

Tableau XLI.
Les caractéristiques des émissions cercariennes de *Fasciola gigantica* chez les deux limnées.

Facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur du rapport F	Signification
Espèce du mollusque	1/82	31,07	$P < 0,1 \%$
Catégorie des limnées	2/82	26,11	$P < 0,1 \%$
Espèce du mollusque *	2/82	11,29	$P < 0,1 \%$
Catégorie des limnées			

Abréviations : F (rapport F de Fisher). P (probabilité au seuil de).

Tableau XLII.

L'influence de deux facteurs sur la durée de vie des *Galba truncatula* et des *Radix natalensis* au 30^e jour d'expérience.

Entre les deux limnées	Différence moyenne	Différence critique	Signification
<i>Galba truncatula</i> , <i>Radix natalensis</i>	-38,229	8,732	$P < 0,1 \%$

Entre les catégories des limnées	Différence moyenne	Différence critique	Signification
Infestées sans émission, parasitées avec émission.	48,358	15,65	$P < 0,1 \%$
Infestées avec émission, non parasitées.	-11,667	9,192	$P < 5 \%$
Infestées sans émission, non parasitées.	-60,025	15,984	$P < 0,1 \%$

Abréviation : P (probabilité au seuil de).

Tableau XLIII.

Les résultats de deux tests PLSD de Fisher sur la durée de vie des limnées par rapport à leur catégorie.

Facteur étudié	Paramètres	Degrés de liberté	Valeur du rapport F	Signification
Espèce du mollusque	Période prépatente	1/44	136,79	$P < 0,1 \%$
	Période patente	1/44	0,82	NS
	Nombre des cercaires	1/44	1,64	NS

Abréviations : F (rapport F de Fisher). NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).

Tableau XLIV.

L'influence de l'espèce du mollusque sur trois paramètres se rapportant aux émissions cercariennes de *Fasciola gigantica*.

III. LES ÉMISSIONS CERCARIENNES DE *Fasciola gigantica* CHEZ LES DEUX LIMNEES.

A. LES CARACTÉRISTIQUES DE L'INFESTATION FASCIOLIENNE.

Elles sont regroupées sur le tableau XLI pour les deux espèces de limnées : *G. truncatula* et *R. natalensis*. Les résultats des tests statistiques sont fournis sur les tableaux XLII, XLIII et XLIV.

Le nombre des *R. natalensis*, restant en vie au 30^e jour de l'expérience est plus élevé que celui noté chez *G. truncatula*. Le test χ^2 montre que le pourcentage des survivants est, en effet, significativement plus élevé ($\chi^2 = 8,27$; $P < 1\%$) chez *R. natalensis*.

La prévalence de l'infestation se situe entre 55 et 65 % chez les deux limnées et il n'y a pas de différence significative entre ces pourcentages (résultats non représentés). Les fréquences des individus infestés, morts sans émission cercarienne, sont faibles chez les deux espèces de mollusques alors que les pourcentages dans les deux autres catégories sont plus élevés. La comparaison entre les fréquences dans les trois catégories de mollusques montre l'absence de différences significatives entre les deux espèces.

Les durées moyennes de la vie, chez les trois catégories des limnées, sont plus longues chez *R. natalensis* que celles notées chez *G. truncatula*. Les moyennes ont été confrontées entre elles à l'aide d'une analyse de variance à deux facteurs (catégorie des limnées, espèce du mollusque) et les résultats sont présentés sur le tableau XLII. Les deux facteurs étudiés, et aussi l'interaction entre eux, ont des effets significatifs sur la durée de vie des limnées. Le test PLSD de Fisher (Tableau XLIII) montre que c'est *R. natalensis* qui est à l'origine de ces différences.

La durée de la période prépatente est plus élevée que celle de la période patente, quelle que soit l'espèce de mollusque. Chez les deux limnées, les valeurs moyennes du deuxième paramètre sont voisines (32,9 et 37,8 jours) alors que la période prépatente chez *R. natalensis* est plus longue que celle notée chez *G. truncatula*. Les moyennes ont été comparées en effectuant une analyse de variance à un seul facteur (espèce du mollusque) et les résultats sont présentés sur le tableau XLIV. On note une différence significative entre les durées des périodes prépatentes chez les deux limnées ; par contre, la période patente ne présente pas de variation significative entre les deux espèces.

Les nombres de cercaires émises par les deux limnées sont proches : 240 et 286,3 en moyenne. La plupart des métacercaires sont de type fixé alors que les kystes flottants ont des

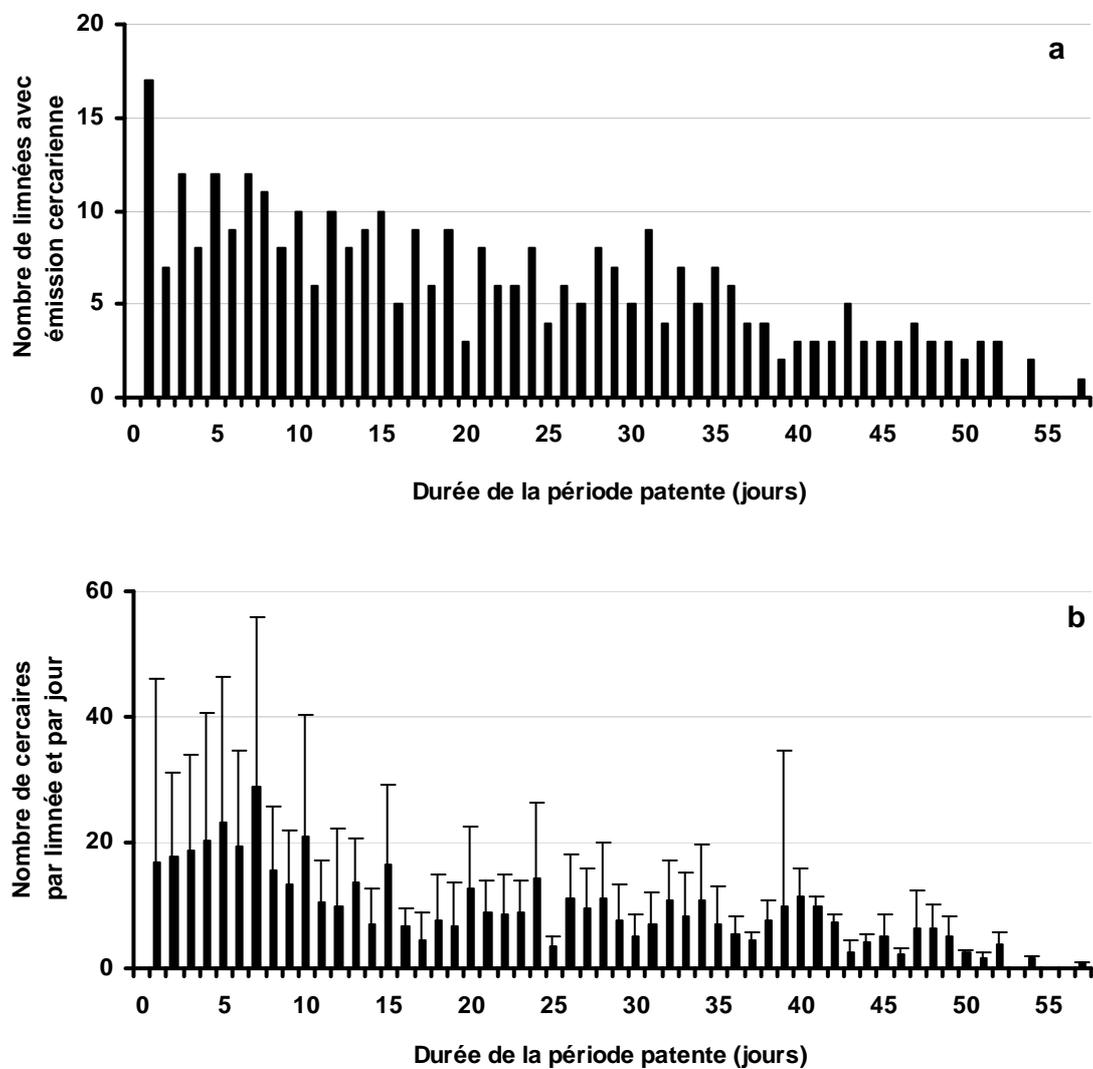


Figure 37.
 Les émissions cercariennes de *Fasciola gigantica* à partir
 de *Galba truncatula* (population de Berneuil) :

- Evolution numérique des limnées avec émission des cercaires (37a).
- Distribution des cercaires par rapport à la période patente (37b).

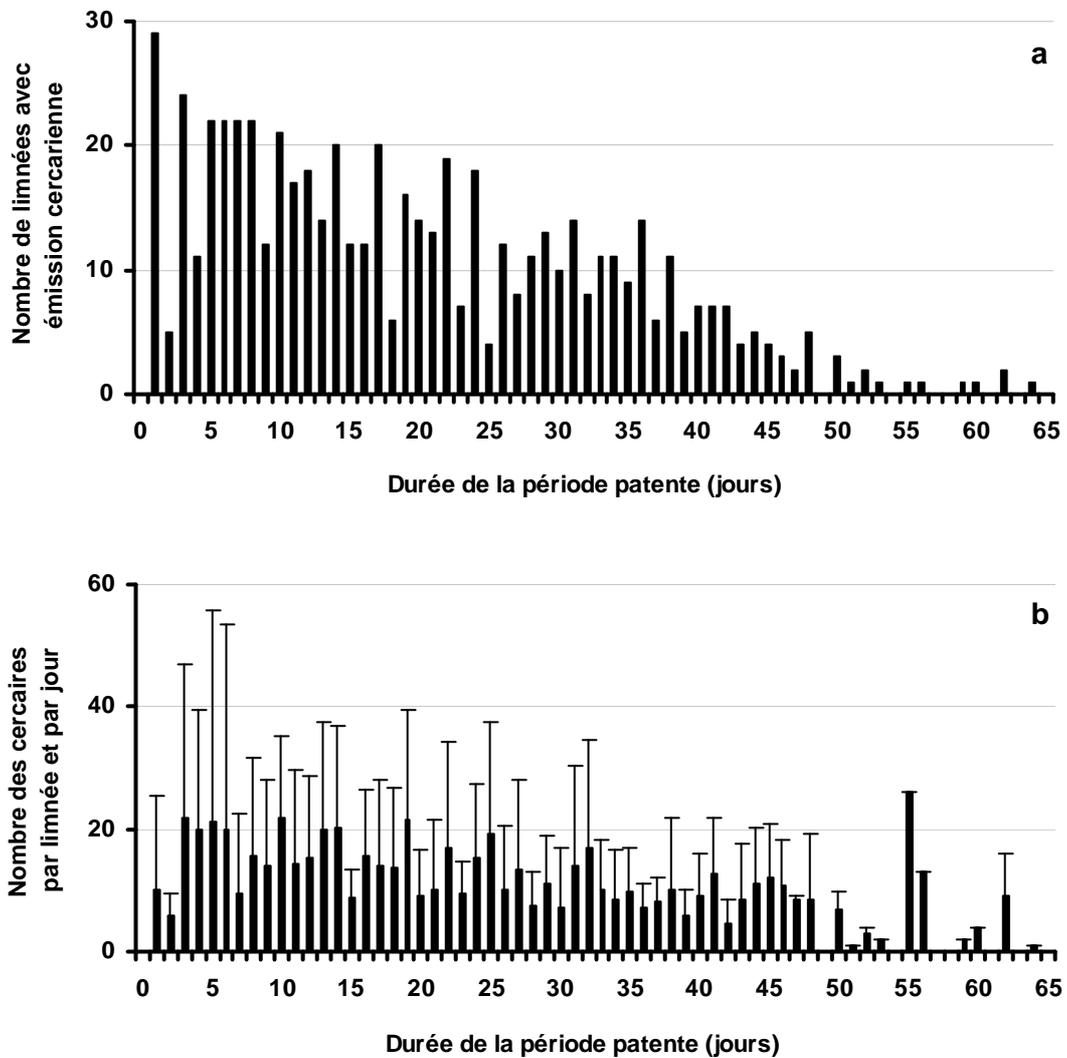


Figure 38.

Les émissions cercariennes de *Fasciola gigantica* chez *Radix natalensis* :

- Evolution numérique des limnées avec émission des cercaires (38a).
- Distribution des cercaires par rapport à la période patente (38b).

pourcentages faibles, quelle que soit l'espèce de mollusque. Si ces moyennes sont traitées par une analyse de variance, on ne constate pas de différence significative (Tableau XLIV).

B. DYNAMIQUE JOURNALIÈRE DES ÉMISSIONS CERCARIENNES.

1. Cas des *Galba truncatula*.

La lecture de la figure 37 montre que :

- Le nombre des limnées (Fig. 37a) avec émission chute progressivement avec la durée de la période patente.

- L'effectif des limnées, dans les dix premiers jours, présente des fluctuations car leur nombre, par exemple, diminue brutalement du 1^{er} au 2^e jour (de 17 à 7 mollusques) avant d'augmenter au 3^e jour à 12 limnées. A partir du 15^e jour, on retrouve une diminution progressive de cet effectif.

- Le nombre moyen des métacercaires (Fig. 37b) s'accroît jusqu'au 7^e jour (à 29 kystes / mollusque) avant de décroître graduellement par la suite jusqu'au 57^e jour.

- Des pics s'observent au cours de la période d'émission, surtout aux dates suivantes : 15^e, 20^e, 24^e, 32^e et 40^e jour (respectivement avec 16,5, 12,7, 14,4, 10,8 et 11,3 kystes par mollusque).

2. Cas des *Radix natalensis*.

Les résultats sont fournis sur la figure 38. L'examen des deux graphes permet de formuler les remarques suivantes :

- Chez les limnées avec des émissions cercariennes (Fig. 38a), on peut également constater une chute numérique du 1^{er} au 2^e jour (de 29 mollusques à 5). L'effectif présente ensuite une diminution régulière jusqu'au 50^e jour. Au-delà de cette date, 1 ou 2 limnées produisent des cercaires chaque jour.

- Les moyennes les plus élevées des métacercaires (de 20 à 22 kystes par limnée et par jour) ont été notées dans la période entre le 3^e et le 6^e jour (Fig. 38b).

- D'autres pics ont été trouvés également aux dates suivantes : 10^e, 14^e et 19^e jours de la période d'émission, respectivement avec des moyennes de 21,9, de 20,2 et de 21,4 kystes par limnée. Au-delà de cette dernière date, les chiffres diminuent progressivement jusqu'au 65^e jour.

Paramètres	Origine des miracidiums de <i>Fasciola gigantica</i>			
	Chine		Egypte	
	Courcelles	Berneuil	Courcelles	Berneuil
Nombre de survivants au 30 ^e jour (taux en %)	147 (60,2)	112 (74,4)	99 (90)	40 (80)
Prévalence de l'infestation fasciolienne en %	44,2	84,8	90,9	55
Nombre des mollusques (et %)				
- non parasités	82 (55,8)	17 (15,2)	9 (9,1)	18 (45,0)
- infestés sans émission	32 (21,8)	56 (50,0)	11 (11,1)	5 (12,5)
- infestés avec émission	33 (22,4)	39 (34,8)	79 (79,8)	17 (42,5)
Durée totale de la vie (jours)*				
- non parasités	60,7 ± 14,4	60,9 ± 16,5	69,2 ± 26,0	74,0 ± 34,2
- infestés sans émission	58,9 ± 10,4	57,8 ± 8,8	39,5 ± 6,6	38,0 ± 10,8
- infestés avec émission	76,7 ± 17,2	79,4 ± 10,9	76,7 ± 15,9	80,0 ± 21,0
Période prépatente (jours)*	55,6 ± 9,4	65,1 ± 5,6	48,0 ± 5,1	47,1 ± 4,0
Période patente (jours)*	20,8 ± 17,5	14,3 ± 11,0	28,6 ± 16,2	32,9 ± 21,8
Nombre total des cercaires	983	1.493	21.867	4.080
Nombre de cercaires par limnée*	29,0 ± 28,9	38,3 ± 28,9	275,5 ± 160,4	240,0 ± 152,0
Pourcentage de kystes flottants	47,3	42,3	3,7	3,3

* Moyenne ± écart type.

Tableau XLV.
Les caractéristiques des émissions cercariennes de *Fasciola gigantica* chez deux populations de *Galba truncatula* par rapport à l'origine géographique des miracidiums.

IV. LES ÉMISSIONS CERCARIENNES DE *Fasciola gigantica* PAR RAPPORT À L'ORIGINE GEOGRAPHIQUE DU PARASITE.

A. LES CARACTÉRISATIONS DE L'INFESTATION FASCIOLIENNE.

Les valeurs moyennes et les écarts types correspondants pour tous les paramètres sont présentés sur le tableau XLV pour les quatre groupes de mollusques.

1. La survie des mollusques au 30^e jour de l'expérience.

Chez les deux populations de limnées, ce sont les lots Egypte qui ont les taux de survie les plus élevés. Dans la population de Courcelles, par exemple, le pourcentage est de 90 % dans le groupe précité alors qu'il est de 60,2 % dans le lot Chine.

Les données ont été traitées par le test Chi² et les résultats sont indiqués dans le tableau ci-après :

Population du mollusque	Origine de l'isolat	Degrés de liberté	Valeur du test	Signification
Courcelles	Chine, Egypte	1	31,66	$P < 0,1 \%$
Berneuil	Chine, Egypte	1	0,58	NS
Entre Courcelles et Berneuil	Groupes Chine	1	8,58	$P < 1 \%$
	Groupes Egypte	1	3,01	NS

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).

Sur ce tableau, on peut constater l'existence d'une différence significative pour la survie des limnées de Courcelles infestées par l'une ou l'autre souche du parasite. Par contre, cette différence n'a été pas retrouvée chez les mollusques de Berneuil. La population de la limnée a un effet significatif sur les pourcentages de survivants dans le cas des groupes Chine alors que ce n'est pas le cas pour les lots Egypte.

2. La prévalence de l'infestation fasciolienne.

Les résultats (Tableau XLV) montrent que :

- Le taux d'infestation des limnées par *F. gigantica* varie énormément selon la population. Si l'on considère les limnées de Courcelles, les pourcentages sont de 90,9 % dans le groupe Egypte et seulement de 44,2 % dans le lot Chine.

Facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur du rapport F	Signification
Origine du parasite	1/386	1,48	NS
Population du mollusque	1/386	0,439	NS
Catégorie des limnées	2/386	57,16	$P < 0,1 \%$
Origine * Population	1/386	0,15	NS
Origine * Catégorie	2/386	11,97	$P < 0,1 \%$
Population * Catégorie	2/386	0,25	NS
Origine * Population * Catégorie	2/386	0,10	NS

Abréviations : F (rapport F de Fisher). NS (non significatif).
 P (probabilité au seuil de).

Tableau XLVI.

L'influence de trois facteurs sur la durée totale de vie des *Galba truncatula*.

Entre les catégories des limnées	Différence moyenne	Différence critique	Signification
Infestées sans émission, parasitées avec émission.	22,29	4,01	$P < 0,1 \%$
Infestées avec émission, non parasitées.	-14,43	3,78	$P < 0,1 \%$
Infestées sans émission, non parasitées.	7,86	4,25	$P < 0,1 \%$

Abréviation : P (probabilité au seuil de).

Tableau XLVII.

Les résultats du test PLSD de Fisher sur la durée totale de vie des limnées par rapport à leur catégorie.

- La même remarque peut être formulée pour les limnées avec émission. Dans la population de Courcelles, par exemple, 79,8 % des limnées infestées ont été recensées dans le groupe Egypte au lieu de 22,4 % dans le lot Chine.

Les pourcentages relevés pour les trois catégories de limnées ont été comparés par le test χ^2 et les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Population du mollusque	Origine de l'isolat	Degrés de liberté	Valeur du test	Signification
Courcelles	Chine, Egypte	2	81,44	$P < 0,1 \%$
Berneuil	Chine, Egypte	2	23,08	$P < 0,1 \%$
Entre Courcelles et Berneuil	Groupes Chine	2	45,83	$P < 0,1 \%$
	Groupes Egypte	2	24,70	$P < 0,1 \%$

Abréviations : NS (non significatif). P (probabilité au seuil de).

Ce tableau montre que les deux facteurs étudiés (population du mollusque, origine du parasite) ont des effets significatifs sur les fréquences des limnées, quelle que soit leur catégorie.

3. La durée totale de vie des limnées.

Dans les deux populations, les limnées infestées avec émission ont des valeurs moyennes plus élevées que celles observées dans les deux autres catégories, quelle que soit l'origine du parasite. En effet, les durées de vie se distribuent entre 76,7 et 80 jours en moyenne pour les limnées avec émission, entre 38 et 58 jours chez celles qui meurent sans émission et, enfin, entre 60 et 74 jours chez les individus non parasités.

Chez les deux populations infestées par les miracidiums de l'isolat égyptien, les moyennes enregistrées pour les limnées sans émission sont plus faibles que celles notées dans les deux autres catégories alors que ces moyennes et celles des individus non parasités ont des valeurs proches dans le cas des groupes Chine. Les moyennes ont été traitées par une analyse de variance à trois facteurs (origine du parasite, population du mollusque, catégorie des limnées) et les résultats sont fournis sur le tableau XLVI. On constate que la durée de vie des mollusques ne dépend que de leur catégorie car il y a des différences significatives entre elles comme le montre le test PLSD de Fisher (Tableau XLVII).

Paramètres	Facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur du rapport <i>F</i>	Signification
Période prépatente	Origine du parasite	1/164	132,97	$P < 0,1 \%$
	Population du mollusque	1/164	15,01	$P < 0,1 \%$
	Origine * Population	1/164	2168	$P < 0,1 \%$
Période patente	Origine du parasite	1/164	20,83	$P < 0,1 \%$
	Population du mollusque	1/164	0,15	NS
	Origine * Population	1/164	3,54	NS
Nombre de cercaires	Origine du parasite	1/164	104,72	$P < 0,1 \%$
	Population du mollusque	1/164	0,39	NS
	Origine * Population	1/164	1,10	NS

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). NS (non significatif).
P (probabilité au seuil de).

Tableau XLVIII.

Les résultats d'une analyse de variance sur trois paramètres se rapportant aux émissions cercariennes de *Fasciola gigantica*.

4. Les durées des périodes prépatente et patente.

Les valeurs de ces deux paramètres montrent que la durée de la période prépatente est toujours plus élevée que celle notée pour la période des émissions. Dans les groupes Chine, les moyennes des périodes prépatentes sont plus importantes que celles notées chez les limnées infestées par les miracidiums de l'isolat égyptien. A l'inverse de la période prépatente, les durées les plus courtes des émissions cercariennes ont été enregistrées dans les deux lots Chine.

Les données, obtenues à l'aide d'une analyse de variance à deux facteurs (origine du parasite, population du mollusque), sont fournies sur le tableau XLVIII. La lecture de ce dernier montre que :

- Les deux facteurs précités ont des effets significatifs sur la durée de la période prépatente. Les valeurs les plus élevées ont été notées chez les limnées infestées par les miracidiums de l'isolat chinois, quelle que soit la population.

- Seule, l'origine du parasite a une influence significative sur la durée de la période patente. Les moyennes des groupes Egypte sont plus grandes que celles notées chez les deux lots Chine.

5. Les métacercaires de *Fasciola gigantica*.

Les moyennes enregistrées dans les deux populations de limnées avec l'isolat égyptien de *F. gigantica* sont plus élevées (240 et 275,5 métacercaires par limnée) que celles trouvées chez les groupes Chine (29 et 38,3 par mollusque). On peut aussi remarquer que les pourcentages des métacercaires flottantes et fixées diffèrent selon l'origine des miracidiums utilisés : si la plupart des métacercaires de *F. gigantica* sont de type fixé dans les lots Egypte (à 96 %), les pourcentages des deux types de kystes sont proches (52,7 et 42,3 %) dans les groupes Chine.

Les moyennes de ce paramètre ont été soumises à une analyse de variance à deux facteurs (origine du parasite et population du mollusque). Les résultats de ce test sont présentés sur le tableau XLVIII.

L'origine des miracidiums de *F. gigantica* a un effet significatif sur l'effectif des métacercaires. Par rapport à l'isolat chinois, c'est la souche égyptienne du parasite qui produit un grand nombre des cercaires chez les deux populations des *G. truncatula*.

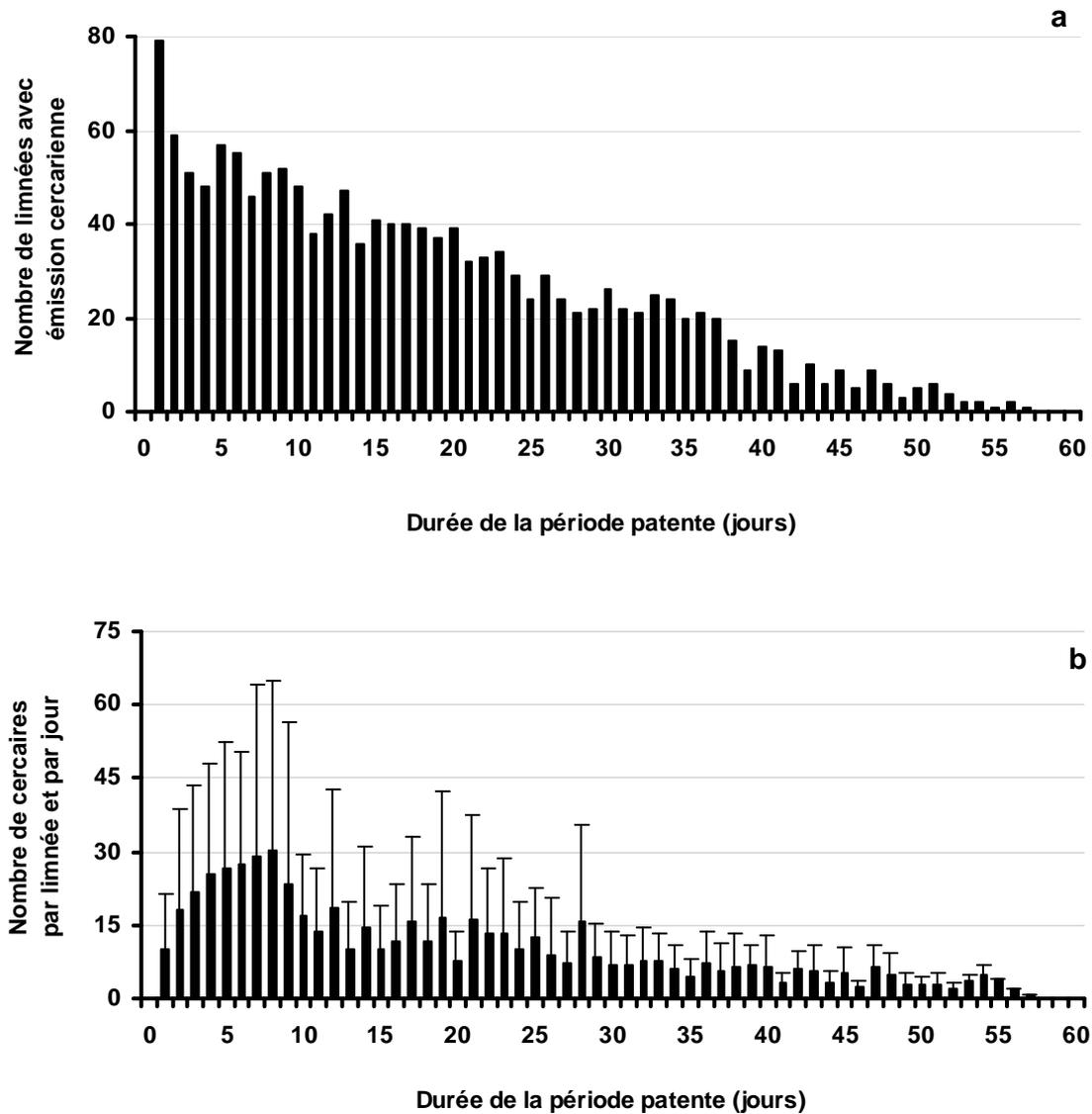


Figure 39.
Les émissions cercariennes de l'isolat égyptien de *Fasciola gigantica* chez *Galba truncatula* (Courcelles) :

- Evolution numérique des limnées avec émission des cercaires (39a).
- Distribution des cercaires par rapport à la période patente (39b).

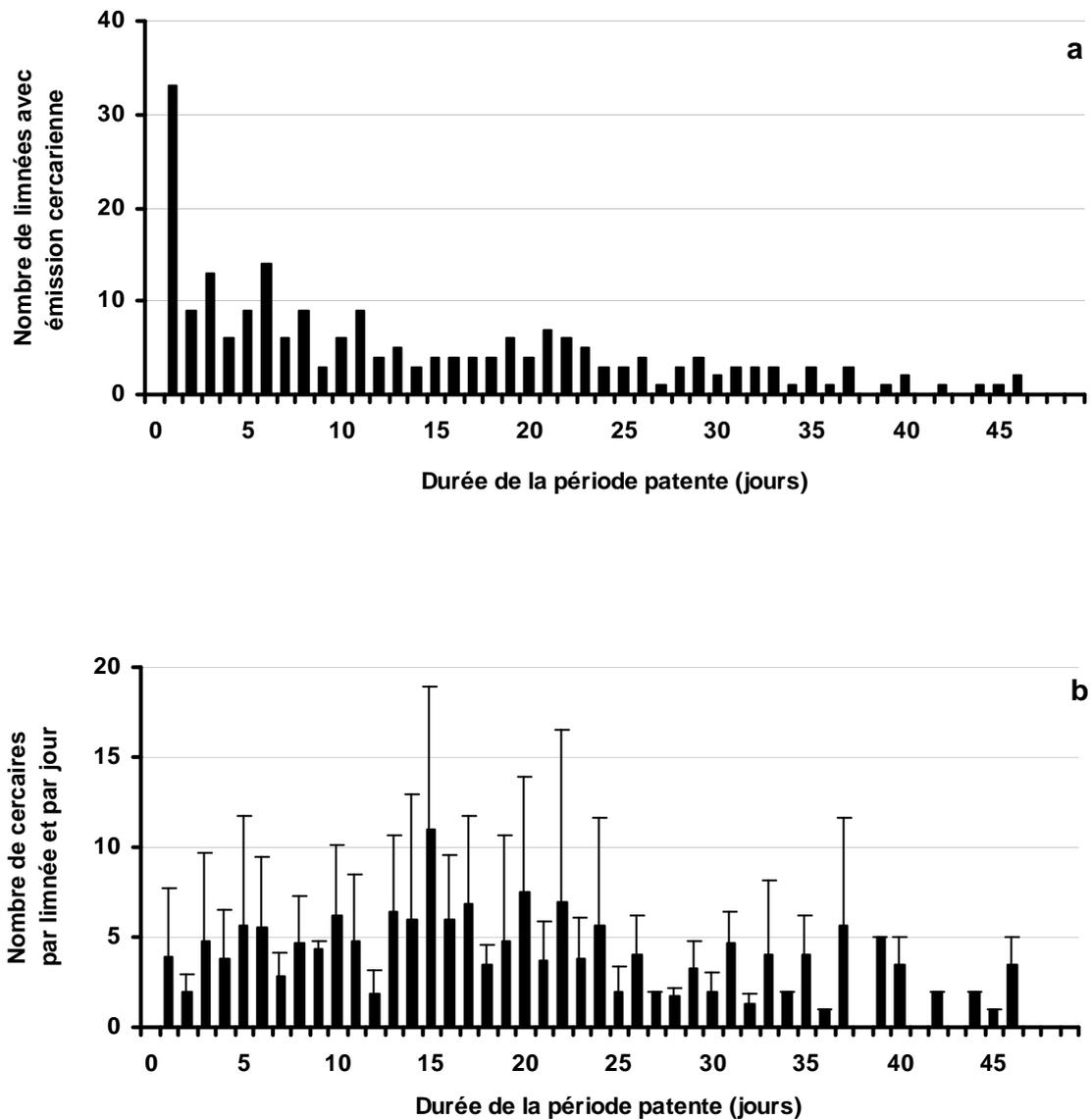


Figure 40.
 Les émissions cercariennes de l'isolat chinois de *Fasciola gigantica* chez *Galba truncatula* (Courcelles) :

- Evolution numérique des limnées avec émission des cercaires (40a).
- Distribution des cercaires par rapport à la période patente (40b).

B. DYNAMIQUE JOURNALIÈRE DES ÉMISSIONS CERCARIENNES.

Comme le montre la première expérience, le nombre des cercaires par limnée et par jour a été calculé par rapport à la durée de la période patente.

1. Cas de l'isolat égyptien.

La dynamique des émissions cercariennes chez les limnées de Berneuil a été déjà décrite dans la première expérience pour cet isolat (page 140). Nous rapportons ici les résultats fournis par les mollusques de Courcelles.

Le nombre des limnées avec émission (Fig. 39a) diminue régulièrement lorsque la durée de la période patente augmente. De 79 limnées au 1^{er} jour, les chiffres passent à 59 au 2^e jour et diminuent ensuite jusqu'à 20 mollusques au 37^e jour. Au-delà de cette date, l'effectif des limnées chute jusqu'au 57^e jour.

La répartition quotidienne des métacercaires (Fig. 39b) montre que le nombre moyen de celles-ci augmente progressivement jusqu'au 8^e jour (à 30,1 kystes par limnée). D'autres pics s'observent au 12^e jour (avec 18,4 métacercaires par mollusque), au 19^e jour (16,6 kystes) et au 28^e jour (15,8 kystes). A partir de cette dernière date, l'effectif des métacercaires ne dépasse pas 10 unités par limnée et par jour jusqu'à la fin de la période patente (60^e jour).

2. Cas de l'isolat chinois.

a). Chez les limnées de Courcelles.

L'examen des deux graphes, présentés sur la figure 40, permet les remarques suivantes :

- Une chute numérique importante dans l'effectif des mollusques (Fig. 40a) s'observe du 1^{er} au 2^e jour de la période patente (de 33 à 9 limnées). Entre le 3^e et le 11^e jour, l'effectif des mollusques présente des variations numériques avant de diminuer progressivement par la suite jusqu'au 46^e jour.

- Si l'on considère le nombre de métacercaires par mollusque et par jour (Fig. 40b), on constate que l'effectif augmente jusqu'au 15^e jour (à 11 kystes par limnée) et chute par la suite jusqu'au 28^e jour (moins de 2 kystes par mollusque). Au-delà de cette date, le nombre moyen des métacercaires augmente jusqu'à un autre pic au 37^e jour (5 kystes) avant de décroître progressivement jusqu'au 46^e jour de la période patente.

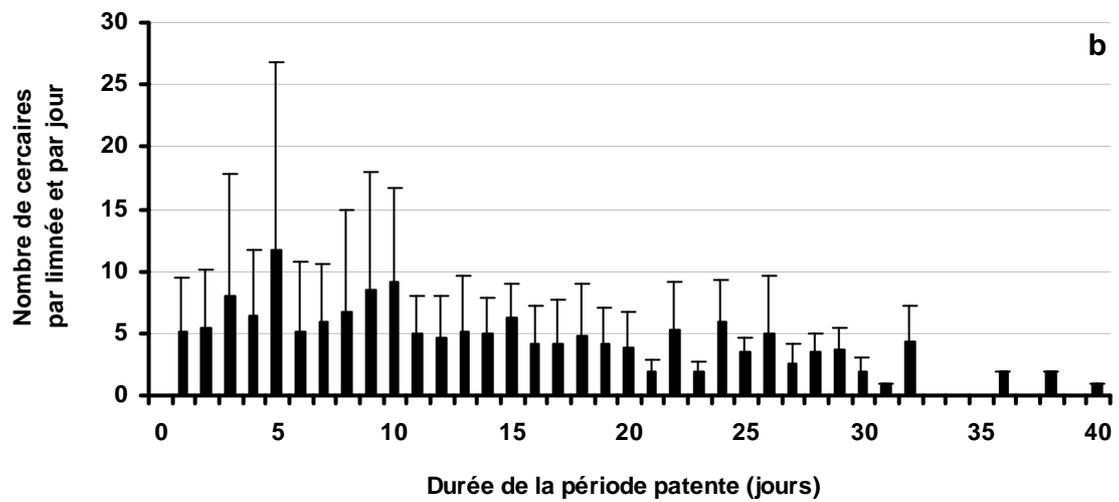
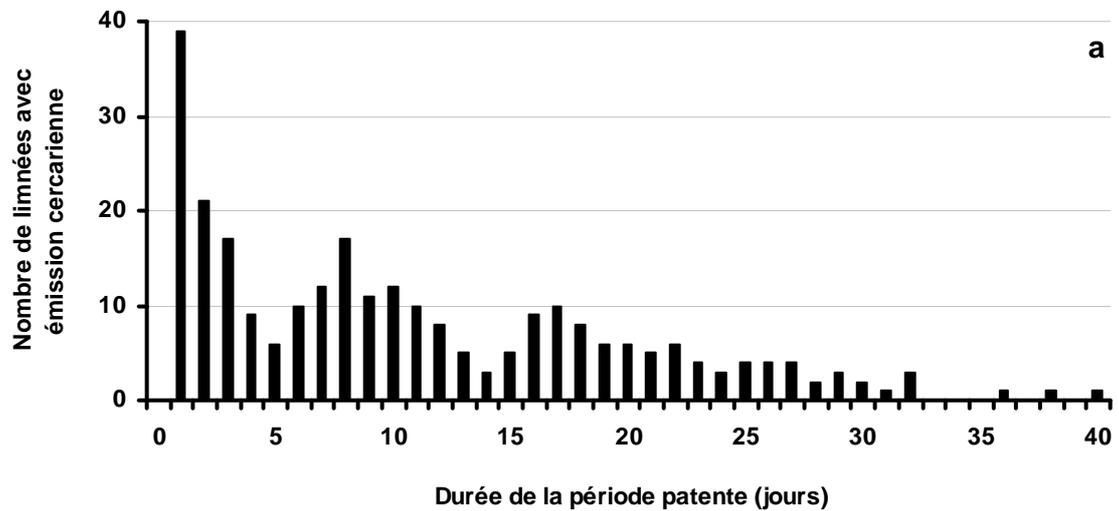


Figure 41.
 Les émissions cercariennes de l'isolat chinois de *Fasciola gigantica* chez *Galba truncatula* (Berneuil) :

- Evolution numérique des limnées avec émission des cercaires (41a).
- Distribution des cercaires par rapport à la période patente (41b).

b). *Chez les limnées de Berneuil.*

La figure 41 présente la distribution numérique des métacercaires de *F. gigantea*. Les deux graphes de cette figure montrent que :

- Le nombre des survivants (Fig. 41a) décroît de manière progressive jusqu'au 5^e jour de la période patente (de 39 à 6 individus). L'effectif augmente ensuite jusqu'à un pic au 8^e jour (à 17 mollusques) avant de chuter jusqu'au 14^e jour (à 3). Un autre pic s'observe au 17^e jour (à 10 limnées). A partir de cette date, on observe une diminution régulière des limnées avec émission jusqu'au 40^e jour.

- Si l'on considère la production journalière des métacercaires (Fig. 41b), on constate l'existence de deux pics au 5^e jour (avec 11,7 kystes par mollusque) et au 10^e jour (9,2 kystes). Au-delà, les moyennes ne dépassent pas 6 kystes par limnée jusqu'au 40^e jour.

V. SYNTHÈSE.

A. LES ÉMISSIONS CERCARIENNES CHEZ LES DEUX LIMNÉES.

Au 30^e jour de l'infestation, le pourcentage des survivants est significativement plus élevé chez *R. natalensis* que chez *G. truncatula* (98 % au lieu de 80 %). Il n'y a pas de différence significative entre les fréquences notées chez les *G. truncatula* et celles relevées chez *R. natalensis*, quelle que soit leur catégorie (non parasités, infestés sans émission, infestés avec émission). Chez les trois catégories précitées, les durées totales de vie sont plus longues chez *R. natalensis* que chez *G. truncatula*.

Chez les limnées avec émission cercarienne, la durée moyenne de la période prépatente est plus élevée chez *R. natalensis* que chez *G. truncatula*. Par contre, il n'y a pas de différence nette entre les périodes patentes. La plupart des métacercaires formées sont de type fixé (plus de 96 %) alors que les kystes flottants ne représentent que des pourcentages faibles, quelle que soit l'espèce de mollusque. Le nombre de métacercaires fournies par des *R. natalensis* ne présente pas de différence significative par rapport à celui noté chez *G. truncatula*.

B. LES ÉMISSIONS CERCARIENNES EN FONCTION DE L'ORIGINE DU PARASITE.

Chez les limnées de Courcelles, le pourcentage des survivants au 30^e jour de l'expérience est plus élevé dans le groupe Egypte que dans le lot Chine. La population de mollus-

ques a un effet significatif sur la survie dans le cas des seuls groupes Chine. La population du mollusque et l'origine du parasite ont des effets significatifs sur les fréquences des limnées, quelle que soit leur catégorie. Seule, la catégorie des limnées a un effet significatif sur la durée moyenne de vie des mollusques.

Chez les limnées avec émission, l'origine du parasite et la population du mollusque ont un effet significatif sur la durée de la période prépatente. Les valeurs les plus élevées ont été notées chez les limnées infestées par l'isolat chinois de *F. gigantica*, quelle que soit la population utilisée. Par contre, dans le cas de la période patente, seule l'origine du parasite a un effet significatif sur ce paramètre car les durées sont plus élevées dans les lots Egypte que dans les deux groupes Chine. La plupart des métacercaires sont de type fixé dans les lots Egypte (96 %) alors que les pourcentages des kystes fixés et flottantes dans les deux autres groupes sont proches (52,7 et 42,3 %). L'origine des miracidiums a un effet significatif sur l'effectif de cercaires car il est plus élevé dans le cas de l'isolat égyptien que pour les deux lots Chine.

VI. DISCUSSION.

A. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES.

Nous avons regroupé les paramètres généraux des deux expériences dans le même paragraphe car les mêmes facteurs, à savoir l'espèce du mollusque (et, par suite la population dans le cas de *G. truncatula*) et l'origine du parasite interviennent à des degrés divers.

1. Survie des mollusques au 30^e jour.

Les résultats de la première expérience ont été comparés avec les données que d'autres auteurs ont rapportées sur le même Digène en utilisant l'une ou l'autre des deux espèces de limnées. Le tableau ci-dessous indique ces valeurs :

Limnées	Nombre de miracidiums	Survie au 30 ^e jour	Température d'élevage	Références
<i>Galba truncatula</i>	3 ou 4	61,7 %	23° C	Rakotondravao et Rondelaud (1991)
	2	49,3 – 55 %	20° C	Dreyfuss et Rondelaud (1997)
<i>Radix natalensis</i>	2	72 %	23° C	Da Costa <i>et al.</i> (1994)

Les survies, relevées chez les deux limnées dans notre étude, ont des valeurs plus élevées par rapport à celles de la littérature. Cette différence s'explique en partie par la température de l'élevage (23° C pour *G. truncatula*, par exemple, au lieu de 20° C dans le cas de notre étude) et aussi par la dose miracidienne utilisée pour chaque limnée (3 ou 4 pour Rakotondravao et Rondelaud, 1991). Mais si les mollusques ont été soumis aux mêmes conditions d'élevage ou d'infestation comme pour *G. truncatula* par exemple, la différence existant entre nos résultats et ceux des auteurs (voir le tableau ci-dessus) ne peut s'expliquer qu'en la rapportant à l'origine des miracidiums utilisés. Un argument soutenant cette hypothèse est l'effet net que l'origine du parasite exerce sur les caractéristiques de l'infestation fasciolienne (voir le troisième chapitre) car l'infestation de *G. truncatula* par l'isolat égyptien de *F. gigantica* donne de meilleurs résultats que ceux obtenus avec la souche malgache utilisée par Dreyfuss et Rondelaud (1997).

Si l'on examine les résultats de la deuxième expérience, on constate que la survie des mollusques de Courcelles au 30^e jour présente une différence significative en fonction de l'isolat des miracidiums (Chine ou Egypte) alors que ce n'est pas le cas chez les limnées de Berneuil. Cependant la survie diffère également en fonction de la population du mollusque dans le cas des miracidiums d'origine chinoise. Ceci indique donc que les deux facteurs précités interfèrent à des degrés divers sur ce paramètre dans cette expérience.

2. Taux d'infestation des mollusques par *Fasciola gigantica*.

Dans le cadre de la première expérience, les prévalences relevées chez les deux espèces de limnées ne présentent pas de différence significative. Ceci peut s'expliquer par le fait que ces deux mollusques ont des sensibilités élevées à l'infestation expérimentale avec la souche égyptienne de *F. gigantica* (voir le chapitre troisième, page 67).

Toutes autres sont les prévalences de la deuxième expérience car des différences significatives existent entre les pourcentages notés dans les quatre groupes de mollusques et celles-ci sont dues à la population du mollusque (*G. truncatula*) et à l'origine du parasite. Dans le cas de ce dernier facteur, la plupart des auteurs (Boray, 1969, par exemple) incriminent l'origine géographique du parasite mais d'autres font intervenir également la nature de l'hôte définitif d'où proviennent les œufs du Digène et, par suite, les miracidiums utilisés pour les infestations expérimentales (Rondelaud et Dreyfuss, 1995, pour *F. hepatica* par exemple ou Al-Kubaisee et Altaif, 1998, pour *F. gigantica*).

3. Durée de vie des mollusques.

Elle dépend de l'existence ou non du parasitisme. En effet, les limnées infestées, avec des émissions cercariennes de *F. gigantica*, vivent plus longtemps que les non parasitées ou que celles qui sont infestées sans émission. Ces données concordent avec celles rapportées par Dreyfuss (1994) et par Dreyfuss et Rondelaud (1997) sur les mêmes modèles. Selon ces auteurs, les durées plus longues, constatées chez les limnées avec émission, peuvent s'expliquer en admettant l'existence d'une sélection parmi ces mollusques. L'absence d'émission entraînerait la mort du mollusque au bout d'un certain temps sous l'influence de facteurs dont la nature reste à expliquer ; par contre, la présence des émissions se traduirait par une survie plus longue de l'hôte, impliquant par suite une sélection probable en fonction de l'état physiologique de ces mollusques.

Les résultats de la première expérience montrent, en plus, que la durée de vie des individus infestés est plus élevée chez *R. natalensis* que chez *G. truncatula*. Si l'on considère que les conditions d'élevage sont optimales pour les deux limnées, ces résultats peuvent s'interpréter en rapportant ce fait à l'espèce propre du mollusque, les *R. natalensis* vivant plus longtemps que les *G. truncatula* dans la nature (Hubendick, 1951). Par contre, dans la deuxième expérience, la population de *G. truncatula* et l'origine du parasite n'ont pas d'effet significatif sur ce paramètre. Seule la catégorie des limnées (non parasitées, ou infestées avec ou sans émission) a une influence sur les durées de vie et ceci peut s'expliquer à l'aide de l'hypothèse que nous avons proposée dans le paragraphe précédent.

B. LES ÉMISSIONS CERCARIENNES PAR RAPPORT A L'ESPÈCE DU MOLLUSQUE.

Les résultats obtenus pour les trois paramètres dans le cas des limnées avec émission méritent des commentaires particuliers :

- Dans le cas des limnées avec émission, les durées les plus élevées de la période prépatente ont été notées chez *R. natalensis*. Ce résultat peut s'expliquer par le fait qu'il y a une formation de rédies jusqu'au 42^e jour d'expérience avant que les cercaires ne se différencient. Par contre, chez *G. truncatula*, des cercaires s'observent à l'intérieur des rédies à partir du 28^e jour (voir le quatrième chapitre, page 111).

- Les durées moyennes des émissions cercariennes chez les deux espèces de limnées ont des valeurs proches : 32,9 et 37,8 jours. Si ces dernières se situent dans le même ordre de

grandeur que celles rapportées par Da Costa *et al.* (1994) ou par Mohamed *et al.* (1998) pour les *R. natalensis* (41 jours à 23° C et 38,5 jours à 27°-29° C par ordre respectif), ce n'est pas le fait chez les *G. truncatula*. Chez trois populations de cette espèce, Dreyfuss et Rondelaud (1997) ont rapporté des valeurs moyennes qui se distribuent entre 17,3 et 23,8 jours (à 20° C), en utilisant une souche malgache de *F. gigantea*. Cette discordance peut être due à la sensibilité propre de chaque population de *G. truncatula* au parasite ou encore à l'origine géographique des miracidiums utilisés.

- Les effectifs de métacercaires ont des valeurs voisines (240 kystes en moyenne pour *G. truncatula* et 286,3 pour *R. natalensis*). Ces résultats soulignent le rôle important de ces mollusques dans la transmission du Digène en Egypte.

Afin de comparer nos résultats avec ceux de la littérature, nous avons colligé, sur le tableau ci-dessous, les chiffres que plusieurs auteurs ont fournis sur les mêmes modèles :

Limnées	Origine du mollusque	Nombre de miracidiums (et origine)	Effectif des métacercaires	Température d'élevage	Références
<i>Galba truncatula</i>	France	3 ou 4 (Madagascar)	118,9	23° C	Rakotondravao et Rondelaud (1991)
	France	2 (Madagascar)	135,1-174,3	20° C	Dreyfuss et Rondelaud (1997)
<i>Radix natalensis</i>	Madagascar	2 (Madagascar)	172,1	23° C	Da Costa <i>et al.</i> (1994)
	Egypte	1 ou 3 (Egypte)	79,2	27°-29°C	Mohamed <i>et al.</i> (1998)

L'examen de ce tableau montre que nos propres valeurs sont nettement plus élevées que celles rapportées par les auteurs. Cette discordance peut s'expliquer en partie par le protocole suivi pour chaque expérience (température d'élevage pour les limnées, dose miracidienne utilisée pour l'infestation, ...). Mais on ne peut exclure la population de limnées utilisée, ni l'origine géographique des *F. gigantea* car ces deux facteurs ont une influence significative sur la sensibilité propre des mollusques à l'infestation par un trématode ou sur la productivité larvaire du parasite (Boray, 1969 ; Combes, 1995).

Chez *R. natalensis*, la différence existant entre l'effectif des métacercaires décompté au cours de la période patente et le nombre « théorique » de ces larves, établi au 49^e jour (voir le chapitre quatrième, page 115) est nettement plus grande que chez *G. truncatula*. Ceci peut s'expliquer en admettant l'existence d'un retard dans le développement larvaire de *F.*

gigantica au cours des premières semaines chez *R. natalensis*. En effet, la phase de production rédienne dure six semaines chez cette limnée (au lieu de 4 semaines dans le cas de *G. truncatula*) si bien que la phase de production cercarienne est décalée dans le temps (à partir du 42^e jour chez *R. natalensis* et du 28^e jour chez *G. truncatula*). Il en résulte que le nombre « théorique » de métacercaires établi au 49^e jour chez *R. natalensis* est largement sous-évalué.

C. LES ÉMISSIONS CERCARIENNES PAR RAPPORT A L'ORIGINE GEOGRAPHIQUE DU PARASITE.

Les durées les plus courtes de la période prépatente ont été notées dans les deux groupes Egypte. Ce résultat montre que les cercaires résultant du développement de ces miracidiums arrivent à maturité plus tôt que celles recueillies dans les deux lots Chine. De plus, dans les groupes Egypte, la durée de la phase patente et l'effectif des cercaires sont plus élevés que celles notées chez les deux autres lots. D'après Boray (1978), ces caractéristiques sont un signe de relations « normales » entre le parasite et son hôte intermédiaire car elles indiquent, dans notre propre cas, que l'isolat égyptien trouve dans les *G. truncatula* un environnement approprié pour se développer de manière complète. Ces résultats peuvent s'interpréter à l'aide des deux hypothèses suivantes :

- La première serait d'admettre que les deux populations françaises de limnées utilisées dans le cadre de cette expérience ont des sensibilités élevées à l'infestation par la souche égyptienne du parasite (d'origine bovine). Cette hypothèse s'appuie sur deux faits : *i*) la présence de *G. truncatula* en Egypte (Malek, 1959 ; Brown, 1994 ; El-Shazly *et al.*, 2002b), et *ii*) les prévalences les plus élevées de ce Digène en Egypte ont été notées chez les bovins (de 11 à 88 % d'après Spithill *et al.*, 1999).

- La deuxième hypothèse serait une grande capacité des miracidiums égyptiens pour infester des hôtes intermédiaires « anormaux », tout au moins si l'on considère que *R. natalensis* représente le mollusque hôte préférentiel pour *F. gigantica* en Egypte (Frag, 1998). Cette dernière supposition s'appuie sur la possibilité pour *F. gigantica* d'infester d'autres espèces de limnées (Boray, 1966, 1978) et sur l'existence d'infestations naturelles avec ce Digène chez une planorbe égyptienne, *Biomphalaria alexandrina* (Frag et El-Sayad, 1995).

OBSERVATIONS HISTOLOGIQUES SUR LES *Galba truncatula* INFESTES PAR *Fasciola gigantica*

Dans le troisième chapitre, nous avons déterminé le nombre des rédies de *F. gigantica* qui restent en vie chez *G. truncatula*. Cependant, cet effectif ne correspond pas à la charge rédienne globale car il existe, en plus, des larves qui dégèrent et restent cachées dans les tissus du mollusque en raison de leur petite taille. Il nous a paru important de déterminer l'effectif total des rédies que contient un mollusque parasité et de comparer ce chiffre avec celui des larves vivantes.

De plus, la présence des rédies entraîne des conséquences pathologiques sur les organes de *G. truncatula*, comme celles que Rondelaud et Barthe (1978b, 1980, 1983) ont décrites lors de l'infestation de ces limnées par *F. hepatica*. Il est donc utile de vérifier si une autre espèce de *Fasciola*, comme *F. gigantica* utilisé dans notre étude, induit le même type de réponse viscérale chez des *G. truncatula*.

Les deux premiers paragraphes présentent les buts de l'étude et le matériel et méthodes. Les troisième et quatrième subdivisions exposent les résultats obtenus tandis que le dernier paragraphe est consacré à la discussion de ces données par rapport aux éléments de la littérature parue sur ces deux points.

I. BUTS DE L'ÉTUDE.

Il s'agit :

- 1) de déterminer l'effectif des rédies dégérées de *F. gigantica* par rapport à celui des rédies qui restent en vie dans le corps de *G. truncatula*.

- 2) d'étudier la réponse de certains viscères du mollusque lors du parasitisme par *F. gigantica*.

Ces deux points ont été étudiés sur un nombre limité de mollusques (trois par date de sacrifice) aux dates suivantes : 21, 35 et 49 jours post-infestation. Le choix de cette séquence est basé sur les deux raisons suivantes :

- L'importance du temps technique, que nécessite l'histologie, nous a conduit à limiter les dates de prélèvement et le nombre de mollusques par date.

- Les aspects lésionnels, à savoir la nécrose et la reconstitution de l'épithélium, sont visibles aux dates précitées dans le cas des viscères de *G. truncatula* (Sindou, 1989) infestés par *F. hepatica*.

II. MATERIEL ET METHODES.

A. LE MOLLUSQUE.

Les *G. truncatula* utilisés dans le cadre de cette expérience ont été récoltés sur le terrain. Ils proviennent de Courcelles, commune de Saint-Michel-de-Veisse, département de la Creuse.

La dissection régulière des limnées site pendant les six mois qui précèdent le début de l'expérience a montré que ces mollusques étaient vierges des formes larvaires de trématodes.

Seuls les individus hauts de 4 (\pm 0,2) mm ont été prélevés sur le terrain. Les mollusques sont transportés, par la suite, jusqu'au laboratoire sous des conditions isothermes avant d'être placés dans des bacs d'élevage à 20° C pendant 48 heures au moins.

B. LES ŒUFS DE *Fasciola gigantica*.

Ils proviennent de l'abattoir de Tanta, gouvernorat de El-Gharbia, Egypte. Les œufs sont prélevés dans les vésicule biliaire de bovins fortement parasités.

La bile a été traitée en suivant le protocole décrit à la page 43 afin d'extraire les œufs de celle-ci. Ces derniers sont ensuite mis en incubation à 20° C pendant 20 jours à l'obscurité totale selon les données d'Ollerenshaw (1971) pour *F. hepatica*.

C. PROTOCOLE DE L'EXPERIENCE.

Chaque limnée a été exposée à deux miracidiums de *F. gigantica* pendant 4 heures. Les mollusques sont ensuite remis dans leurs bacs à 20° C (50 individus par récipient).

Au 21^e, au 35^e et au 49^e jour post-infestation, des échantillons de 5 à 10 limnées ont été disséquées sous une loupe binoculaire à l'aide de deux pinces fines.

Après avoir cassé la coquille et éliminé les débris, les masses molles des mollusques avec des formes larvaires sont immédiatement fixées dans du liquide de Bouin afin d'effectuer des coupes sériées de 5 µm d'épaisseur.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes limité à trois mollusques parasités par date de sacrifice.

D. LA TECHNIQUE HISTOLOGIQUE.

Après la fixation des mollusques pendant 2 à 3 jours (à 20° C), chaque animal subit une déshydratation dans de l'éthanol à 70° (24 heures), de l'éthanol à 90° (deux bains de deux heures chacun) et dans du 2-méthyl-2-propanol 2 (un bain de deux heures et un bain d'une nuit).

Il est ensuite placé dans de la cytoparaffine à 54°-56° C (deux bains de deux heures chacun) avant d'être inclus dans un troisième bain (à 20° C). Le bloc obtenu est débité au microtome sous forme de coupes sériées de 5 µm d'épaisseur.

La coloration est réalisée par l'hématoxyline de Harris associée au trichrome de Gabe modifié (Gabe, 1968). Les changements portent :

- sur la concentration de l'azorubine S (à 0,1 g pour 100 mL de trichrome),
- sur le remplacement du vert FCF par du vert lumière (la concentration est de 0,5 g pour 100 mL de solution).

Cette coloration permet une meilleure observation des parasites dans le corps du mollusque. Après coloration, les lames sont recouvertes de Depex.

E. PARAMETRES ETUDIÉS

Les critères permettant d'identifier les catégories rédiennes de *F. gigantea* (R1a, R1b, R2a et R2b/R3a) sur les coupes histologiques des *G. truncatula* ont déjà été décrits dans le cadre du premier chapitre (page 36). Parmi ceux-ci, c'est surtout la largeur maximale de la lumière pharyngienne et, à un degré moindre, la date de sacrifice qui permettent d'identifier la catégorie d'appartenance pour chaque rédie.

Organe	Aspect structural	Observations
Glande digestive	Nécrose épithéliale multifocale	La nécrose est limitée et ne touche que les cellules à calcium.
	Nécrose généralisée	Tous les types cellulaires sont affectés par la nécrose.
	Reconstitution épithéliale	Hyperplasie cellulaire.
Gonade	Nécrose épithéliale multifocale	Développement anormal des ovocytes et expulsion des spermatozoïdes.
	Atrophie ou non, avec nécrose généralisée	Les acini ont un volume réduit, sont souvent vides de cellules et montrent un épaissement de la membrane basale.
	Disparition des acini	Rédies présentes à l'intérieur des acini.
	Reconstitution des acini (dans les glandes sans parthenitae)	Hypertrophie des acini gonadiques restants. Présence d'un épithélium réduit en épaisseur. Prolifération désordonnée de la lignée mâle.
Glande de l'albumine	Nécrose épithéliale limitée	Atrophie limitée de la glande. Les cellules n'ont pas de structure nette.
	Nécrose étendue	Atrophie totale de la glande. Absence de sécrétion dans la lumière des acini.
	Reconstitution épithéliale	Hyperplasie cellulaire.
Rein	Nécrose épithéliale	Perte de l'architecture des lamelles. Libération de noyaux nus et de concrétions dans la lumière.
	Disparition des lamelles	L'organe est occupé par des parasites.
	Reconstitution des lamelles	Hyperplasie cellulaire.

Tableau XLIX.
 Les aspects lésionnels de quatre viscères lors de l'infestation de *Galba truncatula* par *Fasciola hepatica*.
 (d'après Rondelaud et Barthe, 1978b, 1980, 1983).

Rédies		Jour post-infestation		
		21 ^e	35 ^e	49 ^e
R1a	Vivantes	3	3	5
	Dégénérées	0	2	1
R1b	Vivantes	3	12	14
	Dégénérées	3	8	16
R2a	Vivantes	4	30	77
	Dégénérées	9	12	57
R2b/R3a	Vivantes	0	9	44
	Dégénérées	0	7	89
Nombre total des rédies (%) :	Vivantes	10 (45)	54 (65)	140 (46)
	Dégénérées	12 (55)	29 (35)	163 (54)
Charge rédienne globale		22	83	303

Tableau XLX.

L'effectif des rédies étudiées (vivantes ou dégénérées) de *Fasciola gigantica* chez *Galba truncatula* par rapport à leur catégorie d'appartenance.

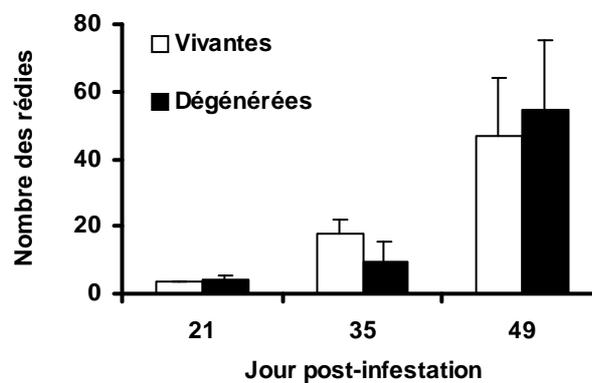


Figure 42.

L'évolution numérique des rédies (vivantes ou dégénérées) de *Fasciola gigantica* au cours d'une infestation expérimentale de *Galba truncatula*.

Les rédies dégénérées se reconnaissent à leurs noyaux surcolor s, de forme souvent allongée ou triangulaire. Les masses germinatives à l'intérieur de ces rédies sont toujours dissociées, avec des aspects déformés.

Pour étudier les conséquences histopathologiques de l'infestation par *F. gigantica* chez *G. truncatula*, quatre organes : la glande digestive, la gonade, la glande de l'albumine et le rein, ont été observés. Les aspects lésionnels observés au niveau de chaque organe sont regroupés sur le tableau XLIX.

Une réaction amibocytaire envahit les espaces intertubulaires dans la glande digestive de chaque mollusque infesté. Nous avons déterminé son intensité selon les indices proposés par Rondelaud et Barthe (1981) :

- * Indice 1 : amibocytes isolés et disséminés.
- * Indice 2 : cellules isolées ou par groupes de 2 ou 3. Densité plus élevée.
- * Indice 3 : accumulation cellulaire avec des couches d'amibocytes.
- * Indice 4 : amibocytes en nappe homogène et dense.

III. LES REDIES DE *Fasciola gigantica* SUR COUPES SÉRIÉES.

A. CHARGE REDIENNE GLOBALE.

Les effectifs des larves vivantes et dégénérées sont fournis sur le tableau XLX par rapport à leur catégorie d'appartenance. La lecture de ce dernier montre que le pourcentage des rédies dégénérées au 21^e jour de l'infestation est plus élevé que celui noté chez les rédies restant en vie. La même remarque peut être faite au 49^e jour.

Par contre, c'est l'inverse au 35^e jour avec des rédies en vie plus nombreuses que leurs homologues dégénérés.

Les effectifs des deux types de rédies augmentent progressivement jusqu'au 49^e jour de l'expérience comme le montre la figure 42. A cette dernière date, le nombre des rédies dégénérées est de 54,3 larves par mollusque alors qu'il y a 46,7 larves en vie.

L'emploi du test *t* de Student, ne montre pas de différence significative entre les moyennes des rédies dégénérées et celles des larves en vie, et ceci quelle que soit la date de sacrifice.

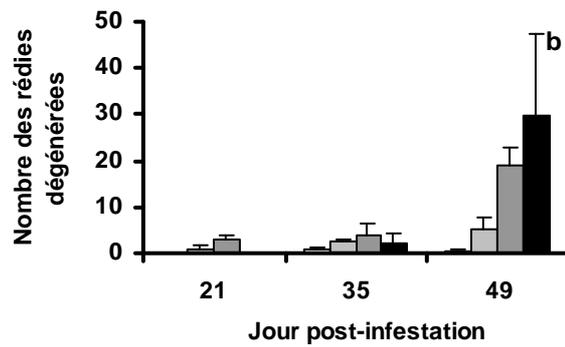
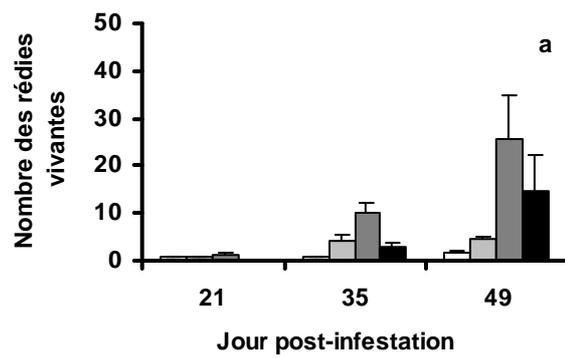


Figure 43.
Distribution numérique des réties de *Fasciola gigantica* par rapport à leur état physiologique : vivantes (a) ou dégénérées (b) sur les coupes sériées de *Galba truncatula*.

□ R1a □ R1b □ R2a ■ R2b/R3a

B. EFFECTIFS PAR CATEGORIE REDIENNE.

Les résultats sont fournis sur la figure 43.

1. Rédies vivantes.

La lecture du graphe 43a montre que les moyennes des rédies R1a fluctuent entre 1 à 2 unités au cours de l'expérience. Le nombre des rédies R1b augmente lentement jusqu'à atteindre la valeur maximale de 4,7 rédies en moyenne au 49^e jour.

Les valeurs des rédies R2a et R2b/R3a s'accroissent jusqu'au 49^e jour. A cette date, on trouve 25,7 rédies par limnée pour les R2a et 14,7 pour les R2b/R3a.

2. Rédies dégénérées.

La figure 43b présente la distribution numérique des rédies dégénérées par rapport à leur catégorie. Sur cette illustration, on peut noter les points suivants :

- Le nombre moyen des rédies R1a dégénérées est inférieur à 1 larve par limnée à partir du 35^e jour. Les R1b se comportent de la même manière que les larves vivantes si bien que leur nombre s'accroît avec la durée de l'expérience jusqu'à 5,3 rédies par limnée.

- L'effectif des R2a augmente brutalement du 35^e au 49^e jour (de 4 rédies par mollusque à 19 larves en moyenne). Comme les rédies R2a, les R2b/R3a présentent la même évolution numérique, avec un effectif de 29,7 unités au 49^e jour.

Au 49^e jour, les moyennes des deux types de rédies ont été soumises au test *t* de Student :

Catégorie rédienne	Valeur de <i>t</i>	Seuil de confiance
R1a	3,429	$P < 5 \%$
R1b	0,393	NS
R2a	1,193	NS
R2b/R3a	0,482	NS

Abréviations : NS (non significatif). *P* (probabilité au seuil de). *t* (test *t* de Student).

La lecture de celui-ci montre que les différences entre les moyennes des rédies dégénérées et celles qui restent en vie ne sont pas significatives, sauf pour les rédies R1a.

Les aspects lésionnels au niveau de quatre organes chez
Galba truncatula parasités par *Fasciola gigantica* :

- Nécrose généralisée dans les tubules de la glande digestive de *Galba truncatula* (Photo n° 1). 35^e jour d'expérience (x 100).
Le processus affecte toutes les cellules épithéliales des tubules.

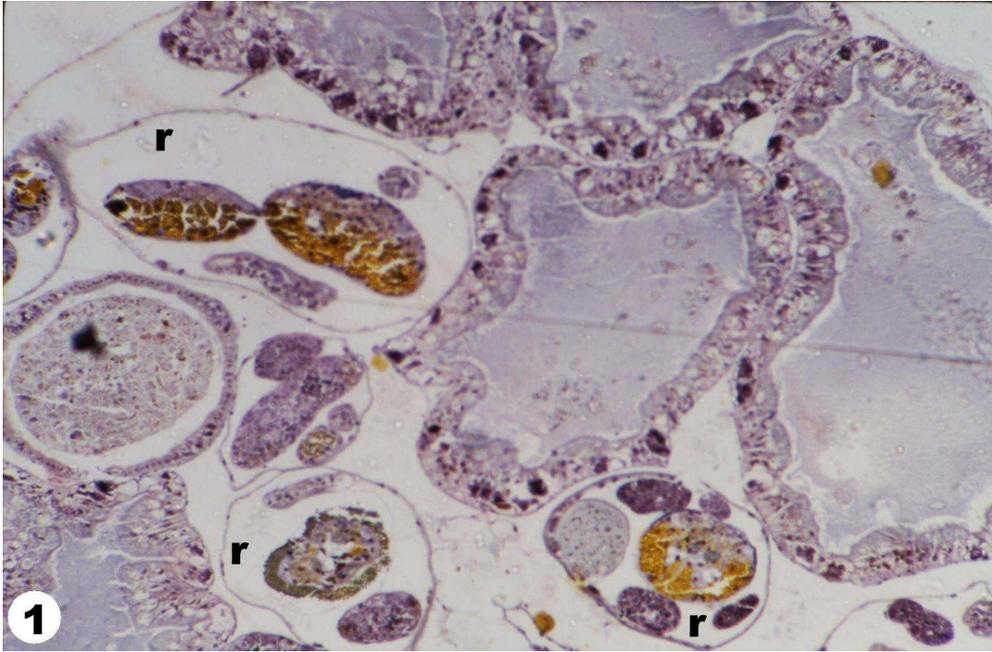
- Destruction des cellules germinatives de la gonade (Photo n° 2). 35^e jour d'expérience (x 250).
Noter la présence d'une rédie à l'intérieur d'un acinus.

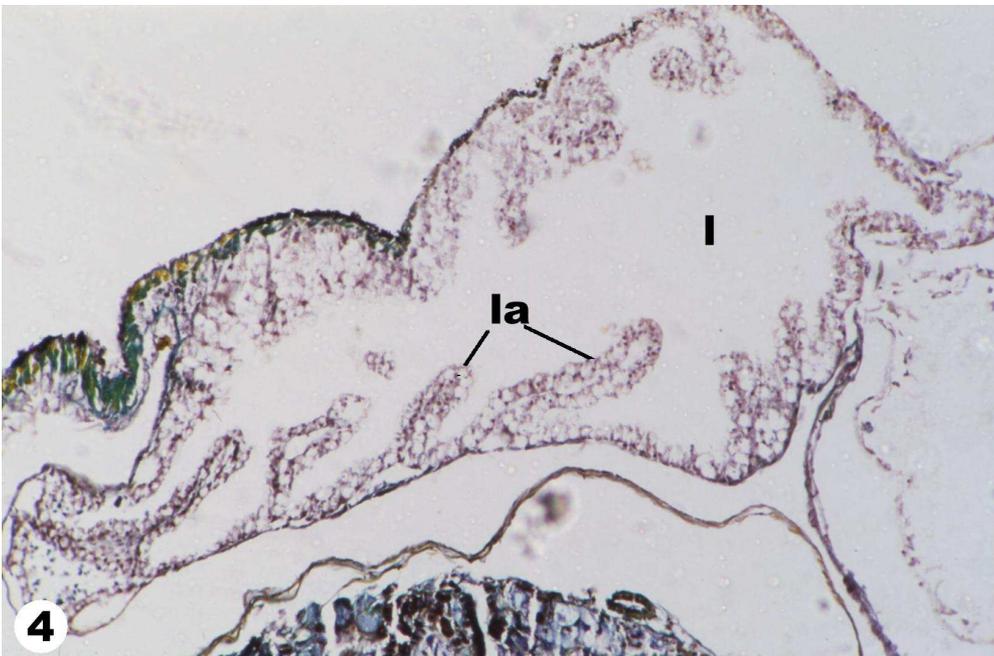
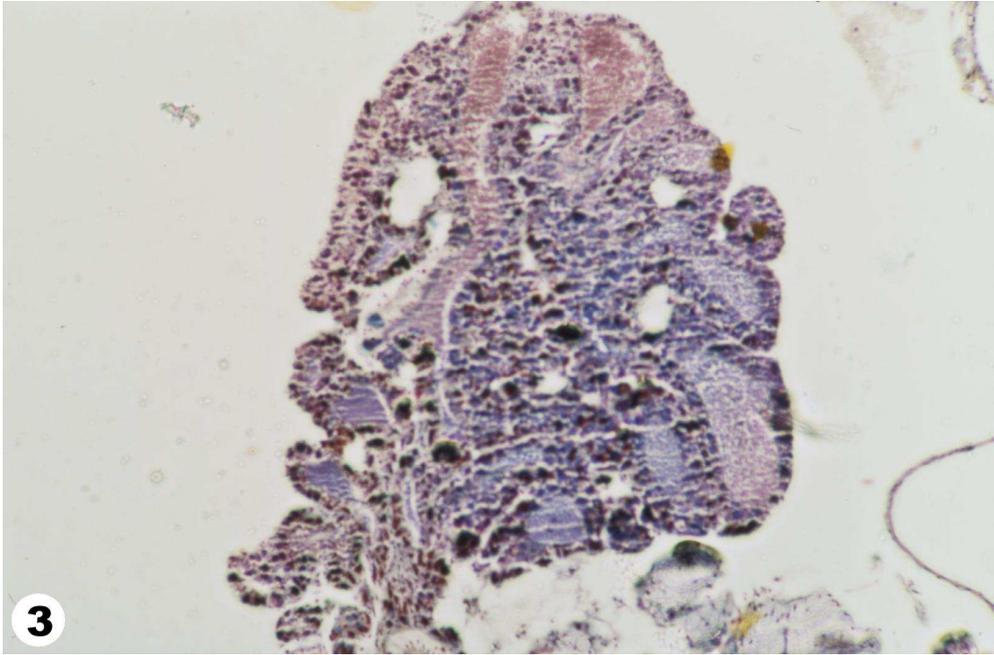
- Atrophie de la glande de l'albumine avec nécrose épithéliale (Photo n° 3). 35^e jour d'expérience (x 100).
La lumière de quelques acini est visible.

- Vue générale d'un rein en nécrose avec des lamelles désorganisées (Photo n° 4). 21^e jour d'expérience (x 100).

Abréviations :

l, lumière. la, lamelles rénales. ph, pharynx d'une rédie. r, rédie.





IV. LES CONSEQUENCES HISTOPATHOLOGIQUES SUR CERTAINS ORGANES DE *Galba truncatula*.

Les effets induits par les rédies de *F. gigantea* ont été déterminés sur les tissus des organes suivants : la glande digestive, la gonade, la glande de l'albumine et le rein, chez les *G. truncatula* infestés au 21^e, au 35^e et au 49^e jours.

A. GLANDE DIGESTIVE.

La distribution des lésions dans cet organe est présentée sur le tableau suivant :

Aspect lésionnel de l'épithélium	Date de sacrifice		
	21 jours	35 jours	49 jours
Nécrose multifocale	3	-	-
Nécrose généralisée	-	3	1
Reconstitution	-	-	2

Au 21^e jour post-infestation, une nécrose multifocale se produit dans les trois glandes examinées et ce fait s'accompagne d'une réaction amibocytaire modérée.

Une nécrose généralisée s'observe, par la suite, dans ces trois glandes au 35^e jour, avec une activité amibocytaire modérée (deux limnées) ou forte (le troisième mollusque) comme le montre la photographie n° 1.

Deux limnées ont une glande avec une reconstitution épithéliale au 49^e jour alors que ce processus est absent de la troisième. La réaction amibocytaire, intertubulaire de la glande digestive est assez importante chez les trois mollusques.

B. GONADE.

Deux limnées présentent une nécrose multifocale au 21^e jour de l'infestation alors que la troisième a une nécrose généralisée. Chez ce dernier mollusque, la lésion dans les cellules germinatives s'accompagne d'une atrophie de la gonade comme l'indique le tableau ci-dessous :

Aspect lésionnel de l'épithélium	Date de sacrifice		
	21 jours	35 jours	49 jours
Nécrose multifocale	2	-	-
Nécrose généralisée	1	-	-
Destruction en raison des rédies présentées dans la gonade.	-	3	2
Reconstitution	-	-	1

Au 35^e jour, quelques rédies ont envahi la gonade des trois limnées si bien que le contenu de ce viscère a été consommé par ces larves (Photographie n° 2).

Au 49^e jour, on observe aussi la présence de rédies dans la gonade de deux limnées alors que le dernier mollusque a une glande en reconstitution.

C. GLANDE DE L'ALBUMINE.

Les aspects lésionnels de cet organe, chez les individus infestés, sont présentés sur le tableau suivant :

Aspect lésionnel de l'épithélium	Date de sacrifice		
	21 jours	35 jours	49 jours
Nécrose multifocale	3	-	-
Nécrose généralisée	-	3	1
Reconstitution	-	-	2

La séquence pathologique dans cette glande est semblable à celle décrite pour la glande digestive. En effet, la nécrose multifocale notée au 21^e jour chez les trois limnées est suivie par un processus de même type, mais généralisé au 35^e jour comme le montre la photographie n° 3.

Un début de reconstitution épithéliale s'observe dans les tissus de deux glandes examinées au 49^e jour alors que la troisième montre une atrophie, associée à une nécrose épithéliale généralisée.

D. REIN.

Le tableau suivant montre la distribution des aspects lésionnels dans ce viscère :

Aspect lésionnel de l'épithélium	Date de sacrifice		
	21 jours	35 jours	49 jours
Nécrose généralisée	3	-	-
Reconstitution	-	3	3

Les cellules rénales des lamelles subissent une nécrose généralisée au 21^e jour (Photographie n° 4).

La reconstitution de l'épithélium débute au 35^e jour, avec la persistance de quelques lamelles dans la lumière de cet organe. Ce processus s'observe au 49^e jour chez les trois mollusques.

V. SYNTHÈSE.

A. *LES RÉDIES DE Fasciola gigantica CHEZ Galba truncatula.*

La fréquence des rédies dégénérées correspond à 54-55 % de l'effectif total respectivement au 21^e et au 49^e jours post-infestation. Par contre, leur pourcentage au 35^e jour est plus faible que celui des larves vivantes.

Si l'on considère les rédies en fonction des dates de sacrifice, on constate que les larves dégénérées augmentent en nombre dans le temps comme leurs homologues en vie. Aucune différence significative entre les deux types de rédies n'a été relevée, quelle que soit la date de prélèvement.

Les moyennes des R1a en vie sont de 1 ou 2 par mollusque alors que celles des rédies dégénérées ne dépassent pas une unité au cours de l'expérience. Un accroissement lent des moyennes pour les rédies R1b s'observe jusqu'à des maximums de 4,7 rédies vivantes et de 5,3 rédies dégénérées au 49^e jour.

Les rédies R2a et R2b/R3a présentent une augmentation brutale de leur nombre entre le 35^e et le 49^e jour. Au 49^e jour, les moyennes sont respectivement de 25,7 et de 14,7 larves vivantes, de 19 et de 29,7 pour les rédies dégénérées.

B. LES ASPECTS LÉSIONNELS SUR QUATRE ORGANES DE *Galba truncatula* INFESTÉS PAR *Fasciola gigantica*.

Dans la glande digestive et la glande de l'albumine, une nécrose multifocale de l'épithélium s'observe au 21^e jour chez les trois mollusques examinés. Cet aspect lésionnel devient généralisé au 35^e jour. Au 49^e jour, l'épithélium des deux viscères est en reconstitution chez deux limnées et est encore en nécrose généralisée chez la troisième. L'activité amibocyttaire, entre les tubules de la glande digestive, est modérée ou forte.

Au 21^e jour, deux limnées montrent une nécrose multifocale de l'épithélium gonadique tandis que la troisième présente une nécrose généralisée, avec atrophie de l'organe. Le contenu des trois glandes au 35^e jour est complètement détruit en raison de la présence de rédies dans cet organe. Ce fait a été également noté chez deux limnées au 49^e jour alors que la gonade du dernier mollusque présente un début de reconstitution épithéliale.

Une nécrose généralisée de l'épithélium rénal a été notée chez les trois limnées au 21^e jour. Une reconstitution épithéliale s'observe au 35^e et au 49^e jour.

VI. DISCUSSION.

A. LES REDIES DEGENERÉES.

Les résultats, que nous avons obtenus, montrent l'augmentation numérique de ces rédies chez *G. truncatula* jusqu'au 49^e jour. Ils confirment donc les observations de Rakotondravao *et al.* (1992) chez le même mollusque ou celles de Da Costa (1993) et Dreyfuss (1994) chez une autre espèce de limnée, *R. natalensis*. Deux hypothèses peuvent être émises pour expliquer la présence de ces rédies dégénérées lorsque la durée de l'expérience s'allonge :

- La première a été proposée par les deux derniers auteurs précités. Le volume interne du mollusque et, par suite, la quantité d'aliments disponibles chez celui-ci ne permettraient le développement que d'un nombre déterminé de parasite.

- La deuxième hypothèse s'appuie sur le fait que la quantité de nutriments n'est pas la même dans tous les régions du corps du mollusque. Si la glande digestive, qui représente l'organe le plus favorable pour le développement des formes larvaires des trématodes, est envahie par de nombreuses larves lorsque la durée de l'infestation s'accroît, les rédies et en particulier les plus petites d'entre elles qui envahissent des tissus compacts (le pied ou le manteau, par exemple), n'ont que peu d'aliments à leur disposition par rapport à la réserve

nutritive présente dans la glande digestive (Graczyk et Fried, 1999). Un argument soutenant cette affirmation provient de l'abondance des rédies dégénérées dans le pied et le manteau, particulièrement pour les R2b/R3a.

Cependant, la moyenne des rédies dégénérées au 49^e jour (soit 54,3 par limnée) est plus élevée dans la présente étude que dans le travail de Rakotondravao *et al.* (1992) au 60^e jour (11 larves par mollusque) alors que la même espèce de limnée a été utilisée. Cette discordance peut s'expliquer par les deux hypothèses suivantes :

1). La première s'appuie sur l'origine géographique des miracidiums utilisés dans chaque étude. Dans le cadre de notre expérience, les limnées ont été soumises à l'infestation expérimentale avec un isolat égyptien de *F. gigantica* alors que les mollusques de Rakotondravao *et al.* (1992) ont été exposés à une souche malgache. Comme le troisième chapitre le montre, la productivité rédienne est plus élevée pour le premier isolat que pour le second.

2). La deuxième hypothèse dépend aux conditions générales des expériences. Dans notre étude, chaque limnée est infestée par deux miracidiums et élevée à 20° C alors que Rakotondravao *et al.* (1992) ont soumis les mollusques à des infestations monomiracidienne individuelles à 23° C.

B. LES CONSEQUENCES HISTOPATHOLOGIQUES.

Les aspects lésionnels dans les quatre organes étudiés sont similaires, en grande partie, à ceux que Rondelaud et Barthe (1978b, 1980, 1983), Sindou (1989) ou Sindou *et al.* (1991) ont notés chez le même mollusque lorsqu'il est parasité par *F. hepatica*. Chacun de ces organes subit une nécrose épithéliale (multifocale ou généralisée), suivie d'une reconstitution.

La nécrose, dans la glande de l'albumine, peut s'accompagner d'une atrophie de cet organe et d'une disparition du produit de sécrétion dans la lumière des acini. Ce dernier résultat peut s'expliquer à l'aide des deux hypothèses suivantes :

- 1) L'atrophie de cet organe serait la conséquence d'un arrêt dans la croissance de la glande lorsque les individus sont infestés par *F. gigantica*. Cette explication ne cadre pas avec les observations de Pan (1965) car cet auteur rapporte l'absence de développement de l'organe chez les jeunes *Biomphalaria glabrata* lorsqu'ils sont infestés par *Schistosoma mansoni*. A notre avis, ces résultats dépendent du stade de développement (mollusque juvénile ou préadulte) pour lequel l'infestation est réalisée car la glande de l'albumine ne commence sa croissance qu'à partir de la troisième ou de la quatrième semaine de vie, tout au moins chez

G. truncatula (Rondelaud et Barthe, 1980). Cependant, ce phénomène dans la glande d'albumine peut être dû à la présence d'un facteur dans l'hémolymphe des limnées infestées et celui-ci pourrait inhiber la sécrétion de l'hormone responsable de l'activité synthétique dans cette glande, comme cela a été démontré par Joosse *et al.* (1987) ou par Jong-Brink (1990) dans le couple *Lymnaea stagnalis-Tricobilharzia ocellata*.

- 2) Une autre hypothèse, déjà proposée par Sindou (1989), fait état que la glande de l'albumine serait plus sensible à l'agression exercée par les formes larvaires de *F. hepatica* que les autres viscères du mollusque. Cet auteur a développé cette interprétation en constatant le développement rapide de la nécrose épithéliale dans cet organe, avec une évacuation des produits de lyse dans la lumière des acini et une réduction de leur volume.

Une atrophie a été également constatée dans la gonade des limnées parasitées et ce fait peut s'expliquer par l'une des trois causes suivantes :

- La sécrétion de substances toxiques par le parasite qui peuvent provoquer, soit directement, soit indirectement par l'inhibition des cellules neurosécrétrices de la limnée, une suppression totale de la gamétogenèse, comme cela a été montré chez *L. stagnalis* parasité par *T. ocellata* (Sluiters, 1978, 1981).

- La consommation des métabolites présentes dans l'hémolymphe ou la pression exercée par les rédies sur les tissus environnants lors de leur développement, ce qui entraînerait une nécrose épithéliale avec une atrophie progressive des acini, puis leur disparition. Cette hypothèse permet d'expliquer le processus de « castration parasitaire » remarqué par de nombreux auteurs comme Hodasi (1972), Cheng *et al.* (1973) ou encore Pearson et Cheng (1985).

- La castration parasitaire peut être également due à la disparition totale des cellules germinales en raison de leur consommation par les rédies lorsque celles-ci envahissent les acini (Wilson et Denison, 1980). La photographie n° 2 (page 168) appuie cette interprétation.

Les lésions dans les lamelles rénales, relevées dans la présente étude, concordent avec le premier cycle de nécrose-reconstitution décrit par Rondelaud et Barthe (1983). En effet, ces auteurs ont rapporté la succession de trois cycles au niveau de l'épithélium rénal au cours d'une infestation par *F. hepatica*.

En conclusion, les lésions induites par les rédies de *F. gigantica* chez *G. truncatula* sont identiques à celles que d'autres auteurs ont notées chez la même espèce de limnée lorsqu'elle est infestée par *F. hepatica*. On peut donc dire que la réponse viscérale du mollu-

sque à l'agression parasitaire ne dépend pas de l'espèce de *Fasciola*, comme cela a déjà été noté pour l'espèce de la limnée (Cruz-Reyes, 1982 ; Cruz-Reyes et Malek, 1987 ; Sindou, 1989) ou pour la nature de l'agent agresseur : parasitisme ou intoxication (Moukrim *et al.*, 1988). Une étude supplémentaire doit donc être réalisée pour vérifier cette conclusion en utilisant plusieurs populations de *G. truncatula* et d'autres isolats de *F. gigantica* car dans cette étude nous n'avons utilisé que une seule population de mollusque et un distinct isolat du parasite. Ces deux facteurs précités peuvent donc intervenir aux conséquences pathologiques chez les individus infestés par ce Digène.

RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

Des infestations expérimentales de deux Lymnaeidae : *G. truncatula* et *R. natalensis*, par *F. gigantica* ont été réalisées afin d'étudier les générations rédiennes de ce parasite, leur croissance et leur productivité larvaire. De plus, les caractéristiques morphométriques des rédies ont été comparées avec celles d'un autre Fasciolidé : *F. hepatica*, afin de trouver les paramètres les plus efficaces pour identifier les rédies des deux espèces de *Fasciola* et, dans le même temps, étudier si l'espèce de mollusque exerce un effet sur la morphométrie de ces larves. Les rédies dégénérées de *F. gigantica* chez *G. truncatula* et la réponse viscérale de la limnée vis-à-vis du parasitisme ont été analysées dans un dernier temps afin de déterminer l'effectif total des rédies, dérivant d'un sporocyste, et de vérifier si l'aspect pathologique induit par ces larves est spécifique ou non de l'espèce du parasite.

Nos résultats peuvent être regroupés sous les six points suivants :

1. L'identification des rédies immatures de *Fasciola* sp.

Au 28^e jour de l'infestation, aucune forme larvaire de *F. hepatica* n'a été notée chez *R. natalensis* alors que les trois autres couples : *F. hepatica* / *G. truncatula*, *F. gigantica* / *R. natalensis*, *F. gigantica* / *G. truncatula*, présentent des infestations évolutives dans le cadre de cette expérience.

Parmi les sept paramètres étudiés : la largeur de la lumière pharyngienne (LLP), la largeur du pharynx, le diamètre du collier (DC), la distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier (DAC), la longueur de l'intestin, la distance entre l'extrémité postérieure du corps et les appendices (DPA), et la longueur du corps (LC), deux d'entre eux : DAC et LLP, permettent de caractériser les rédies de *F. gigantica* chez *R. natalensis*. Par contre, les rédies de *F. gigantica* chez *G. truncatula* peuvent être reconnues par les paramètres : LC et DPA. Ces résultats montrent l'effet net de l'espèce de limnée sur la morphométrie des rédies de *F. gigantica*.

Les deux rapports : DAC / LC et DAC / DC, permettent de séparer les rédies R1b et les R2a de *F. hepatica* (chez *G. truncatula*) par rapport à leurs homologues de *F. gigantica* (chez les deux limnées).

2. Les rédies de *Fasciola gigantica* et leur croissance.

Chez les deux limnées : *G. truncatula* et *R. natalensis*, la prévalence de l'infestation par un isolat égyptien de *F. gigantica* est identique (soit 60 %). Les rédies R1b, R2a et R2b/R3a présentent une augmentation numérique significative lorsque la durée de l'expérience s'allonge. Au 49^e jour d'infestation, la charge rédienne globale est plus élevée chez *R. natalensis* que chez *G. truncatula* et cet accroissement intéresse les rédies R2a et R2b/R3a qui sont respectivement au nombre de 40,7 et de 42 rédies par *R. natalensis*. Chez la plupart des rédies, la longueur du corps et la largeur de la lumière pharyngienne augmentent progressivement en fonction de la durée de l'expérience. Au 49^e jour, ces paramètres sont significativement affectés par l'espèce du mollusque et par la catégorie rédienne.

Chez deux populations de *G. truncatula* (Courcelles et Berneuil) exposées à trois isolats de *F. gigantica* différant par leur origine géographique, les prévalences de l'infestation sont significativement plus faibles dans les deux groupes Madagascar que dans les quatre autres lots (Chine et Egypte). La charge rédienne globale chez les deux groupes de limnées infestées par l'isolat égyptien de *F. gigantica* est plus élevée que celles relevées dans les autres groupes expérimentaux, particulièrement à partir du 35^e jour de l'expérience. Chez les limnées de Courcelles par exemple, la moyenne au 49^e jour est de 32,5 larves dans le cas de l'isolat Egypte (au lieu de 12,5 et de 25 rédies pour les souches Madagascar et Chine). Dans la plupart des catégories rédiennes, la longueur du corps et la largeur de la lumière pharyngienne s'accroissent dans le temps. L'origine géographique du parasite a un effet significatif sur la longueur du corps rédien. Pour la lumière pharyngienne, c'est la catégorie rédienne qui a une influence significative sur les moyennes.

3. La productivité larvaire des rédies.

Chez *G. truncatula* et *R. natalensis*, le nombre des morulas dans les rédies de *F. gigantica* décroît et celui des embryons augmente lorsque la durée d'expérience s'allonge. Les rédies filles s'observent dans les rédies R1a et R1b à partir du 21^e jour de l'infestation chez les deux mollusques. Les procercaires et, par suite, les cercaires sont présentes au 35^e jour dans les rédies R1a et R1b chez *G. truncatula* alors qu'elles apparaissent au 42^e jour dans les

mêmes catégories chez *R. natalensis*. L'espèce du mollusque a un effet significatif sur les effectifs des morulas, des embryons et des cercaires au cours de l'expérience. La catégorie rédienne a aussi un effet net sur les moyennes de toutes les masses germinatives étudiées, quel que soit leur type. Le nombre théorique des morulas et des embryons capables de se différencier en cercaires, jusqu'au 49^e jour, est plus élevé chez *G. truncatula* que chez *R. natalensis*. Chez ces limnées, la plupart de ces cercaires provient des rédies R1b et des R2a.

Chez les deux populations de *G. truncatula* parasitées chacune par l'un des trois isolats de *F. gigantica* (Chine, Egypte ou Madagascar), le nombre de morulas diminue dans la plupart des rédies lorsque la durée de l'infestation augmente. Les effectifs des embryons passent par des maximums avant de chuter par la suite jusqu'au 49^e jour mais les dates de ces pics diffèrent selon la population de la limnée et l'isolat du parasite. Les nombres les plus élevés de rédies filles ont été notés chez les rédies R1a et R1b à partir du 21^e jour. Les procercaires et les cercaires s'observent à partir du 35^e jour chez les rédies R1a et R1b dans les deux lots Egypte. L'origine géographique des miracidiums a un effet significatif sur les effectifs des morulas, des embryons et des cercaires. Parmi les trois isolats utilisés, c'est la souche égyptienne de *F. gigantica* qui a un effet marqué sur le nombre des cercaires. L'autre facteur, la catégorie rédienne, a une influence significative sur les effectifs des morulas et des rédies filles. Au 49^e jour, le nombre le plus important des cercaires, théoriquement produites par les morulas, a été noté chez les deux groupes Egypte. La plupart des cercaires dans ces deux derniers groupes et chez les limnées de Courcelles, infestées par l'isolat Chine, provient des rédies R1b et R2a. Par contre, dans les deux groupes Madagascar et l'autre lot Chine (population de Berneuil), ce sont les catégories R1a et R1b qui forment de nombreuses cercaires.

4. Les caractéristiques des émissions cercariennes.

La production journalière des cercaires de *F. gigantica* a été déterminée chez *G. truncatula* et *R. natalensis* lorsque ils sont exposés à une infestation expérimentale avec ce parasite. Au 30^e jour, le pourcentage des *R. natalensis* restant en vie (98 %) est significativement plus élevé que celui des *G. truncatula* (80 %). A cette date, le taux de l'infestation se situe entre 55 et 65 % chez les deux limnées. Les fréquences des trois catégories de mollusques : non parasités, infestés sans émission, et parasités avec émission, ne présentent pas de différences significatives entre les deux espèces. Les durées moyennes de vie des *R. natalensis* sont plus longues que celles notées chez *G. truncatula*, quelle que soit leur catégorie. La durée moyenne de la période prépatente chez *R. natalensis* est plus élevée que celle notée

chez *G. truncatula* alors que les moyennes de la période patente sont voisines. Il n'y a pas de différence significative entre les nombres de métacercaires fournies par les deux mollusques. La plupart des métacercaires formées sont de type fixé (> 95,8 %) alors que les kystes flottants ont des pourcentages faibles (< 4,2 %), quelle que soit l'espèce de limnée.

Les émissions cercariennes des deux isolats de *F. gigantica* (Chine, Egypte) ont été ensuite étudiées chez les deux populations de *G. truncatula*. Chez ces limnées, les groupes Egypte ont les taux de survie les plus élevés au 30^e jour de l'exposition aux miracidiums. Par exemple, chez les limnées de Courcelles, le pourcentage de survie jour est significativement plus élevé dans le lot Egypte (90 %) que dans le groupe Chine (60,2 %). L'origine géographique du parasite et la population de limnée ont des effets significatifs sur les fréquences des limnées, quel que soit leur groupe. La durée moyenne de vie des mollusques dépend du groupe des limnées si bien que les mollusques infestés avec émission ont toujours les valeurs les plus élevées dans les quatre lots.

L'origine du parasite et la population du mollusque ont, aussi, un effet net sur la durée de la période prépatente alors que seule, l'origine du parasite a un effet sur la période patente. L'effectif de cercaires est plus élevé dans le cas de l'isolat égyptien. La plupart des métacercaires sont de type fixé dans les lots Egypte alors que les pourcentages des kystes fixés et flottants dans les deux autres groupes sont proches.

5. Les rédies de *Fasciola gigantica* sur des coupes sériées de *Galba truncatula*.

Au 21^e et au 49^e jours post-infestation, le pourcentage des rédies dégénérées correspond à 54-55 % de l'effectif total par ordre respectif ; par contre, au 35^e jour, leur pourcentage est plus faible que celui des larves vivantes. Les rédies dégénérées et celles restant en vie augmentent en nombre lorsque la durée de l'expérience s'allonge.

Les moyennes des R1a en vie sont de 1 ou 2 par limnée alors que celles des rédies dégénérées ne dépassent pas une unité. Les rédies R1b présentent un accroissement numérique lent jusqu'à des maxima de 4,7 rédies vivantes par mollusque et de 5,3 pour les larves dégénérées alors que les nombres des rédies R2a et des R2b/R3a augmentent brutalement entre le 35^e et le 49^e jour. A cette dernière date, les valeurs moyennes des R2a et des R2b/R3a sont respectivement de 25,7 et de 14,7 larves vivantes, de 19 et de 29,7 pour les rédies dégénérées.

6. Aspects lésionnels sur certains organes de *Galba truncatula* infestés par *Fasciola gigantica*.

Dans la glande digestive et la glande de l'albumine, une nécrose multifocale de l'épithélium s'observe au 21^e jour et cette lésion devient généralisée au 35^e jour chez les trois mollusques examinés. Au 49^e jour, l'épithélium des deux organes est en reconstitution chez deux limnées et est encore en nécrose généralisée chez la troisième. Une réaction amibocytaire modérée ou forte s'observe entre les tubules de la glande digestive. Au 21^e jour, deux limnées montrent une nécrose multifocale de l'épithélium gonadique tandis que la troisième présente une nécrose généralisée, avec atrophie de l'organe. Au 35^e jour, les cellules germinatives des trois glandes examinées ont disparu en raison de la présence des rédies dans l'organe. La même observation a été faite chez deux limnées au 49^e jour alors que le dernier mollusque présente un début de reconstitution épithéliale. Dans le rein, une nécrose généralisée de l'épithélium s'observe chez les trois limnées au 21^e jour. Ce fait se poursuit par une reconstitution épithéliale au 35^e et au 49^e jour.

Les résultats que nous avons obtenus montrent que les deux populations françaises de *G. truncatula* utilisées dans cette étude présentent une sensibilité élevée avec l'isolat égyptien de *F. gigantica*. Comme ce mollusque est présent en Egypte (Brown, 1994), il peut donc jouer un rôle important dans la transmission du parasite, en plus de celui exercé par l'hôte intermédiaire principal : *R. natalensis*. Ceci s'appuie sur le fait que des individus de *G. truncatula* ont été trouvés naturellement infestés par des formes larvaires de *Fasciola* sp. (espèce non déterminée) par El-Shazly *et al.* (2002a).

Sur le territoire égyptien, d'autres mollusques peuvent intervenir comme hôtes intermédiaires dans le cycle évolutif de *F. gigantica*. A titre d'exemple, citons *Lymnaea columella* (Ahmed et Ramzy, 1999) et *Biomphalaria alexandrina* (Frag et El-Sayad, 1995 ; El-Shazly *et al.*, 2002a). De plus, plusieurs espèces de Mammifères peuvent être infestés par *F. gigantica*, surtout dans le Delta du Nil (voir le premier chapitre). On peut donc s'attendre à ce que le problème de la fasciolose s'étende en Egypte par suite des conditions favorables qui existent pour la transmission de *F. gigantica* et, encore plus, en raison de la présence d'un autre Fasciolidé : *F. hepatica*, dans le pays, ce qui a été confirmé par Lotfy *et al.* (2002) chez les bovins.

Devant cette situation, nous proposons de développer, dans les prochaines années, les projets de recherche suivants afin de bien comprendre les relations hôte-parasite :

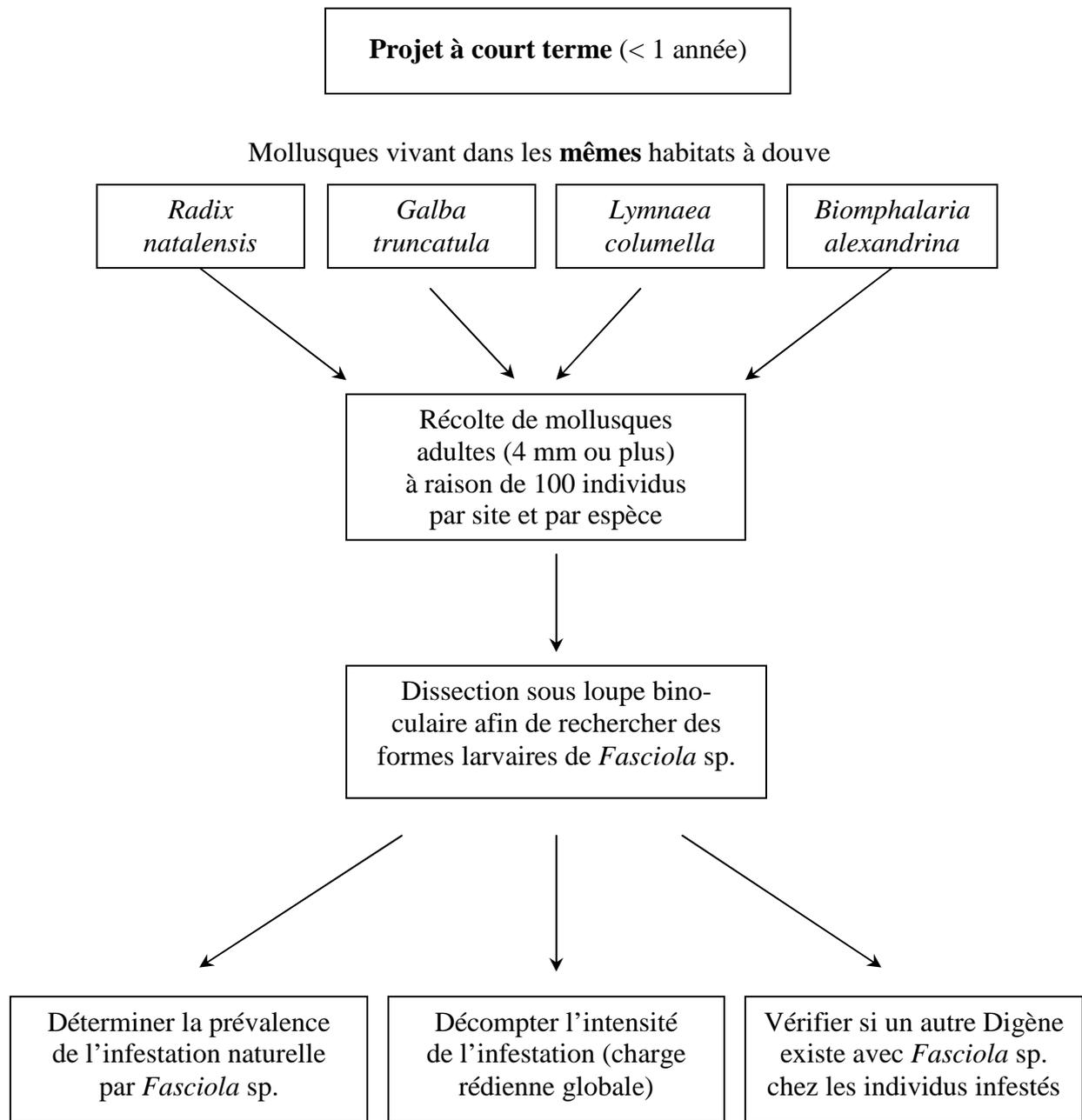


Figure 44.
Les différentes étapes prévues pour étudier les interactions trématode-mollusque sur le territoire égyptien.

a). **Projet à court terme** (< 1 année).

La figure 44 présente les étapes de ce projet pour déterminer les paramètres qui caractérisent la compatibilité entre l'hôte intermédiaire et le parasite lors d'infestations naturelles sur le terrain. Cette figure comprend les temps suivants :

1. Récolter des mollusques dans des gîtes à douve lorsque ceux-ci sont colonisés par un peuplement mixte, constitué par plusieurs espèces de Pulmonés aquatiques.

2. Disséquer les individus au laboratoire afin de trouver ceux qui contiennent des formes larvaires de *Fasciola* sp.

3. Déterminer la prévalence de l'infestation par *Fasciola* sp., décompter la charge larvaire globale (rédies et cercaires) et, enfin, rechercher s'il y a un autre Digène avec des formes larvaires de *Fasciola* sp. (infestations doubles).

Cette étude doit être réalisée tous les mois pendant une année au moins, en tenant compte des variations climatiques saisonnières car l'intensité de l'infestation fasciolienne chez *R. natalensis* varie en fonction de la succession des saisons (Farag *et al.*, 1993). Selon ces auteurs, les mollusques contenant des formes larvaires de *F. gigantica* se trouvent toute l'année mais la fréquence de l'infestation la plus élevée est notée en juin et juillet.

b). **Projet à moyen terme** (2 années).

Dans le cadre de ce projet (Fig. 45, page suivante), on examinera, sous des conditions constantes, la sensibilité des mollusques à l'infestation expérimentale par des miracidiums de *F. hepatica*, de *F. gigantica*, (provenant de bovins) ou encore des deux espèces ensemble (infestations croisées).

Ceci peut être réalisé selon le protocole suivant :

1. Collecter des mollusques dans des gîtes à douve et les transporter au laboratoire. Ils sont alors divisés en groupes de 100 individus.

2. Les exposer à l'infestation bimiracidienne individuelle par *F. hepatica* ou *F. gigantica* et vice versa.

3. Pour chaque groupe expérimental, déterminer les caractéristiques de l'infestation fasciolienne, la charge rédienne globale et la production journalière des cercaires seront étudiées.

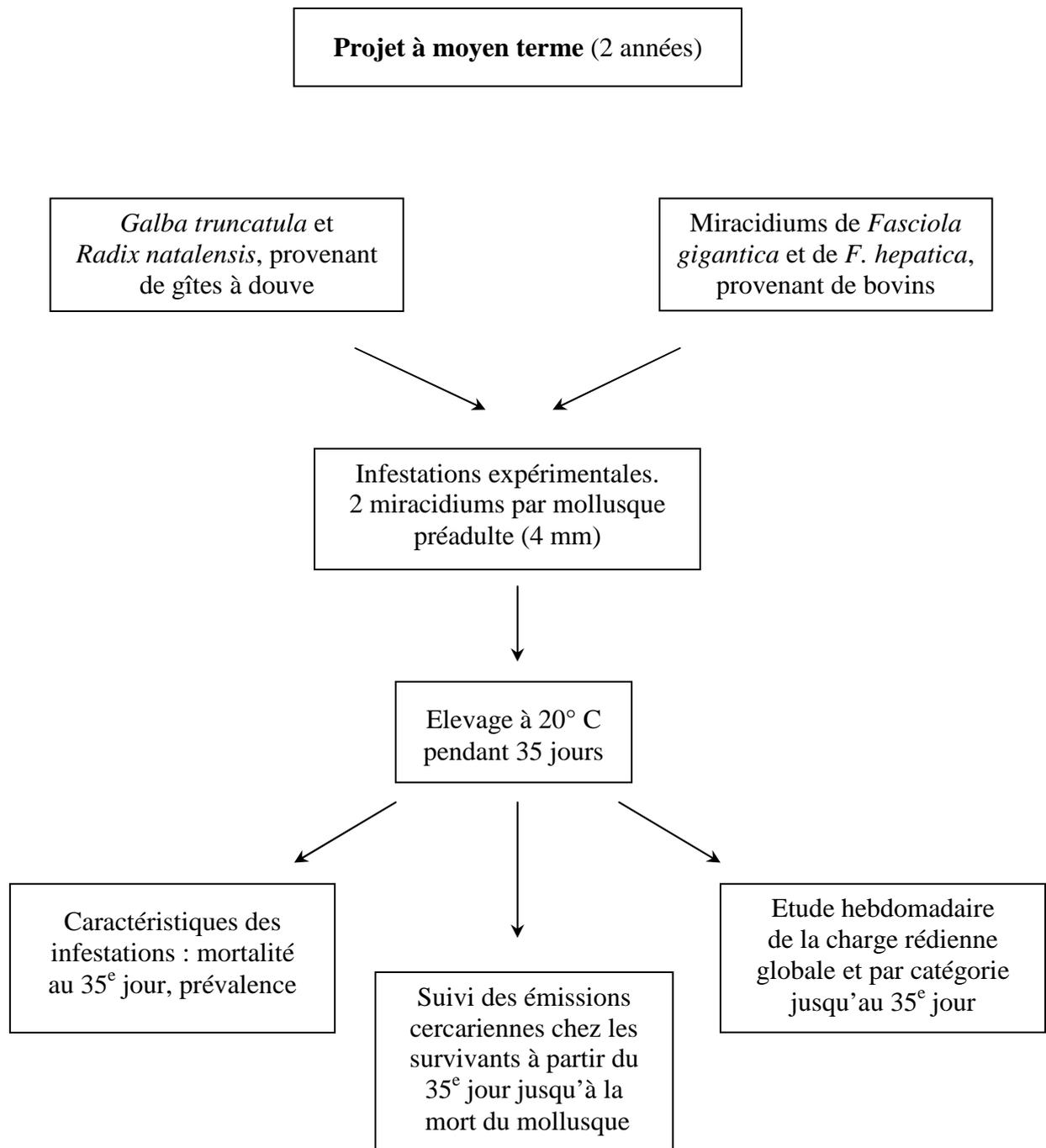


Figure 45.
Les stades du protocole pour étudier la sensibilité des limnées d’Egypte à l’infestation expérimentale par *Fasciola* sp.

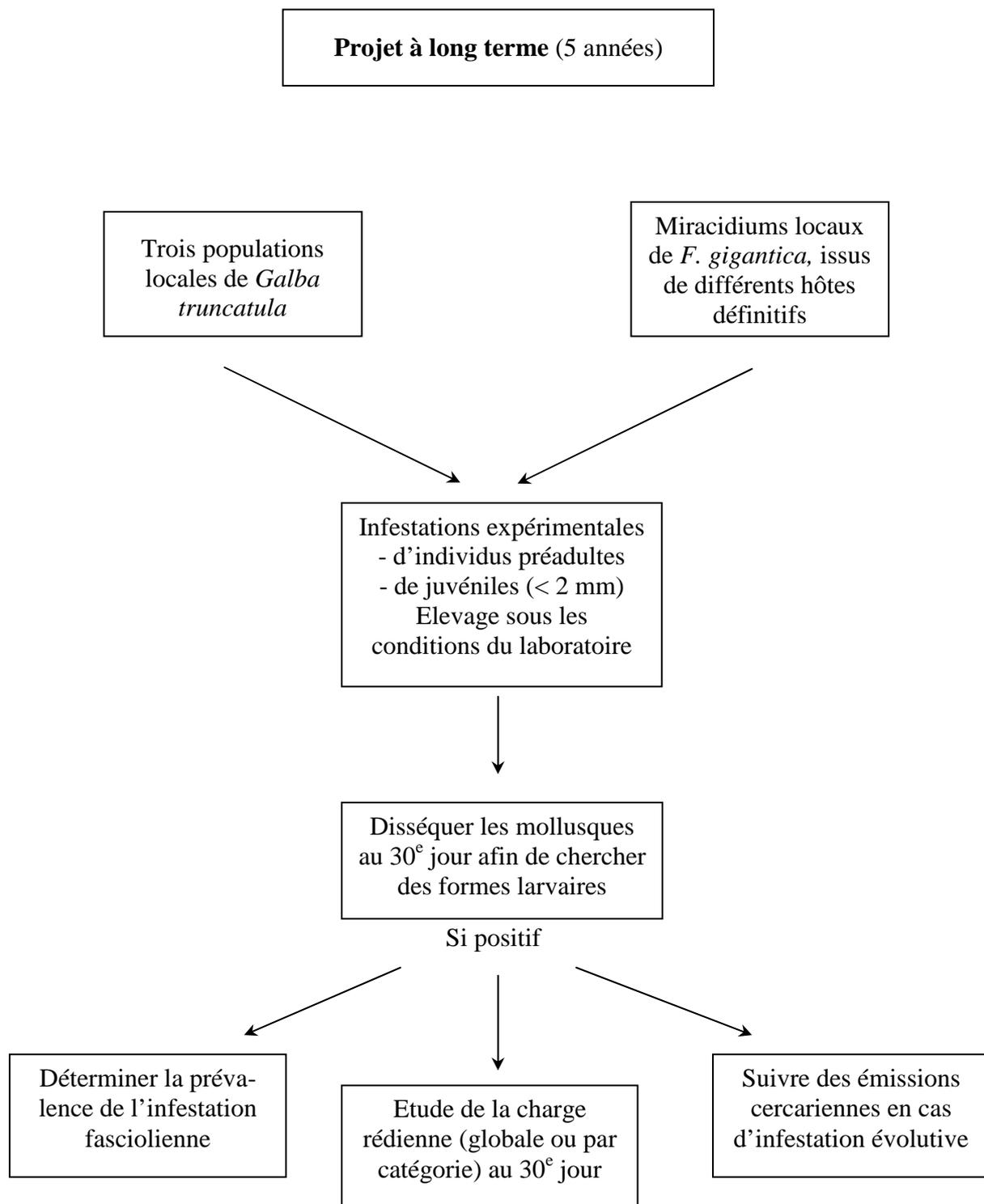


Figure 46.
Organigramme montrant les étapes pour étudier la spécificité des mollusques hôtes à l'infestation fasciolienne avec des œufs provenant de différents hôtes définitifs.

c). Projet à long terme (5 années).

Le but de celui-ci est de déterminer la spécificité de *G. truncatula* vis-à-vis de différents isolats de miracidiums provenant d'œufs récoltés chez divers hôtes définitifs lors de leur infestation par *F. gigantica*. La figure 46 schématise les processus de ce projet en indiquant les points ci-après :

1. Ramasser des mollusques préadultes (4 mm) dans plusieurs sites différant entre eux par leur latitude (Oasis, Delta du Nil, Sinaï, ...).
2. Effectuer l'infestation des mollusques par les miracidiums locaux de *F. gigantica* (en fonction de l'origine de l'hôte définitif) et maintenir les animaux au laboratoire.
3. Déterminer le taux d'infestation et la charge rédienne.
4. Dans le cas des infestations évolutives, suivre la production journalière des cercaires jusqu'à la mort de mollusque afin d'étudier les caractéristiques des émissions cercariennes.

Ces trois projets doivent nous permettre de déterminer la compatibilité entre les deux espèces de *Fasciola* que l'on rencontre sur le territoire égyptien et les différentes espèces de Pulmonés aquatiques qui vivent naturellement dans ce pays. La résolution de ces points apportera des données fiables sur le rôle des mollusques égyptiens dans le cycle évolutif des deux Digènes.

SUMMARY

Experimental infections of two species of *Lymnaea* : *G. truncatula* and *R. natalensis*, by *F. gigantica* were carried out to study the redial generations of this parasite, their growth and their larval productivity. Additionally, the morphometric characteristics of these rediae were compared with those of another Fasciolidae : *F. hepatica*, in order to find the reliable parameters that might be efficiently used to identify the rediae of both species of *Fasciola* and, in the same time, to study whether the species of mollusc have an effect on the morphometry of these larvae. The degenerated rediae of *F. gigantica* in *G. truncatula* as well as the visceral response of this snail to parasitism were analyzed at last to determine the total number of rediae, derived from a sporocyst, and to verify if the tissue lesions induced by these larvae are specific or nonspecific to the species of the parasite.

Our results could be grouped into the following six points :

1. The identification the immature rediae of *Fasciola* sp.

At day 28 post-exposure, the infections of *R. natalensis* with *F. hepatica* were abortive. In contrast, live rediae were observed in the snails of the other three groups : *F. hepatica* / *G. truncatula*, *F. gigantica* / *R. natalensis*, and *F. gigantica* / *G. truncatula*.

From the seven studied parameters : the width of pharyngeal lumen (PLW), the width of pharynx, the diameter of collar (CD), the distance from the anterior end of the body to the collar (ACD), the length of the intestine, the distance from the posterior end of the body to lateral appendices (PAD) and the length of the body (BL), two parameters : ACD and PLW, characterized the rediae of *F. gigantica* in *R. natalensis*. On the other hand, these larvae in *G. truncatula* could be recognized by the parameters BL and PAD. These results show the obvious effect of the species of *Lymnaea* on the morphometry of *F. gigantica* rediae.

The two indices : ACD / BL and ACD / CD , allow to separate the R1b and R2a rediae of *F. hepatica* (in *G. truncatula*) from those of *F. gigantica* developed in either of the two species of molluscs.

2. The rediae of *Fasciola gigantica* and their growth.

In the two lymnaeid species : *G. truncatula* and *R. natalensis*, the prevalences of infections by an Egyptian strain of *F. gigantica* were identical (60%). The R1b, R2a, and R2b/R3a rediae showed a significant numeric increase throughout the experiment. At day 49, the redial burden in *R. natalensis* was greater than that in *G. truncatula* and this increasing in numbers interested the R2a and R2b/R3a rediae whose respective values were 40.7 and 42 rediae per *R. natalensis*. For the most part of rediae, the length of the body and the width of the pharyngeal lumen progressively increased in relation to the duration of the experiment. On day 49, these two parameters were significantly affected by the species of *Lymnaea* and the category of rediae.

In the two populations of *G. truncatula* (Courcelles, and Berneuil) exposed to three isolates of *F. gigantica* of different geographic origin, the infection rates were significantly lower in the two groups of Madagascar than those of other four groups (China, and Egypt). The redial burden in the two populations of snails infected by the Egyptian strain of *F. gigantica* was higher than that noted in the other groups, particularly from day 35 onwards. In the snails of Courcelles, by example, the mean number of rediae at day 49 was 32.5 in the case of the Egyptian isolate (instead of 12.5 and 25 rediae, respectively, for the isolates from Madagascar and China). In the majority of redial categories, the body length and the width of the pharyngeal lumen increased with the time of experiment. The geographical origin of the parasite had a significant effect on the length of the body. For the pharyngeal lumen, the redial category also had a significant influence on the means of this parameter.

3. The larval productivity of rediae.

In *G. truncatula* and *R. natalensis*, the number of morulae in the rediae of *F. gigantica* decreased while that of embryos increased with the duration of the experiment. The daughter rediae are observed in the R1a and R1b parental rediae at day 21. The procercariae and, then, the cercariae are found at day 35 in the R1a and R1b rediae in *G. truncatula*, whereas they only appeared at day 42 in the same redial categories in *R. natalensis*. The species of *Lymnaea* had a significant effect on the numbers of morulae, embryos, and cercariae. The redial category also had a clear effect on the means of all germinal masses, whatever their type. In *G. truncatula*, the theoretical number of morulae and embryos capable of differentiating into cercariae until day 49 was higher than that estimated in *R. natalensis*. In the two snail species, the majority of cercariae were produced by the R1b and R2a rediae.

In the two populations of *G. truncatula* infected each by an isolate of *F. gigantica* originated from either of China, Egypt, or Madagascar, the number of morulae decreased in the majority of rediae throughout the experiment. The means of embryos, by contrast, elevated to maximum values and then declined until day 49, but the dates of these peaks differed according to the population of snails and the isolate of parasite used. The higher numbers of daughter rediae were noted in the R1a and R1b rediae from day 21 onwards. The procercariae and cercariae were observed at day 35 in the R1a and R1b rediae in the two Egyptian groups. The geographical origin of miracidia had a significant effect on the means of morulae, embryos, and cercariae. Among the three utilized strains, the Egyptian isolate of *F. gigantica* miracidia had a marked effect on the mean number of cercariae. The other factor, the redial category, significantly influenced on the numbers of morulae and those of daughter rediae. At day 49, the most important numbers of cercariae theoretically produced by morulae were noted in the two Egyptian groups. In these latter groups, as well as in the snails of Courcelles infected by the Chinese strain, most cercariae are produced by R1b and R2a rediae. On the contrary, in the two Madagascan groups and in the other Chinese group (Berenuil), the R1a and R1b categories formed numerous cercariae.

4. The characteristics of cercarial shedding.

The daily production of *F. gigantica* cercariae was followed in *G. truncatula* and *R. natalensis* when they were exposed to an experimental infection with the parasite. At day 30, the survival rate of *R. natalensis* (98%) was higher than that of *G. truncatula* (80%). At this date, the prevalences of infections varied between 55 and 65% in the two snail species. The frequencies of the three categories of *Lymnaea* : uninfected, infected without cercarial shedding, and infected with cercarial shedding, did not significantly differ between the two species. The survival mean times of *R. natalensis* were longer than those of *G. truncatula*, whatever their categories. The mean prepatent period of *R. natalensis* was higher than that observed for *G. truncatula*, while those of the patent period were close. No significant difference between the number of metacercariae produced by the two species of *Lymnaea* was found. The majority of these larvae were fixed to a substratum (>95.8%), whereas the floating cysts had low percentages.

The cercarial emissions of two isolates of *F. gigantica* (China, and Egypt) were, then, studied in two populations of *G. truncatula*. At day 30, the two Egyptian groups had higher survival values than those noted in the other groups (90% in the population of Courcelles, for

example, instead of 60.2% for the Chinese strain). The geographical origin of the parasite as well as the population of snails, had significant effects on the frequencies of snails, whatever their groups. The survival times of snails depended on these groups, as higher values were found for cercariae-shedding snails in the four experimental groups.

The origin of the parasite and the population of snails had significant effects on the duration of the prepatent period, while only the geographic origin of the miracidia had a clear effect on the patent period. The highest numbers of cercariae was found in the two Egyptian groups. In these latter, the majority of metacercariae are fixed, whereas the percentages of fixed and floating cysts in the two Chinese groups were close.

5. The rediae of *Fasciola gigantica* on serial sections of *Galba truncatula*.

At days 21 and 49 post-infection, the percentages of degenerated rediae represented 54-55% from the total redial burden, respectively ; on the contrary, at day 35, the percentage of these larvae was lower than that of living larvae. Both degenerated and alive rediae progressively increased with the duration of infection. The R1b rediae showed a slow increase up to 4.7 living and 5.3 degenerated rediae per snail, whereas the numbers of R2a and R2b/R3a rapidly increased between days 35 and 49. At this latter date, the mean numbers of living R2a and R2b/R3a were 25.7 and 14.7, respectively, while those of degenerated larvae were 19 and 29.7 per snail.

6. The tissue lesions of viscera in *Galba truncatula* infected with *Fasciola gigantica*.

In the digestive and albumin glands, a multifocal epithelial necrosis was observed at day 21 post-infection and this lesion became generalized at day 35 in the three examined snails. At day 49, the epithelium of these viscera was in reconstitution in two snails and still was in generalized necrosis in the other. A moderated or high intertubular, amoebocytic reaction was noted. At day 21, two snails show a multifocal necrosis in their gonad, while the third had a generalized lesion. At day 35, the germinal cells in the three glands disappeared because of rediae which were present inside these organs. A same finding was found in two snails at day 49, while the last one showed an epithelial reconstitution. In the kidney, a generalized epithelial necrosis was observed in the three snails on day 21. This latter lesion was followed by a reconstitution of the lamellar epithelium on days 35 and 49.

The aforementioned results indicate that the two French populations of *G. truncatula* used in the present study had a high susceptibility to experimental infections with the Egyptian strain of *F. gigantica*. Hence, this snail can play an important role in transmitting *F. gigantica* in Egypt, in addition to the principal intermediate host of this parasite : *R. natalensis*.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDEL-GHANI, A.F., 1961. – The redia of *Fasciola gigantica*. *J. Arab. Vet. Med. Assoc.*, **20**, 253-258.
- ABDOU, A.H., 1961. – *Fasciola gigantica* infection in an Egyptian rabbit. *J. Arab. Vet. Med. Assoc.*, **21**, 41-42.
- ABD-RABO, T.M.A., ABOU-RAWASH, A.A., 1998. – Some observations on *Fasciola gigantica* in donkeys at Kafr El-Sheikh. *In: Proc. Fourth Vet. Med. Zag. Congr.*, Hurgada, Egypt, 394-403.
- ABROUS, M., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., CABARET, J., 1998. – Unusual transmission of the liver fluke, *Fasciola hepatica*, by *Lymnaea glabra* or *Planorbis leucostoma*. *J. Parasitol.*, **84**, 1257-1259.
- ACHA, P.N., SZYFRES, B., 1989. – Zoonoses et maladies transmissibles communes à l'homme et aux animaux. 2^e édit. Office International des Epizooties, Paris, 1.063 p.
- AHMED, A.H., RAMZY, R.M., 1999. – Infection of two lymnaeid snails with *Fasciola gigantica* in Giza : a field study. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **29**, 687-696.
- ALBARET, J.L., BAYSSADE-DUFOUR, C., DIAW, O.T., VASSILIADES, G., GRUNER, L., 1980. – Données complémentaires sur les organites argyophiles superficiels du miracidium et de la cercaire de *Fasciola gigantica* (Cobbold, 1855) (Trematoda : Fasciolidae) et sur l'épidémiologie de ce parasite. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, **55**, 541-552.
- ALI, M.M., ABO-SHADY, A.F., EL-MALKY, S.A., HEGAZI, M.M., EL-KHOLY, E.I., 1984. – Parasitic infection among the outpatients of Dakahlia governorate with a correlation between amoebiasis and intestinal schistosomiasis. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **14**, 463-469.
- ALICATA, J.E., 1938. – Observations on the life history of *Fasciola gigantica*, the common liver fluke of cattle in Hawaii, and the intermediate host, *Fossaria ollula*. *Hawaii Agr. Exp. Stn. Bull.*, **80**, 1-22.
- AL-KUBAISEE, R.Y., ALTAIF, K.I., 1989. – Comparative studies on the sheep and buffalo isolates of *Fasciola gigantica* in the intermediate host *Lymnaea auricularia*. *Res. Vet. Sci.*, **47**, 273-274.

- ANDREWS, S.T., 1999. – The life cycle of *Fasciola hepatica*. Chapter 1. In : Fasciolosis, by DALTON, J.P., ed. CABI Publishing, Oxon, UK, 1-21.
- APOSTOLOFF, C., 2001. – Influence à posteriori de l'hôte définitif sur le développement rédien de *Fasciola hepatica* Linné et la productivité cercarienne chez le mollusque *Lymnaea truncatula* Müller. Thèse Doct. Pharmacie, Limoges, n° 303, 142 p.
- AUDOUSSET, J.C., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., VAREILLE-MOREL, C., 1989. – Les émissions cercariennes de *Fasciola hepatica* L. chez le mollusque *Lymnaea truncatula* Müller. A propos de quelques observations chronobiologiques. *Bull. Soc. Fr. Parasitol.*, **7**, 217-224.
- AUGOT, D., 1998. – Etudes sur la morphométrie, la chétotaxie et la productivité parasitaire chez les rédies de *Fasciola hepatica* Linné, 1758 (Trematoda : Fasciolidae) en fonction de leur génération. Comparaison avec *Fasciola gigantica* Cobbold, 1858. Thèse Doct. Univ. Limoges, Sci. Nat., n° 18, 183 p.
- AUGOT, D., RONDELAUD, D., 2001. – Cercarial productivity of *Fasciola hepatica* in *Lymnaea truncatula* during an usual or an unusual development of redial generations. *Parasitol. Res.*, **87**, 631-633.
- AUGOT, D., ABROUS, M., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., CABARET, G., 1995. – Les générations rédiennes de *Fasciola gigantica* Cobbold. Leur caractérisation par l'étude morphométrique et la chétotaxie de la région pharyngienne. *Bull. Soc. Fr. Parasitol.*, **13**, 173-180.
- AUGOT, D., ABROUS, M., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., CABARET, G., 1999. – *Fasciola hepatica*: an unusual development of redial generations in an isolate of *Lymnaea truncatula*. *J. Helminthol.*, **73**, 27-30.
- AUGOT, D., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., CABARET, J., BAYSSADE-DUFOUR, C., ALBARET, J.L, 1998. – Characterization of *Fasciola hepatica* redial generations (Trematoda: Fasciolidae) by morphometry and chaetotaxy under experimental conditions. *J. Helminthol.*, **72**, 193-198.
- BARTHE, D., RONDELAUD, D., 1986. – Premières études sur la susceptibilité de trois espèces de Physidae et de *Bulinus truncatus* Audouin à l'infestation fasciolienne. A propos de quelques observations histopathologiques. *Bull. Soc. Fr. Parasitol.*, **4**, 33-35.
- BAYSSADE-DUFOUR, C., ALBARET, J.L., SAMNALIEV, P., CASSONE, J., DIMITROV, V., 1980. – Les structures argyrophiles tégumentaires des stades larvaires (miracidium, rédie, cercaire) de *Fasciola hepatica*. Comparaison avec *Fasciola gigantica*. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, **55**, 553-564.
- BORAY, J.C., 1966. – Studies on the relative susceptibility of some lymnaeids to infection with *Fasciola hepatica* and *F. gigantica* and on the adaptation of *Fasciola* spp. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **60**, 114-124.
- BORAY, J.C., 1969. – Experimental fascioliasis in Australia. *Adv. Parasitol.*, **7**, 95-210.

- BORAY, J.C., 1978. – The potential impact of exotic *Lymnaea* spp. on fascioliasis in Australia. *Vet. Parasitol.*, **4**, 127-141.
- BORAY, J.C., 1982. – Fascioliasis. *In* : CRC Handbook Series in Zoonoses, by MILLER, J.G. and HOPLA, C.E., ed. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 71-88.
- BORAY, J.C., 1985. – Flukes of domestic animals. *In* : Parasites, pests and predators, by GAAFAR, S.M., HOWARD, W.E. and MARSH, R.E., eds. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, 179-218.
- BOUCHET, P., DAYNES, P., RAMALANJAONA, C., 1973. – Etude des variations saisonnières des populations de *Lymnaea natalensis* dans le Moyen-Ouest de Madagascar. *Haliotis*, **3**, 81-88.
- BOUIX-BUSSON, D., RONDELAUD, D., BARTHE, D., 1984. – Les déplacements du sporocyste de *Fasciola hepatica* L. chez *Lymnaea glabra* Müller. *Bull. Soc. Fr. Parasitol.*, **2**, 103-107.
- BROWN, D.S., 1994. – Freshwater snails of Africa and their medical importance. 2nd edit. Taylor and Francis Ltd, London, UK, 608 p.
- BRUMPT, T., 1949. – Précis de parasitologie, tome I. 6^e édit. Masson et Cie, Paris, 1.042 p.
- BURCH, J.B., BRUCE, J.I., AMR, Z., 1989. – Schistosomiasis and malacology in Jordan. *J. Med. Appl. Malacol.*, **1**, 139-164.
- CHARTIER, C., 1989. – Epidémiologie de l'infestation helminthique chez les bovins en Ituri (Haut-Zaïre). Thèse Doct. Univ. Montpellier, Parasitol., 235 p.
- CHARTIER, C., CABARET, J., BUSHU, M., KRISTENSEN, T.K., 1993. – Environmental and geographical distribution in north-east Zaïre of intermediate hosts of bovine fascioliasis (*Lymnaea natalensis*) and schistosomiasis (*Bulinus africanus*). *J. Moll. Stud.*, **59**, 117-119.
- CHAUDHRI, S.S., GUPTA, R.P., KUMAR, S., SINGH, J., SANGWAN, A.K., 1993. – Epidemiology and control of *Fasciola gigantica* infection of cattle and buffaloes in eastern Haryana, India. *Indian J. Anim. Sci.*, **63**, 600-605.
- CHEN, M.G., MOTT, K.E., 1990. – Progress in assessment of morbidity due to *Fasciola hepatica* infection : a review of recent literature. *Trop. Dis. Bull.*, **87**, R1-R38.
- CHENG, T.C., SULLIVAN, J.T., HARRIS, K.R., 1973. – Parasitic castration of the marine prosobranch gastropod *Nassarius obsoletus* by sporocysts of *Zoogenus rubellus* (Trematoda) : histopathology. *J. Invertebr. Pathol.*, **21**, 183-190.
- COMBES, C., 1968. – Biologie, écologie des cycles et biogéographie de Digènes et Monogènes d'Amphibiens dans l'est des Pyrénées. *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris, Sér. A, Zool.*, 1-195

- COMBES, C., 1995. – Interactions durables. Ecologie et évolution du parasitisme. Masson, éd., Paris, 524 p.
- CRUZ-REYES, A., 1982. – Differential suitability of six species of lymnaeid snails exposed to *Fasciola hepatica* Linnaeus. Ph. D. Thesis, Tulane, USA, 194 p.
- CRUZ-REYES, A., MALEK, E.A., 1987. – Suitability of six lymnaeid snails for infection with *Fasciola hepatica*. *Vet. Parasitol.*, **24**, 203-210.
- CZAPSKI, Z., 1977. – Biologiczne aspekty epidemiologii fasciozozy. *Monografie, Podreczniki, Skrypty A.W.F.W. Poznaniu*, **95**, 1-143.
- DA COSTA, C., 1993. – Etude de relations entre le mollusque *Lymnaea natalensis* Krauss et le parasite *Fasciola gigantica* Cobbold. Les émissions cercariennes et la charge parasitaire *post-mortem*. Mémoire D.E.S.U., Limoges, 105 p.
- DA COSTA, C., DREYFUSS, G., RAKOTONDRAVAO, RONDELAUD, D., 1994. – Several observations concerning cercarial sheddings of *Fasciola gigantica* from *Lymnaea natalensis*. *Parasite*, **1**, 39-44.
- DAR, Y., VIGNOLES, P., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., 2002. – *Fasciola gigantica* : the growth and larval productivity of redial generations in the snail *Lymnaea truncatula*. *Parasitol. Res.*, **88**, 364-367.
- DAR, Y., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., 2003a. – Cercarial shedding from *Galba truncatula* infected with *Fasciola gigantica* of distinct geographic origins. *Parasitol. Res.*, **89**, 185-187.
- DAR, Y., VIGNOLES, P., DREYFUSS, G., RONDELAUD, D., 2003b. – *Fasciola hepatica* and *Fasciola gigantica* : comparative morphometric studies on the redial stage of both species. *Parasitol. Res.*, **91**, 369-373.
- DAR, Y., VIGNOLES, P., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., 2003c. – *Fasciola gigantica* : larval productivity of three different miracidial isolates in the snail *Lymnaea truncatula*. *J. Helminthol.*, **77**, 11-14.
- DAR, Y., VIGNOLES, P., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., 2004. – Larval productivity of *Fasciola gigantica* in two lymnaeid snails. *J. Helminthol.*, sous presse.
- DAWES, B., 1959. – Penetration of the liver fluke, *Fasciola hepatica*, into the snail, *Lymnaea truncatula*. *Nature*, **184**, 1334-1335.
- DAWES, B., 1960a. – A study of the miracidium of *Fasciola hepatica* and an account of the mode of penetration of the sporocyst in *Lymnaea truncatula*. In : Libro Homenaje al Dr. Eduardo CABALLERO y CABALLERO. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Mexico, 95-111.
- DAWES, B., 1960b. – Penetration of *Fasciola gigantica* Cobbold 1855, into snail hosts. *Nature*, **185**, 51-53.

- DAWES, B., 1960c. – The penetration of *Fasciola hepatica* into *Lymnaea truncatula* and of *Fasciola gigantica* into *Lymnaea auricularia*. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **54**, 9-10.
- DAWES, B., HUGHES, D.L., 1964. – Fascioliasis : the invasive stages of *Fasciola hepatica* in the mammalian hosts. *Adv. Parasitol.*, **2**, 97-168.
- DINNIK, J.A., DINNIK, N.N., 1956. – Observations on the succession of redial generations of *Fasciola gigantica* Cobbold in a snail host. *Z. Tropenmed. Parasitol.*, **7**, 397-419.
- DINNIK, J.A., DINNIK, N.N., 1957. – A mud snail, *Lymnaea mweruensis* Connolly as an intermediate host of both liver flukes *Fasciola hepatica* L. and *Fasciola gigantica* Cobbold. *Report, E. Afr. Vet. Res. Org.*, 50-52.
- DINNIK, J.A., DINNIK, N.N., 1963. – Effect of the seasonal variations of temperature on the development of *Fasciola gigantica* in the snail host in Kenya Highlands. *Bull. Epiz. Dis. Afr.*, **11**, 197-207.
- DINNIK, J.A., DINNIK, N.N., 1964. – The influence of temperature on the succession of redial and cercarial generations of *Fasciola gigantica* in the snail host. *Parasitology*, **54**, 59-65.
- DIXON, K.E., 1965. – The structure and histochemistry of the cyst wall of the metacercaria of *Fasciola hepatica*. *Parasitology*, **55**, 215-226.
- DIXON, K.E., 1966. – A morphological and histochemical study of the cystogenic cells of the cercaria of *Fasciola hepatica*. *Parasitology*, **56**, 287-297.
- DIXON, K.E., MERCER, E.H., 1964. – The fine structure of the cyst wall of the metacercaria of *Fasciola hepatica*. *Quart. J. Micr. Sci.*, **105**, 385-389.
- DIXON, K.E., MERCER, E.H., 1967. – The formation of cyst wall of the metacercaria of *Fasciola hepatica*. *Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat.*, **77**, 345-360.
- DREYFUSS, G., 1994. – Contribution à l'étude des émissions cercariennes et de la charge parasitaire *post-mortem* chez trois espèces de limnées infestées par *Fasciola hepatica* Linné ou par *Fasciola gigantica* Cobbold. Thèse Doct. Univ. Limoges, n° 305E, 246 p.
- DREYFUSS, G., RONDELAUD, D., 1994. – *Fasciola hepatica* : a study of the shedding of cercariae from *Lymnaea truncatula* raised under constant conditions. *Parasite*, **1**, 401-404.
- DREYFUSS, G., RONDELAUD, D., 1995. – Comparative studies on the productivity of *Fasciola gigantica* and *F. hepatica* sporocysts in *Lymnaea tomentosa* died after a cercarial shedding without emission. *Parasitol. Res.*, **81**, 531-536.
- DREYFUSS, G., RONDELAUD, D., 1997. – *Fasciola gigantica* and *F. hepatica* : comparative studies of some characteristics of *Fasciola* infection in *Lymnaea truncatula* infected by either of the two trematodes. *Vet. Res.*, **28**, 123-130.

- EL-AZAZY, O.M.E., SCHILLHORN VAN VEEN, T.W., 1983. – Animal fascioliasis and schistosomiasis in Egypt and Sudan. *Helminthol. Abst., Ser. A*, **52**, 421-428.
- EL-BAHY, M.M., 1997. – Rabbit as a model for experimental fascioliasis in Egypt. *Alex. J. Vet. Sci.*, **13**, 605-616.
- EL-DAFRAWY, S.M., 2002. – Morphological and ecological studies on *Lymnaea natalensis*, the snail vector of *Fasciola gigantica* in Egypt. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **32**, 447-456.
- EL-KARAKSY, H., HASSANEIN, B., OKASHA, S., BEHAIRY, B., GADALLAH, I., 1999. – Human fascioliasis in Egyptian children : successful treatment with triclabendazole. *J. Trop. Pediatr.*, **45**, 135-138.
- EL-MAGDOUB, A.A., EL-SAYED, I.A., MAHDY, A.E., 1999. – Relationship between system of raising Egyptian buffaloes and the effect of climate conditions on the helminthic infection rate, Middle Delta, Egypt. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **29**, 505-515.
- EL-SAYAD, M.H., 1997. – Comparative studies on the effect of bithionol, praziquantel and triclabendazole in rabbit's fascioliasis. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **27**, 925-926.
- EL-SHABRAWI, M., EL-KARAKSY, H., OKASHA, S., EL-HENNAWY, A., 1997. – Human fascioliasis : clinical features and diagnostic difficulties in Egyptian children. *J. Trop. Pediatr.*, **43**, 162-166.
- EL-SHAZLY, A.M., HANDOUSA, A.E., YOUSSEF, M.E., RIZK, H., HAMOUDA, M.M., 1991. – Human fascioliasis: a parasitic health problem in Dakahlia Governorate, Egypt. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **21**, 553-559.
- EL-SHAZLY, A.M., HELMY, M.M., HARIDY, F.M., EL-SHARKAWY, E.M., MORSY, T.A., 2002a. – *Fasciola* immature stages sought in *Lymnaea* species and *Biomphalaria* species in the water bodies of Dakahlia Governorate. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **32**, 109-118.
- EL-SHAZLY, A.M., EL-WAFA, S.A., HARIDY, F.M., SOLIMAN, M., RIFAAT, M.M., MORSY, T.A., 2002b. – Fascioliasis among live and slaughtered animals in nine centers of Dakahlia Governorate. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **32**, 47-57.
- EL-SHAZLY, A.M., SOLIMAN, M., GABR, A., HASEEB, A.N., MORSY, A.T., ARAFA, M.A., MORSY, T.A., 2001. – Clinico-epidemiological study of human fascioliasis in an endemic focus in Dakahlia Governorate, Egypt. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **31**, 725-736.
- ESCLAIRE, F., AUDOUSSET, J.C., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., 1989. – Les métacercaires "flottantes" de *Fasciola hepatica* L. A propos de quelques observations sur leur structure et leurs variations numériques au cours d'une infestation expérimentale chez *Lymnaea truncatula* Müller. *Bull. Soc. Fr. Parasitol.*, **7**, 225-228.
- ESTEBAN, J.G., BARGUES, M.D., MAS-COMA, S., 1998. – Geographical distribution, diagnosis and treatment of human fascioliasis: a review. *Res. Rev. Parasitol.*, **58**, 13-42.

- ESTEBAN, J.G., FLORES, A., ANGLÉS, R., MAS-COMA, S., 1999. – High endemicity of human fascioliasis between lake Titicaca and La Paz valley, Bolivia. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **93**, 151-156.
- ESTEBAN, J.G., GONZALEZ, C., CURTALE, F., MUNOZ-ANTOLI, C., VALERO, M.A., BARGUES, M.D., EL-SAYED, M., EL-WAKEEL, A.A., ABDEL-WAHAB, Y., MONTRESOR, A., ENGLÉS, D., SAVIOLI, L., MAS-COMA, S., 2003. – Hyper-endemic fascioliasis associated with schistosomiasis in villages in the Nile Delta of Egypt. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **69**, 429-437.
- EUZEBY, J., 1971. – Les maladies vermineuses des animaux domestiques et leurs incidences sur la pathologie humaine. Tome II : Maladies dues aux Plathelminthes. Fasc. 2: Trématodes. Livre 1 : Généralités. Distomatoses hépato-biliaires. Vigot frères éd., Paris, 798 p.
- EZZAT, M.A., ABDEL-GHANI, A.F., 1960. – The daily output of *Fasciola gigantica* eggs as estimated from a naturally infected rabbit. *In: Proc. First Ann. Vet. Congr.*, Cairo, Egypt, 345-347.
- FALKNER, G., VAN RIPKEN, Th.E.J., FALKNER, M., 2002. – Mollusques continentaux de France. Liste de référence annotée et bibliographie. *Patrimoines naturels*, **52**, 350 p.
- FARAG, H.F., 1998. – Human fascioliasis in some countries of the eastern Mediterranean region. *East. Mediterr. Health J.*, **4**, 156-160.
- FARAG, H.F., EL SAYAD, M.H., 1995. – *Biomphalaria alexandrina* naturally infected with *Fasciola gigantica* in Egypt. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **89**, 36.
- FARAG, H.F., BARAKAT, R.M., RAGAB, M., OMAR, E., 1979. – A focus of human fascioliasis in the Nile Delta, Egypt. *J. Trop. Med. Hyg.*, **82**, 188-190.
- FARAG, H.F., SALEM, A.I., KHALIL, S.S., FARAHAT, A., 1993. – Studies on human fascioliasis in Egypt. 1 Seasonality of transmission. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **23**, 331-340.
- FAUST, E.C., 1955. – Animal agents and vectors of human disease. University Press, Philadelphia, USA, 245 p.
- GABE, M., 1968. – Techniques histologiques. Masson et Cie éd., Paris, 1.113 p.
- GAILLET, P., LIANCE, M., RIVOLLET, D., HOUIN, R., 1983. – Situation de la fasciolose en France. Enquête rétrospective portant sur les 30 dernières années. *Bull. Soc. Fr. Parasitol.*, **1**, 79-82.
- GASNIER, N., RONDELAUD, D., ABROUS, M., CARRERAS, F., BOULARD, C., DIEZ-BAÑOS, P., CABARET, J., 2000. – Allopatric combination of *Fasciola hepatica* and *Lymnaea truncatula* is more efficient than sympatric ones. *Int. J. Parasitol.*, **30**, 573-578.

- GERMAIN, L., 1931. – Mollusques terrestres et fluviatiles. Fauna de France, tome 21, Libr. Fac. Sci. éd., Paris, 893 p.
- GLÖER, P., MEIER-BROOK, M., 1994. – Süßwassermollusken. Ein Bestimmungsschlüssel für die Bundesrepublik Deutscher Jugendband für Naturbeobachtung, Hamburg, Germany, 136 p.
- GOLD, D., GOLDBERG, M., 1979. – Temperature effect on the susceptibility of four species of *Lymnaea* snails to infection with *Fasciola hepatica* (Trematoda). *Isr. J. Zool.*, **28**, 193-198.
- GRABDA-KAZUBSKA, B., NIEWIADOMSKA, K., KANEV, I., BAYSSADE-DUFOUR, C., 1991. – Système nerveux des Trématodes. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, **66**, 24-31.
- GRACZYK, T.K., FRIED, B., 1999. – Development of *Fasciola hepatica* in the intermediate host. Chapter 2. In : Fasciolosis, by DALTON, J.P., ed. CABI Publishing, Oxon, UK, 31-46.
- HALAWANI, A.A., GINDY, M., 1957. – A short account on the economic importance of *Fasciola gigantica*, its effect on the livestock and snail vector. *J. Egypt. Vet. Med. Assoc.*, **40**, 547.
- HAMMOUDA, N.A., EL-MANSOURY, S.T., EL-AZZOUNI, M.Z., EL-GOHARI, Y., 1995. – Therapeutic effect of triclabendazole in patients with fascioliasis in Egypt. A preliminary study. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **25**, 137-143.
- HARIDY, F.M., MORSY, T.A., 2000. – Camel : a new Egyptian host for *Fasciola gigantica*. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **30**, 451-554.
- HARIDY, F.M., MORSY, T.A., GAWISH, N.I., ANTONIOS, T.N., ABDEL GAWAD, A.G., 2002. – The potential reservoir role of donkeys and horses in zoonotic fascioliasis in Gharbia Governorate, Egypt. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **32**, 561-570.
- HASEEB, A.N., EL-SHAZLY, A.M., ARAFA, M.A., MORSY, A.T., 2002. – A review on fascioliasis in Egypt. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **32**, 317-354.
- HASSAN, M.M., MOUSTAFA, N.E., MAHMOUD, L.A., ABBAZA, B.E., HEGAB, M.H., 1995. – Prevalence of *Fasciola* infection among school children in Sharkia Governorate, Egypt. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **25**, 543-549.
- HASSAN, M.M., FARGHALY, A.M., GABER, N.S., NAGEEB, H.F., HEGAB, M.H., GALA, N., 1996. – Parasitic causes of hepatomegaly in children. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **26**, 177-189.
- HASSANAIN, M.A., SHALABY, S.I., DERBALA, A.A., 1990. – Infectivity and antibody response of irradiated *Fasciola gigantica* encysted metacercariae in rabbits. *J. Egypt. Vet. Med. Assoc.*, **50**, 267-274.
- HASSLINGER, M.A., EL-SEIFY, M.M., 1996. – A study of the infestation with paramphistomids in equids in Egypt. *Berl. Münch. Tierarztl. Wochenschr.*, **109**, 224-226.

- HILLYER, G.V., APT, W., 1997. – Foodborne trematode infections in the Americas. *Parasitol. Today*, **13**, 87-88.
- HODASI, J.K.M., 1972. – The effects of *Fasciola hepatica* on *Lymnaea truncatula*. *Parasitology*, **65**, 359-369.
- HOPE CAWDERY, M.J., GETTINBY, G., GRAINGER, J.N.R., 1978. – Mathematical models for predicting the prevalence of liver-fluke disease and its control from biological and meteorological data. In: Weather and Parasitic Animal Disease. World Meteorological Organization, Technical Note, n° 159, 21-38.
- HUBENDICK, B., 1951. – Recent *Lymnaeidae*. Their variation, morphology, taxonomy, nomenclature and distribution. *Klung, Svenska Vetenskaps. Akad. Handlingar*, **3**, 1-222.
- ITAGAKI, T., UCHIDA, A., ITAGAKI, H., 1989. – Susceptibility of Japanese *Lymnaea ollula* to Nigerian *Fasciola gigantica*. *Jap. J. Vet. Sci.*, **51**, 853-854.
- JOOSSE, J., VAN ELK, R., MOSSELMAN, S., WORTELBOER, H., VAN DIEPEN, J.C., 1988. – Schistosomin: a pronase-sensitive agent in the hemolymph of *Tricobilharzia ocellata*-infected *Lymnaea stagnalis* inhibits the activity of albumen glands *in vitro*. *Parasitol. Res.*, **74**, 228-234.
- JONG-BRINK, M., 1990. – How trematode parasites interfere with reproduction of their intermediate host, freshwater snails. *J. Med. Appl. Malacol.*, **2**, 101-133.
- JOSENS, G., VARY, B., DEVOS, Z., 1990. – Etude en microscopie électronique à balayage de la grande Douve du foie *Fasciola hepatica* Linnaeus, 1758. *Ann. Méd. Vét.*, **134**, 467-477.
- KENDALL, S.B., 1950. – Snail hosts of *Fasciola hepatica* in Britain. *J. Helminthol.*, **24**, 63-74.
- KENDALL, S.B., 1954. – Fascioliasis in Pakistan. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **48**, 307-313.
- KENDALL, S.B., 1965. – Relationships between the species of *Fasciola* and their molluscan hosts. *Adv. Parasitol.*, **3**, 59-98.
- KENDALL, S.B., McCULLOUGH, F.S., 1951. – The emergence of cercariae of *Fasciola hepatica* from the snail *Lymnaea truncatula*. *J. Helminthol.*, **25**, 77-92.
- KENDALL, S.B., OLLERENSHAW, C.B., 1963. – The effect of nutrition on the growth of *Fasciola hepatica* in its snail host. *Proc. Nutr. Soc.*, **22**, 41-46.
- KHALIL, H.M., ABDEL, T.M., MAKLAD, M.K., ABDALLAH, H.M., FAHMY, I.A., EL-ZAYYAT, E.A., 1990. – Specificity of crude and purified *Fasciola* antigens in immunodiagnosis of human fascioliasis. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **20**, 87-94.
- KHALLAAYOUNE, K., 1989. – Sheep fascioliasis in Morocco : epidemiology and serodiagnostic. Ph. D. Thesis, Univ. Minnesota, 196 p.

- KØIE, M., NAMSEN, P., CHRISTENSEN, N.O., 1977. – Stereoscan studies of rediae, cercariae, cysts, excysted metacercariae and migratory stages of *Fasciola hepatica*. *Z. Parasitenkd.*, **54**, 289-297.
- LANG, B.Z., 1977. – Snail and mammalian hosts for *Fasciola hepatica* in eastern Washington. *J. Parasitol.*, **63**, 938-939.
- LAPAGE, G., 1956. – Veterinary parasitology. Oliver and Boyd, Edinburgh-London, UK, 964 p.
- LEUCKART, R., 1883. – Zur Entwicklungsgeschichte des Leberegels (*Distomum hepaticum*). *Arch. Naturgesch.*, **48**, 80-119.
- LOSSON, B., 1988. – Chimio prophylaxie et chimiothérapie de la distomatose : médicaments classiques et molécules nouvelles. *Ann. Méd. Vét.*, **132**, 93-106.
- LOTFI, A., YOUSSEF, H., NASSAR, A., EL-AZIZ, N.A., 1995. – Fascioliasis in slaughtered animals, the incidence and public health importance. *Fleischwirts.*, **75**, 803-804.
- LOTFY, W.M., EL-MORSHEDEY, H.N., ABOU EL-HODA M., EL-TAWILA, M.M., OMAR, E.A., FARAG, H.F., 2002. – Identification of the Egyptian species of *Fasciola*. *Vet. Parasitol.*, **103**, 323-332.
- MAGE, C., 1988. – Contribution à l'étude de la fasciolose à *Fasciola hepatica* L. chez les bovins allaitants dans le Limosin et la Cerdagne (France). Conséquences zootechniques et essais thérapeutiques. Thèse Doct. Univ. Limoges, France, Sci. Nat. n° 3, 142 p.
- MALEK, E.A., 1980. – Snail-transmitted parasitic diseases. Vol. 2. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- MANSOUR, N.S., YOUSSEF, F.G., MIKHAIL, E.M., BOCTOR, F.N., 1983. – Use of a partially purified *Fasciola gigantica* worm antigen in the serological diagnosis of human fascioliasis in Egypt. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **32**, 550-554.
- MAS-COMA, S., ANGLES, R., ESTEBAN, J.G., BARGUES, M.D., BUCHON, P., FRANKEN, M., STRAUSS, W., 1999. – The Northern Bolivian Altiplano : a region highly endemic for human fasciolosis. *Trop. Med. Int. Health*, **4**, 454-467.
- MASSOT, M., SENOUCI-HORR, K., 1983. – Etude de la répartition de *Lymnaea truncatula* dans le Nord-est algérien et sa réceptivité à *Fasciola hepatica*. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, **58**, 19-25.
- MASSOUD, J., SADJADI, S., 1980. – Susceptibility of different species of *Lymnaea* snails to miracidia of *Fasciola gigantica* and *Fasciola hepatica*. *J. Helminthol.*, **54**, 201-202.
- MATTES, O., 1949. – Wirtsfindung, Invasionsvorgang und Wirtsspezifität beim *Fasciola*-Miracidium. *Z. Parasitenkd.*, **14**, 320-363.

- MAZYAD, S.A., EL-NEMR, H.I., 2002. – The endoparasites of sheep and goats, and shepherd in North Sinai Governorate, Egypt. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **32**, 119-126.
- McKOWN, R.D., RIDLEY, R.K., 1995. – Distribution of fascioliasis in Kansas, with results of experimental snail susceptibility studies. *Vet. Parasitol.*, **56**, 281-291.
- MEEK, A.H., MORRIS, R.S., 1979. – The longevity of *Fasciola hepatica* metacercariae encysted on herbage. *Aust. Vet. J.*, **55**, 58-60.
- MERCER, E.H., DIXON, K.E., 1967. – The fine structure of the cystogenic cells of the cercaria of *Fasciola hepatica* L. *Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat.*, **77**, 331-344.
- MIKHAIL, E.M., FARID, Z., YOUSSEF, F.G., MANSOUR, N.S., 1990. – Counterimmuno-electrophoresis for the rapid and specific diagnosis of acute fascioliasis and schistosomiasis. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **84**, 400-401.
- MOENS, R., 1974. – Bijdrage tot de oecologie van de leverbotslak, *Lymnaea truncatula* Müller. Thèse Doct. Fac. Landbouwwetenschappen, Gent, Belgique.
- MOHAMED, S.H., MOSTAFA, O.M., MOHAMMAD, A.H., 1998. – Susceptibility of some pulmonate snails to the infection with *Fasciola* spp. from various mammalian hosts. *J. Uni. Arab Biol.*, **10**, 29-44.
- MOUKRIM, A., 1991. – Etude écologique et éthologique de *Lymnaea truncatula* Müller et de son parasite, *Fasciola hepatica* L. dans le système d'irrigation de Tassila, province d'Agadir. Charge parasitaire et conséquences histopathologiques. Thèse Doc. ès-Sci. (Maroc), Parasitol., Agadir, n° 2, 203 p.
- MOUKRIM, A., RONDELAUD, D., BARTHE, D., 1988. – Premières données sur les effets d'une concentration sub létale de trichlorfon chez le mollusque *Lymnaea peregra ovata* Müller. A propos de quelques observations histopathologiques. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, **113**, 381-387.
- NOZAIS, J.-P., 1996. – Fascioloses (distomatoses à *Fasciola hepatica*, *F. gigantica*). In : *Traité de parasitologie médicale*, par NOZAIS, J.-P., DATRY, A. et DANIS, M., eds. Editions Pradel, Paris, 651-670.
- OGAMBO-ONGOMA, A.H., GOODMAN, J.D., 1976. – *Fasciola gigantica* Cobbold 1855 in the snail. *J. Parasitol.*, **62**, 33-38.
- OLLERENSHAW, C.B., 1971. – Some observations on the epidemiology of fascioliasis in relation to the timing of molluscicide applications in the control of the disease. *Vet. Rec.*, **88**, 152-164.
- OLLERENSHAW, C.B., GRAHAM, E. G., 1986. – Differentiation of the rediae of *Fasciola hepatica* and *F. gigantica*. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **80**, 572-574.
- ONO, Y., ISODA, M., MATSUMURA, S., 1954. – Preventive study of *Fasciola hepatica* infection. II. Effects on metacercariae of various environmental conditions and drugs (en japonais). *J. Jap. Vet. Med. Assoc.*, **7**, 153-155.

- OSMAN, M.M., HELMY, M.H., 1994. – Molecular weight determination of *Fasciola* antigens specific for diagnosis of acute fascioliasis. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **24**, 471-478.
- OVER, H.J., 1967. – Ecological biogeography of *Lymnaea truncatula* in the Netherlands. Thèse Doct., Univ. Utrecht, Hollande, 140 p.
- OVER, H.J., 1982. – Ecological basis of parasite control : trematodes with special reference to fascioliasis. *Vet. Parasitol.*, **11**, 85-97.
- PAN, C.T., 1965. – Studies on the host-parasite relationship between *Schistosoma mansoni* and the snail *Australorbis glabratus*. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **14**, 931-976.
- PEARSON, E.J., CHENG, C.T., 1985, – Studies on parasitic castration : occurrence of a gametogenesis-inhibiting factor in the extract of *Zoogenus rubellus* (Trematoda). *J. Invertebr. Pathol.*, **46**, 239-246.
- POLYAKOVA, O.I., CASAHOV, A.M., 1965. – Role of hyaluronidase in the penetration of *Fasciola hepatica* miracidia into the intermediate host. *Matr. Konf. Vses. Obshch. Gel'mint.*, **1**, 172-174.
- PREVERAUD-SINDOU, M., RONDELAUD, D., 1995. – Localization and outcome of *Fasciola hepatica* sporocysts in *Lymnaea truncatula* subjected to mono- or plurimicidal exposures. *Parasitol. Res.*, **81**, 265-267.
- PRICE, E.W., 1953. – The fluke situation in American ruminants. *J. Parasitol.*, **39**, 119-134.
- RAKOTONDRAVAO, 1984. – Contribution à l'étude épidémiologique de la distomatose à *Fasciola gigantica* Cobbold à Madagascar. Thèse Doct. Univ., Sci. Nat., Limoges, n° 21, 227 p.
- RAKOTONDRAVAO, RONDELAUD, D., 1991. – Les émissions cercariennes de *Fasciola gigantica* Cobbold chez le mollusque *Lymnaea truncatula* Muller. *Bull. Soc. Fr. Parasitol.*, **9**, 87-92.
- RAKOTONDRAVAO, MOUKRIM, A., HOURDIN, P., RONDELAUD, D., 1992. – Redial generations of *Fasciola gigantica* in the pulmonate snail *Lymnaea truncatula*. *J. Helminthol.*, **66**, 159-166.
- RICHARD, J., 1971. – La chétotaxie des cercaires. Valeur systématique et phylétique. *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat., Sér. A, Zool.*, **67**, 1-179.
- RONDELAUD, D., 1974. – L'évolution des rédies de *Fasciola hepatica* L. chez *Galba truncatula* Müller en Limousin. *Rev. Méd. Vét.*, **124**, 1079-1090.
- RONDELAUD, D., 1978. – Contribution à l'étude écologique et éthologique de *Lymnaea (Galba) truncatula* Müller, vecteur de *Fasciola hepatica* L. Recherche de moyens de lutte biologique en Limousin. Thèse Doct. ès-Sci. Nat., Limoges, n° 4, 302 p.

- RONDELAUD, D., 1993. – Variabilité interpopulationnelle de l'infestation fasciolienne chez le mollusque *Lymnaea truncatula* Müller. Influence du contact préalable de la population avec le parasite. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, **118**, 185-193.
- RONDELAUD, D., BARTHE, D., 1978a. – Arguments et propositions pour une nouvelle interprétation de l'évolution de *Fasciola hepatica* L. dans *Lymnaea (Galba) truncatula* Müller. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, **53**, 201-213.
- RONDELAUD, D., BARTHE, D., 1978b. – La reconstitution de l'épithélium digestif chez *Lymnaea (Galba) truncatula* Müller après infestation par les formes larvaires de *Fasciola hepatica* L. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, **53**, 255-264.
- RONDELAUD, D., BARTHE, D., 1980. – Données histopathologiques sur l'épithélium génital de *Lymnaea truncatula* Müller infestée par *Fasciola hepatica* L. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, **105**, 481-490.
- RONDELAUD, D., BARTHE, D., 1981. – Données expérimentales sur la réaction amibocytaire généralisée présentée par *Lymnaea truncatula* Müller lors de son infestation par *Fasciola hepatica* L. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, **56**, 593-606.
- RONDELAUD, D., BARTHE, D., 1982a. – Les générations rédiennes de *Fasciola hepatica* L. chez *Lymnaea truncatula* Müller. A propos des effets de plusieurs facteurs. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, **57**, 245-262.
- RONDELAUD, D., BARTHE, D., 1982b. – Les générations rédiennes de *Fasciola hepatica* L. chez *Lymnaea truncatula* Müller. Pluralité des schémas de développement. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, **57**, 639-642.
- RONDELAUD, D., BARTHE, D., 1983. – Les modifications structureles du rein chez *Lymnaea truncatula* Müller infestée par *Fasciola hepatica* L. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, **58**, 109-116.
- RONDELAUD, D., BARTHE, D., 1987a. – *Fasciola hepatica* L. : étude de la productivité d'un sporocyste en fonction de la taille de *Lymnaea truncatula* Müller. *Parasitol. Res.*, **74**, 155-160.
- RONDELAUD, D., BARTHE, D., 1987b. – *Fasciola hepatica* : étude du développement des rédies chez quatre espèces de limnées. *Bull. Soc. Fr. Parasitol.*, **5**, 99-104.
- RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., 1995. – *Fasciola hepatica* : the influence of the definitive host on the characteristics of infection in the snail *Lymnaea truncatula*. *Parasite*, **2**, 275-280.
- RONDELAUD, D., DENEVE, C., BELFAIZA, M., MEKROUD, A., ABROUS, M., MONCEF, M., DREYFUSS, G., 2004. – Variability in the prevalence of infections and cercarial production in *Galba truncatula* raised on a high quality diet. *Parasitol. Res.*, sous presse.
- SAINT-GUILLAIN, M., 1968. – Etude histologique des premiers stades évolutifs de *Fasciola hepatica* L. *Acta. Zool. Pathol. Antwerp.*, **46**, 77-132.

- SALEM, A.I., OSMAN, M.M., EL-DALY, S., FARAHAT, A., 1993. – Studies on *Lymnaea* snails and their trematode parasites in Abis II village, Alexandria. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, **23**, 477-483.
- SHAHEEN, H., AL-KHAFIF, M, FARAG, R.M., KAMAL, K.A., 1994. – Serodifferentiation of human fascioliasis from schistosomiasis. *Trop. Geogr. Med.*, **46**, 326-327.
- SINDOU, P., 1989. – Contribution à l'étude de la pathologie viscérale chez plusieurs espèces de limées infestées par *Fasciola hepatica* L. Thèse Doct. Univ., Limoges, n° 16, 168 pp.
- SINDOU, P., CABARET, J., RONDELAUD, D., 1991. – Survival of snails and characteristics lesions of *Fasciola hepatica* infection in four European species of *Lymnaea*. *Vet. Parasitol.*, **40**, 47-58.
- SLUITERS, J.F., 1978. – The effects of *Trichobilhazia ocellata* infection on the development of the gonad and the reproduction tract of *Lymnaea stagnalis*. Short Communication, I C O P A IV, Warszawa, Poland, F, 20.
- SLUITERS, J.F., 1981. – Development of *Trichobilhazia ocellata* in *Lymnaea stagnalis* and the effect of infection on the reproductive system of the host. *Z. Parasitenkd.*, **64**, 303-319.
- SMITH, B.J., 1989. – Traveling snails. *J. Med. Appl. Malacol.*, **1**, 195-204.
- SOLIMAN, K.N., FARID, A., 1960. – An outbreak of parasitic bronchopneumonia in a flock of imported sheep. *In: Proc. First Ann. Vet. Congr., Cairo, Egypt.* 269-275.
- SOULSBY, E.J.L., 1982. – Helminths, arthropods and protozoa of domesticated animals. 7th edit. Lea and Febiger, Philadelphia, USA, 809 p.
- SPITHILL, T.W., SMOOKER, P.M., COPEMAN, D. B., 1999. – *Fasciola gigantica* : epidemiology, control, immunology and molecular biology. Chapter 15. *In : Fasciolosis*, by DALTON, J.P., ed. CABI Publishing, Oxon, UK, 465-525.
- STAT-ITCF, 1988. – Manuel d'utilisation. Institut Technique des Céréales et des Fourrages, Service des Etudes Statistiques, Boigneville, 210 p.
- STOTHARD, J.R., BERMOND, P., ANDRIAMARO, L., LOXTON, N.J., SELLIN, B., SELLIN, E., ROLLINSON, D., (2000). – Molecular characterization of the fresh water snail *Lymnaea natalensis* (Gastropoda : Lymnaeidae) on Madagascar with an observation of an unusual polymorphism in ribosomal small subunit genes. *J. Zool.*, **252**, 303-315.
- TAYLOR, E.L., 1965. – Fascioliasis and the liver fluke. F.A.O. Agricultural Studies, Roma, Italy, n° 64, 235 p.

- TEMBELY, S., COULIBALY, E., DEMBELE, K., KAYENTAO, O., KOUYATE, B., 1995. – Intermediate host populations and seasonal transmission of *Fasciola gigantica* to calves in central Mali, with observations on nematode populations. *Vet. Parasitol.*, **22**, 127-136.
- THAPAR, G.S., TANDON, R.S., 1952. – On the life history of liver-fluke *Fasciola gigantica* Cobbold, 1855 in India. *Indian J. Helminthol.*, **4**, 1-36.
- THOMAS, A.P., 1881. – Report of experiments on the development of the liver fluke (*Fasciola hepatica*). *J. Roy. Agric. Soc. Engl.*, **17**, 1-28.
- THOMAS, A.P., 1882. – Second report of experiments on the development of the liver fluke (*Fasciola hepatica*). *J. Roy. Agric. Soc. Engl.*, **18**, 439-455.
- THOMAS, A.P., 1883a. – The natural history of the liver fluke and the prevention of rot. *J. Roy. Agric. Soc. Engl.*, **19**, 276-305.
- THOMAS, A.P., 1883b. – The life-history of the liver-fluke (*Fasciola hepatica*). *Quart. J. Micr. Sci., N.S.*, **23**, 99-133.
- TORGERSON, P., CLAXTON, J., 1999. – Epidemiology and control. Chapter 4. In : Fasciolosis, by DALTON, J.P., ed. CABI Publishing, Oxon, UK, 113-149.
- VAUGHAN, J.L., CHARLES, J.A., BORAY, J.C., 1997. – *Fasciola hepatica* infection in farmed emus (*Dromaius novaebollandiae*). *Aust. Vet. J.*, **75**, 811-813.
- VIGNOLES, P., DREYFUSS, G., RONDELAUD, D., 2002. – The redial growth and cercarial productivity of *Fasciola hepatica* in three species of young lymnaeid snails. *J. Helminthol.*, **76**, 269-272.
- WATANABE, S., 1962. – Fascioliasis of ruminants in Japan. *Bull. Off. Int. Epiz.*, **58**, 313-322.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1995. – Control of foodborne trematode infections. WHO Technical Report Series, n° 849. WHO, Geneva, Switzerland, 1-157.
- WILSON, R.A., DENISON, J., 1980. – The parasitic castration and gigantism of *Lymnaea truncatula* infected with the larval stages of *Fasciola hepatica*. *Z. Parasitenkd.*, **61**, 109-119.
- WILSON, R.A., PULLIN, R., DENISON, J., 1971. – An investigation of the mechanism of infection by digenetic trematodes : the penetration of the miracidia of *Fasciola hepatica* into the snail host *Lymnaea truncatula*. *Parasitology*, **63**, 491-506.
- WRIGHT, W.R., 1927. – Studies on larval trematodes from North Wales. Part I. Observations on the redia, cercaria and cyst of *Fasciola hepatica*. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **21**, 47-60.
- YONG CONG, M., PERERA DE PUGA, G., 1991. – The external and internal morphology of the intermediate hosts of *Fasciola hepatica*. *Rev. Cub. Med. Trop.*, **43**, 13-16.

- YOUSSEF, F.G., MANSOUR, N.S., 1991 – A purified *Fasciola gigantica* worm antigen for the serodiagnosis of human fascioliasis. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Heg.*, **85**, 535-537.
- YOUSSEF, F.G., MANSOUR, N.S., AZIZ, A.G., 1991. – Early diagnosis of human fascioliasis by the detection of copro-antigens using counterimmunoelectrophoresis. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Heg.*, **85**, 383-384.
- ZISCHKE, J.A., 1967. – Redial populations of *Echinostoma revolutum* developing in snails of different sizes. *J. Parasitol.*, **53**, 1200-1204.

Listes des illustrations

Figures	Pages
Figure 1. <i>Fasciola hepatica</i> adulte : les systèmes digestif et reproducteur	5
Figure 2. Un exemplaire adulte de <i>Fasciola gigantica</i>	6
Figure 3. La distribution géographique de <i>Fasciola hepatica</i> et <i>F. gigantica</i>	8
Figure 4. Le cycle de développement générale pour <i>Fasciola hepatica</i> et <i>F. gigantica</i>	9
Figure 5. Organigramme montrant les principales étapes dans le développement de <i>Fasciola hepatica</i> chez l'hôte définitif	13
Figure 6. La morphologie des formes larvaires de <i>Fasciola hepatica</i> et de <i>F. gigantica</i> : l'œuf operculé, la structure interne du miracidium et la morphologie externe montrant les 21 cellules épithéliales	20
Figure 7. La pénétration du miracidium de <i>Fasciola hepatica</i> chez <i>Galba truncatula</i>	22
Figure 8. La morphologie du sporocyste et de la rédie chez <i>Fasciola hepatica</i>	24
Figure 9. Cercaires et métacercaires : la morphologie des cercaires de <i>Fasciola</i> <i>hepatica</i> et de <i>F. gigantica</i> , et la coupe transversale d'une métacercaire de <i>F. hepatica</i>	26
Figure 10. Schéma de développement des générations rédiennes de <i>Fasciola</i> sp.....	29
Figure 11. Les trois modes du développement rédien pour <i>Fasciola hepatica</i>	31
Figure 12. Schéma de développement des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> en fonction du temps	32
Figure 13. Schémas des pharynx de <i>Fasciola hepatica</i>	34
Figure 14. La distribution des sensilles péri-orificielles chez les rédies de <i>Fasciola</i> <i>hepatica</i> , et les R2b/R3a de <i>F. gigantica</i>	35
Figure 15. Les paramètres morphométriques sur les rédies vivantes de <i>Fasciola</i> sp.	44
Figure 16. Les valeurs de quatre paramètres chez les rédies de <i>Fasciola</i> sp. par rapport à l'espèce du mollusque hôte et à la catégorie rédienne	48

Figure 17. Les valeurs des trois paramètres chez les rédies de <i>Fasciola</i> sp. par rapport à l'espèce du mollusque hôte et à la catégorie rédienne	51
Figure 18. Schémas montrant la morphologie générale des rédies R1b de <i>Fasciola</i> <i>gigantica</i> chez <i>Radix natalensis</i> , de <i>F. hepatica</i> chez <i>Galba truncatula</i> et de <i>F. gigantica</i> chez <i>G. truncatula</i>	57
Figure 19. Les principales étapes des protocoles mis en place pour étudier la croissance des rédies de <i>Fasciola gigantica</i>	65
Figure 20. <i>Fasciola gigantica</i> : l'évolution de la charge rédienne globale chez deux limnées par rapport à la durée de l'infestation	68
Figure 21. Distribution numérique des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> par rapport à leur catégorie chez <i>Galba truncatula</i> et chez <i>Radix</i> <i>natalensis</i> en fonction de la durée de l'infestation	70
Figure 22. <i>Fasciola gigantica</i> : la longueur des rédies chez <i>Galba truncatula</i> et <i>Radix</i> <i>natalensis</i> par rapport à la durée de l'expérience et à la catégorie rédienne	73
Figure 23. <i>Fasciola gigantica</i> : la largeur de la lumière pharyngienne chez les rédies se développant chez <i>Galba truncatula</i> et <i>Radix natalensis</i> par rapport à la durée de l'expérience et à la catégorie rédienne	76
Figure 24. La charge rédienne globale de <i>Fasciola gigantica</i> dans les six groupes <i>Galba truncatula</i>	81
Figure 25. Le nombre des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> par rapport à leur catégorie dans les groupes expérimentaux de <i>Galba truncatula</i>	82
Figure 26. L'évolution des longueurs pour les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> dans les trois groupes de <i>Galba truncatula</i> réalisés avec la population de Courcelles	87
Figure 27. L'évolution des longueurs pour les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> dans les trois groupes de <i>Galba truncatula</i> réalisée avec la population de Berneuil	88
Figure 28. La largeur de la lumière pharyngienne chez les rédies de <i>Fasciola</i> <i>gigantica</i> dans les trois groupes de <i>Galba truncatula</i> , réalisés avec la population de Courcelles	93

Figure 29. La largeur de la lumière pharyngienne chez les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> dans les trois groupes de <i>Galba truncatula</i> , réalisés avec la population de Berneuil	94
Figure 30. Le développement de <i>Fasciola gigantica</i> chez leurs mollusques hôtes	99
Figure 31. Variations numériques des masses germinatives chez les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> se développant dans <i>Radix natalensis</i> par rapport à la durée de l'infestation	108
Figure 32. Variations numériques des masses germinatives chez les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> se développant dans <i>Galba truncatula</i> (population de Berneuil) par rapport à la durée de l'infestation	110
Figure 33. Variations numériques des masses germinatives chez les rédies R1a et R1b de <i>Fasciola gigantica</i> se développant dans <i>Galba truncatula</i> (population de Courcelles) par rapport à la durée de l'infestation	116
Figure 34. Variations numériques des masses germinatives chez les rédies R2a et R2b/R3a de <i>Fasciola gigantica</i> se développant dans <i>Galba truncatula</i> (population de Courcelles) par rapport à la durée de l'infestation	117
Figure 35. Variations numériques des masses germinatives chez les rédies R1a et R1b de <i>Fasciola gigantica</i> se développant dans <i>Galba truncatula</i> (population de Berneuil) par rapport à la durée de l'infestation	119
Figure 36. Variations numériques des masses germinatives chez les rédies R2a et R2b/R3a de <i>Fasciola gigantica</i> se développant dans <i>Galba truncatula</i> (population de Berneuil) par rapport à la durée de l'infestation	120
Figure 37. Les émissions cercariennes de <i>Fasciola gigantica</i> à partir de <i>Galba truncatula</i> (population de Berneuil)	140
Figure 38. Les émissions cercariennes de <i>Fasciola gigantica</i> chez <i>Radix natalensis</i>	141
Figure 39. Les émissions cercariennes de l'isolat égyptien de <i>Fasciola gigantica</i> chez <i>Galba truncatula</i> (Courcelles)	149
Figure 40. Les émissions cercariennes de l'isolat chinois de <i>Fasciola gigantica</i> chez <i>Galba truncatula</i> (Courcelles)	150

	Pages
Figure 41. Les émissions cercariennes de l'isolat chinois de <i>Fasciola gigantica</i> chez <i>Galba truncatula</i> (Berneuil)	152
Figure 42. L'évolution numérique des rédies (vivantes ou dégénérées) de <i>Fasciola gigantica</i> au cours d'une infestation expérimentale de <i>Galba truncatula</i>	163
Figure 43. Distribution numérique des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> par rapport à leur état physiologique sur les coupes sériées de <i>Galba truncatula</i>	165
Figure 44. Les différentes étapes prévues pour étudier les interactions trématode-mollusque sur le territoire égyptien	182
Figure 45. Les stades du protocole provisoire pour étudier la sensibilité des limnées d'Égypte à l'infestation expérimentales par <i>Fasciola</i> sp.	184
Figure 46. Organigramme montrant les étapes pour étudier la spécificité des mollusques hôtes à l'infestation fasciolienne avec des œufs provenant de différents hôtes définitifs	185

Tableaux

Tableau I. Les hôtes définitifs de <i>Fasciola hepatica</i> et de <i>F. gigantica</i>	11
Tableau II. Les principales espèces de limnées intervenant comme hôtes intermédiaires naturels dans le cycle évolutif de <i>Fasciola hepatica</i>	15
Tableau III. Les principales espèces de limnées intervenant comme hôtes intermédiaires naturels dans le cycle évolutif de <i>Fasciola gigantica</i>	17
Tableau IV. La sensibilité des limnées à l'infestation par <i>Fasciola hepatica</i> ou <i>F. gigantica</i>	18
Tableau V. La mortalité et la prévalence de l'infestation fasciolienne au 28 ^e jour post-exposition dans les quatre groupes expérimentaux	46
Tableau VI. La charge rédienne de <i>Fasciola</i> sp. dans les différents groupes et la répartition des rédies en fonction de leur catégorie	46
Tableau VII. Les résultats de l'analyse de variance pour quatre paramètres par rapport au groupe expérimental et à la catégorie rédienne de <i>Fasciola</i> sp.	49

Tableau VIII. Les résultats des deux tests PLSD de Fisher sur l'influence du groupe expérimental et de la catégorie rédienne de <i>Fasciola</i> sp. sur quatre paramètres	49
Tableau IX. Les résultats de l'analyse de variance pour trios paramètres par rapport au groupe expérimental et à la catégorie rédienne de <i>Fasciola</i> sp.	52
Tableau X. Les résultats des deux tests PLSD de Fisher sur l'influence du groupe expérimental et de la catégorie rédienne de <i>Fasciola</i> sp. sur trois paramètres	52
Tableau XI. Les valeurs de quatre indices chez les rédies de <i>Fasciola</i> sp.	54
Tableau XII. Les résultats de l'analyse de variance pour les quatre indices se rapportant aux rédies de <i>Fasciola</i> sp.	55
Tableau XIII. Les résultats de deux tests PLSD de Fisher sur l'influence du groupe expérimental et de la catégorie rédienne de <i>Fasciola</i> sp sur quatre indices	55
Tableau XIV. Les caractéristiques des groupes expérimentaux réalisées pour étudier la croissance des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> chez deux espèces de limnées	63
Tableau XV. Distribution numérique des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> chez deux limnées par rapport à leur catégorie	68
Tableau XVI. Le résultat de l'analyse de variance sur les effectifs rédiens de <i>Fasciola gigantica</i> (au 49 ^e jour d'expérience) par rapport à leur catégorie	71
Tableau XVII. Les résultats de deux tests PLSD de Fisher sur l'influence de l'espèce du mollusque et celle de la catégorie rédienne sur la distribution numérique des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> par rapport à leur catégorie	71
Tableau XVIII. Le résultat de l'analyse de variance sur les longueurs des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> (au 49 ^e jour d'expérience) par rapport à leur catégorie	74
Tableau XIX. Les résultats de deux tests PLSD de Fisher sur l'influence de l'espèce de mollusque et celle de la catégorie rédienne sur la longueur des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> par rapport à leur catégorie	74
Tableau XX. Le résultat de l'analyse de variance sur la largeur des lumières pharyngiennes chez les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> (au 49 ^e jour d'expérience) par rapport à leur catégorie	77

Tableau XXI. Les résultats de deux tests PLSD de Fisher sur l'influence de l'espèce de mollusque et celle de la catégorie rédienne sur la largeur des lumières pharyngiennes chez les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> par rapport à leur catégorie	77
Tableau XXII. La prévalence de l'infestation fasciolienne par <i>Fasciola gigantica</i> dans six groupes de <i>Galba truncatula</i> infestées par l'un ou l'autre des trois isolats de miracidiums	79
Tableau XXIII. Les résultats fournis par le test de comparaison des fréquences expérimentales dans les six groupes de <i>Galba truncatula</i> infestés par <i>Fasciola gigantica</i>	79
Tableau XXIV. Les valeurs des coefficients de corrélation (r) entre les effectifs des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> et la durée de l'infestation chez <i>Galba truncatula</i>	84
Tableau XXV. Les résultats de l'analyse de variance sur les effectifs rédiens de <i>Fasciola gigantica</i> (au 49 ^e jour) dans les six groupes de <i>Galba truncatula</i>	85
Tableau XXVI. Les résultats de deux tests PLSD de Fisher sur l'influence de l'origine du parasite et celle de la catégorie rédienne sur la distribution numérique de rédies de <i>Fasciola gigantica</i> dans les six groupes de <i>Galba truncatula</i>	85
Tableau XXVII. Les valeurs des coefficients de corrélation (r) entre les longueurs des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> et la durée de l'infestation chez <i>Galba truncatula</i>	90
Tableau XXVIII. Les résultats de l'analyse de variance sur la longueur du corps des rédies de <i>Fasciola gigantica</i> (au 49 ^e jour) dans les six groupes de <i>Galba truncatula</i>	91
Tableau XXIX. Les résultats de deux tests PLSD de Fisher sur l'influence de l'origine du parasite et celle de la catégorie rédienne sur la longueur des rédies de <i>Fasciola gigantica</i>	91
Tableau XXX. Les valeurs des coefficients de corrélation (r) entre les largeurs des lumières pharyngiennes chez les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> et la durée de l'infestation chez <i>Galba truncatula</i>	96
Tableau XXXI. Les résultats de l'analyse de variance sur la largeur de la lumière pharyngienne chez les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> dans les six groupes de <i>Galba truncatula</i>	97

Tableau XXXII. Les résultats du test PLSD de Fisher sur l'influence de la catégorie rédienne sur la largeur de la lumière pharyngienne chez les rédies de <i>Fasciola gigantica</i>	97
Tableau XXXIII. Les étapes pour calculer la productivité cercarienne des rédies R1a, R1b et R2a de <i>Fasciola gigantica</i> chez les mollusques hôtes	106
Tableau XXXIV. Les effets de trois facteurs sur les masses germinatives intra-rédienne de <i>Fasciola gigantica</i> chez les deux espèces de limnées au cours de l'expérience	112
Tableau XXXV. Les résultats des tests PLSD de Fisher sur l'influence de la catégorie rédienne sur les effectifs des masses germinatives de <i>Fasciola gigantica</i>	113
Tableau XXXVI. Les effets de trois facteurs sur les masses germinatives intra-rédiennes <i>Fasciola gigantica</i> au cours de l'infestation	122
Tableau XXXVII. Les résultats des tests PLSD de Fisher sur l'influence de la catégorie rédienne et de l'origine du parasite sur les nombres des masses germinatives <i>Fasciola gigantica</i>	123
Tableau XXXVIII. Les nombres des morulas et des embryons qui peuvent se différencier en cercaires dans les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> au 49 ^e jour pour les deux populations de <i>Galba truncatula</i> par rapport à l'origine géographique du parasite	125
Tableau XXXIX. Les caractéristiques des deux expériences réalisées pour étudier les émissions cercariennes de <i>Fasciola gigantica</i> chez deux espèces de limnées	133
Tableau XL. Les paramètres utilisés et leur mode de calcul lors de l'étude sur les caractéristiques des émissions cercariennes de <i>Fasciola gigantica</i> dans les groupes expérimentaux	135
Tableau XLI. Les caractéristiques des émissions cercariennes de <i>Fasciola gigantica</i> chez les deux limnées	137
Tableau XLII. L'influence de deux facteurs sur la durée de vie des <i>Galba truncatula</i> et des <i>Radix natalensis</i> au 30 ^e jour d'expérience	138

	Pages
Tableau XLIII. Les résultats de deux tests PLSD de Fisher sur la durée de vie des limnées par rapport à leur catégorie	138
Tableau XLIV. L'influence de l'espèce du mollusque sur trois paramètres se rapportant aux émissions cercariennes de <i>Fasciola gigantica</i>	138
Tableau XLV. Les caractéristiques des émissions cercariennes de <i>Fasciola gigantica</i> chez deux populations de <i>Galba truncatula</i> par rapport à l'origine géographique des miracidiums	143
Tableau XLVI. L'influence de trois facteurs sur la durée totale de vie <i>Galba truncatula</i>	145
Tableau XLVII. Les résultats du test de PLSD de Fisher sur la durée totale de vie des limnées par rapport à leur catégorie	145
Tableau XLVIII. Les résultats d'une analyse de variance sur trois paramètres se rapportant aux émissions cercariennes de <i>Fasciola gigantica</i>	147
Tableau XLIX. Les aspects lésionnels de quatre viscères lors de l'infestation de <i>Galba truncatula</i> par <i>Fasciola hepatica</i>	162
Tableau XLX. L'effectif des rédies étudiées (vivantes ou dégénérées) de <i>Fasciola gigantica</i> chez <i>Galba truncatula</i> par rapport à leur catégorie d'appartenance.....	163
Tableau XLXI. Les valeurs moyennes et les écarts types pour sept paramètres et quatre indices mesurés sur les rédies vivantes de <i>Fasciola hepatica</i> chez <i>Galba truncatula</i>	221
Tableau XLXII. Les valeurs moyennes et les écarts types pour sept paramètres et quatre indices mesurés sur les rédies vivantes de <i>Fasciola gigantica</i> chez <i>Galba truncatula</i>	221
Table XLXIII. Les valeurs moyennes et les écarts types pour sept paramètres et quatre indices mesurés sur les rédies vivantes de <i>Fasciola gigantica</i> chez <i>Radix natalensis</i>	222
Tableau XLXIV. Les interactions entre les facteurs étudiés réalisés par des analyses de variance sur les masses germinatives dans les rédies de <i>Fasciola gigantica</i> chez les deux espèces de limnées	223

Tableau XLXV. Les interactions entre les facteurs étudiés réalisés par des analyses de variance sur les masses germinatives dans les rédies des trois isolats de <i>Fasciola gigantica</i> au cours de l'infestation	224
--	-----

Photographies

Photographie n° 1 : Nécrose généralisée dans les tubules de la glande digestive de <i>Galba truncatula</i> . 35 ^e jour d'expérience	168
Photographie n° 2 : Destruction des cellules germinatives de la gonade de <i>Galba truncatula</i> . 35 ^e jour d'expérience	168
Photographie n° 3 : Atrophie de la glande de l'albumine de <i>Galba truncatula</i> avec nécrose épithéliale. 35 ^e jour d'expérience	169
Photographie n° 4 : Vue générale d'un rein de <i>Galba truncatula</i> en nécrose avec des lamelles désorganisées. 21 ^e jour d'expérience	169

PREMIÈRE ANNEXE

QUELQUES DONNÉES SUR LES DEUX LIMNÉES

I. *Galba truncatula* (O.F. Müller 1774).

A. PRÉSENTATION DU MOLLUSQUE.

La Limnée tronquée vit en eau douce comme tous les membres des *Lymnaeidae*. Sa coquille est dextre, ovoïde, un peu ventrue et étagée. L'une des caractéristiques permettant de la reconnaître sur le terrain est la présence de spires convexes, disposées en "marches d'escalier". Son ouverture est ovale et ne dépasse pas la moitié de la hauteur totale. La coloration est variable, allant du roux au grisâtre mais elle est assez souvent recouverte d'un enduit noir ou blanchâtre.

Germain (1930) note une hauteur de 10 mm pour une largeur maximale de 5 mm. Cependant, Moens (1974) ou Rondelaud (1978) rapportent des dimensions supérieures allant jusqu'à 12 mm pour la hauteur de la coquille sur terrains sédimentaires. Sur des zones siliceuses, les dimensions sont, par contre, inférieures et ne dépassent pas 8 mm.

L'espèce pond des oeufs globuleux de 0,5 mm de diamètre. Ceux-ci sont réunis en groupes de 4 à 20 dans des masses arrondies, mesurant 5 ou 6 mm de diamètre. Over (1967) ajoute, en plus, qu'il n'y a pas de cordons et que la "capsule" externe est souvent souillée de corps étrangers.

B. DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DE L'ESPÈCE.

La Limnée tronquée se rencontre préférentiellement dans tous les pays européens. Sur le continent asiatique, la distribution de cette espèce s'étend sur une zone médiane jusqu'à la Chine incluse. La partie tropicale de l'Asie et l'extrême-nord ne sont pas colonisés par cette limnée.

Le mollusque est présent dans le nord de Maghreb (Massot et Senouci-Horr, 1983 pour l'Algérie ; Khallaayoune, 1989 et Moukrim, 1991 pour le Maroc par exemple), en Afrique du Sud et en quelques points isolés comme au Kenya, en Ethiopie, au Zaïre, en Tanzanie et en Egypte (Dinnik et Dinnik, 1957 ; Chartier, 1989 ; Brown, 1994 ; Farag, 1998).

La localisation de ce mollusque est particulière en zone tropicale. En effet, l'espèce ne vit que dans de régions d'altitude élevée (supérieure à 2500 m sur les pentes du mont Kenya) tandis que les zones plus basses sont occupées par une autre limnée, *R. natalensis*.

La Limnée tronquée a été signalée au Canada et en Alaska par Hübendick (1951). Ce point a d'ailleurs été confirmé par Burch *et al.*, (1989). Elle a été signalée également en Amérique Centrale (Smith, 1989).

En France, la Limnée tronquée colonise de nombreux gîtes et s'élève en altitude, jusqu'à 1400 m dans le Jura et 2400-2600 m dans les Alpes. Cette altitude est la même dans les Pyrénées puisque Combes (1968) et Mage (1988) rapportent la présence de cette limnée dans des gîtes à 2300 m d'altitude en Cerdagne.

II. *Radix natalensis* (Krauss 1848).

A. PRÉSENTATION DU MOLLUSQUE.

R. natalensis est un mollusque qui vit dans des eaux claires, non souillées et riches en végétation.

La coquille est constituée de 3 ou 4 tours de spire régulièrement bombés, peu développés en hauteur avec le dernier ventru. Cette limnée présente une coquille avec une ouverture en 'forme d'oreille' de grand diamètre atteignant les 2/3 de la hauteur totale. Le péristome est évasé et porte une callosité blanche sur son bord. La coquille est subglobuleuse et mesure 8 à 30 mm. Elle est très mince, fragile, translucide et de coloration très variable suivant le biotope où elle vit : brune, jaunâtre, blanchâtre. Les sutures sont peu marquées. La columelle est droite ou légèrement tordue. On observe souvent un léger pli columellaire et une fente ombilicale étroite.

R. natalensis a des habitats variés. A Madagascar, par exemple, on la trouve dans des petites mares permanentes, les canaux d'irrigation, les rizières, les prairies flottantes et les ruisseaux ou les rivières à débit permanent (Bouchet *et al.*, 1973 ; Rakotondravao, 1984). Dans le Haut-Zaire, Chartier (1989) retrouve les mêmes types d'habitats.

B. DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DE L'ESPÈCE.

L'espèce a une large répartition sur le continent africain (Brown, 1994). Selon Hübendick (1951), les gîtes de *R. natalensis* sont plus fréquents dans la partie est de l'Afrique et à Madagascar que dans les pays de l'ouest. Cependant, ce mollusque a été noté en Egypte comme dans les îles Canaries en passant par un certain nombre d'oasis du Sahara. L'auteur cite également Oman, le Yémen et les îles du Cap vert comme des gîtes potentiels pour *R. natalensis*.

TECHNIQUES UTILISÉES

I. L'ELEVAGE DES MOLLUSQUES.

Les deux espèces de limnées sont maintenues dans des aquariums ouverts (avec 1 litre d'eau par bac). Les récipients sont munis chacun d'un aérateur qui assure l'oxygénation. De l'eau est ajoutée deux fois par semaine afin de compenser celle perdue par évaporation. Le nombre de mollusques est de 50 individus par récipient et la nourriture est constituée par de la salade romaine.

Les aquariums contenant *G. truncatula* sont placés dans une salle climatisée à 20° C avec un éclairage de 12 heures diurnes pour une intensité lumineuse de 3000-4000 lux à la surface des récipients. Ceux contenant *R. natalensis* sont généralement maintenus dans une salle ouverte sur le milieu extérieur et la température de celle-ci varie entre 22° et 25° C au cours de la journée. De l'eau calcaire est utilisée pour les récipients de *R. natalensis*.

II. L'EXPOSITION AUX MIRACIDIUMS.

Elle s'effectue en plaçant les œufs de *Fasciola* sp. pendant une heure sous une lampe électrique au terme de la période d'incubation (20 jours à 20° C). Après leur éclosion, les miracidiums sont prélevés à l'aide d'une pipette Pasteur. Chaque larve est aspirée doucement dans la pipette et refoulée de la même manière dans un tube à hémolyse ou une boîte de Pétri (35 mm de diamètre), contenant 2 à 3 mL d'eau et le mollusque à infester.

La durée de l'exposition est de 4 heures à 20° C. Au cours de cette période, une surveillance régulière est nécessaire pour remettre dans l'eau les limnées qui ont tendance à migrer sur la paroi des tubes ou des boîtes et à s'émerger. Les mollusques sont ensuite replacés dans leurs aquariums.

III. LA DISSECTION DES LIMNEES.

Elles sont disséqués dans l'eau du robinet sous une loupe binoculaire, à l'aide de deux pinces fines. Après avoir brisé la coquille, les débris sont enlevés dans un premier temps et les viscères de l'animal sont écartés pour y rechercher les formes larvaires présentes.

Les larves sont transférées par une pipette Pasteur sur une lame creuse avec un peu d'eau du robinet. Elles sont examinées à l'aide d'un système d'analyse pour déterminer les mesures de différents paramètres en fonction du protocole de l'expérience.

Paramètres	Moyennes ± écarts types (en µm) pour chaque catégorie rédienne (et nombre de rédies dans chaque catégorie)		
	R1a (5)	R1b (34)	R2a (43)
- Longueur du corps (LC).	1400,3 ± 324,2	1255,6 ± 272,3	688,6 ± 239,4
- Largeur du pharynx.	99,1 ± 9,1	79,4 ± 12,0	64,2 ± 7,6
- Largeur de la lumière pharyngienne.	43,8 ± 3,6	35,6 ± 7,8	26,3 ± 4,5
- Distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier (DAC).	203,7 ± 80,0	176,9 ± 48,4	127,9 ± 36,0
- Diamètre du collier (DC).	270,6 ± 43,8	221,8 ± 38,4	142,7 ± 27,8
- Longueur de l'intestin (LI).	486,6 ± 103,1	415,1 ± 91,4	270,3 ± 70,0
- Distance entre l'extrémité postérieure et les appendices (DPA).	546,8 ± 218,4	337,0 ± 111,0	139,4 ± 83,0
- Rapport DAC/LC.	0,14 ± 0,07	0,14 ± 0,04	0,19 ± 0,04
- Rapport LI/LC.	0,32 ± 0,07	0,34 ± 0,06	0,40 ± 0,08
- Rapport DPA/LC.	0,34 ± 0,08	0,26 ± 0,07	0,27 ± 0,06
- Rapport DAC/DC.	0,75 ± 0,26	0,80 ± 0,20	0,90 ± 0,21

Tableau XLXI.

Les valeurs moyennes et les écarts types pour sept paramètres et quatre indices mesurés sur les rédies vivantes de *Fasciola hepatica* chez *Galba truncatula*.

Paramètres	Moyennes ± écarts types (en µm) pour chaque catégorie rédienne (et nombre de rédies dans chaque catégorie)		
	R1a (5)	R1b (7)	R2a (8)
- Longueur du corps (LC).	1097,3 ± 332,9	662,5 ± 103,8	591,7 ± 86,3
- Largeur du pharynx.	103,3 ± 7,6	70,0 ± 8,0	58,4 ± 4,8
- Largeur de la lumière pharyngienne.	47,2 ± 5,5	34,9 ± 4,9	23,7 ± 4,2
- Distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier (DAC).	209,1 ± 51,3	148,6 ± 33,9	146,7 ± 26,7
- Diamètre du collier (DC).	214,0 ± 27,8	138,8 ± 16,4	116,8 ± 9,6
- Longueur de l'intestin (LI).	569,5 ± 128,1	360,0 ± 60,5	353,8 ± 49,6
- Distance entre l'extrémité postérieure et les appendices (DPA).	310,5 ± 112,8	178,2 ± 54,9	146,0 ± 17,3
- Rapport DAC/LC.	0,19 ± 0,03	0,22 ± 0,05	0,24 ± 0,04
- Rapport LI/LC.	0,53 ± 0,08	0,54 ± 0,07	0,60 ± 0,07
- Rapport DPA/LC.	0,27 ± 0,03	0,26 ± 0,05	0,24 ± 0,02
- Rapport DAC/DC.	0,97 ± 0,21	1,09 ± 0,31	1,26 ± 0,24

Tableau XLXII.

Les valeurs moyennes et les écarts types pour sept paramètres et quatre indices mesurés sur les rédies vivantes de *Fasciola gigantica* chez *Galba truncatula*.

Paramètres	Moyennes \pm écarts types (en μm) pour chaque catégorie rédienne (et nombre de rédies dans chaque catégorie)		
	R1a (11)	R1b (68)	R2a (95)
- Longueur du corps (LC).	1417,0 \pm 186,6	1120,3 \pm 237,9	788,6 \pm 158,1
- Largeur du pharynx.	156,5 \pm 23,2	82,1 \pm 14,0	66,6 \pm 6,9
- Largeur de la lumière pharyngienne.	73,7 \pm 14,0	42,8 \pm 5,7	30,6 \pm 5,2
- Distance entre l'extrémité antérieure du corps et le collier (DAC).	318,8 \pm 78,5	192,4 \pm 50,6	168,8 \pm 43,0
- Diamètre du collier (DC).	301,2 \pm 51,6	185,8 \pm 44,6	141,5 \pm 26,1
- Longueur de l'intestin (LI).	752,9 \pm 131,4	581,8 \pm 134,2	408,5 \pm 92,5
- Distance entre l'extrémité postérieure et les appendices (DPA).	414,8 \pm 113,6	319,1 \pm 106,2	220,5 \pm 78,3
- Rapport DAC/LC.	0,22 \pm 0,05	0,17 \pm 0,03	0,22 \pm 0,07
- Rapport LI/LC.	0,53 \pm 0,07	0,52 \pm 0,07	0,52 \pm 0,08
- Rapport DPA/LC.	0,29 \pm 0,07	0,28 \pm 0,06	0,27 \pm 0,07
- Rapport DAC/DC.	1,06 \pm 0,20	1,04 \pm 0,21	1,20 \pm 0,30

Table XLXIII.

Les valeurs moyennes et les écarts types pour sept paramètres et quatre indices mesurés sur les rédies vivantes de *Fasciola gigantica* chez *Radix natalensis*.

Masses germinatives	Les interactions entre les facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur du rapport <i>F</i>	Signification
Morulas	Espèce du mollusque * Catégorie rédienne	3/1173	1,029	NS
	Espèce du mollusque * Durée de l'infestation	1/1173	19,264	$P < 0,1 \%$
	Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1173	16,997	$P < 0,1 \%$
	Espèce du mollusque * Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1173	0,754	NS
Embryons	Espèce du mollusque * Catégorie rédienne	3/1173	0,784	NS
	Espèce du mollusque * Durée de l'infestation	1/1173	12,685	$P < 0,1 \%$
	Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1137	20,826	$P < 0,1 \%$
	Espèce du mollusque * Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1173	0,300	NS
Rédies filles	Espèce du mollusque * Catégorie rédienne	3/1173	5,198	$P < 1 \%$
	Espèce du mollusque * Durée de l'infestation	1/1173	0,924	NS
	Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1173	20,474	$P < 0,1 \%$
	Espèce du mollusque * Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1173	4,841	$P < 1 \%$
Procercaires	Espèce du mollusque * Catégorie rédienne	3/1173	3,850	$P < 1 \%$
	Espèce du mollusque * Durée de l'infestation	1/1173	0,190	NS
	Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1173	18,294	$P < 0,1 \%$
	Espèce du mollusque * Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1173	5,575	$P < 0,1 \%$
Cercaires	Espèce du mollusque * Catégorie rédienne	3/1173	8,874	$P < 0,1 \%$
	Espèce du mollusque * Durée de l'infestation	1/1173	117,083	$P < 0,1 \%$
	Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1173	60,180	$P < 0,1 \%$
	Espèce du mollusque * Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1173	27,219	$P < 0,1 \%$

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). NS (non significatif). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XLXIV.
Les interactions entre les facteurs étudiés réalisés par des analyses de variance sur les masses germinatives dans les rédies de *Fasciola gigantica* chez les deux espèces de limnées.

Masses germinatives	Les interactions entre les facteurs étudiés	Degrés de liberté	Valeur du rapport <i>F</i>	Signification
Morulas	Origine du parasite * Catégorie rédienne	6/1556	1,999	NS
	Origine du parasite * Durée de l'infestation	2/1556	7,619	<i>P</i> < 0,1 %
	Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1556	3,683	<i>P</i> < 5 %
	Origine du parasite * Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	6/1556	2,555	<i>P</i> < 5 %
Embryons	Origine du parasite * Catégorie rédienne	6/1556	2,771	<i>P</i> < 5 %
	Origine du parasite * Durée de l'infestation	2/1556	1,727	NS
	Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1556	0,370	NS
	Origine du parasite * Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	6/1556	4,208	<i>P</i> < 0,1 %
Rédies filles	Origine du parasite * Catégorie rédienne	6/1556	2,187	<i>P</i> < 5 %
	Origine du parasite * Durée de l'infestation	2/1556	3,704	<i>P</i> < 5 %
	Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1556	0,847	NS
	Origine du parasite * Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	6/1556	4,358	<i>P</i> < 1 %
Procercaires	Origine du parasite * Catégorie rédienne	6/1556	4,324	<i>P</i> < 1 %
	Origine du parasite * Durée de l'infestation	2/1556	8,700	<i>P</i> < 0,1 %
	Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1556	4,179	<i>P</i> < 1 %
	Origine du parasite * Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1556	2,955	<i>P</i> < 1 %
Cercaires	Origine du parasite * Catégorie rédienne	6/1556	2,409	<i>P</i> < 5 %
	Origine du parasite * Durée de l'infestation	2/1556	65,202	<i>P</i> < 0,1 %
	Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	3/1556	9,664	<i>P</i> < 0,1 %
	Origine du parasite * Catégorie rédienne * Durée de l'infestation	6/1556	11,237	<i>P</i> < 0,1 %

Abréviations : *F* (rapport *F* de Fisher). NS (non significatif). *P* (probabilité au seuil de).

Tableau XLXV.

Les interactions entre les facteurs étudiés réalisés par des analyses de variance sur les masses germinatives dans les rédies des trois isolats de *Fasciola gigantica* au cours de l'infestation.

DEUXIÈME ANNEXE

Les publications parues sur ce travail.

- DAR *et al.*, *Parasitol. Res.*, 2002, **88**, 364-367.
- DAR *et al.*, *Parasitol. Res.*, 2003a, **89**, 185-187.
- DAR *et al.*, *Parasitol. Res.*, 2003b, **91**, 369-373.
- DAR *et al.*, *J. Helminthol.*, 2003c, **77**, 11-14.
- DAR *et al.*, *J. Helminthol.*, 2004, sous presse.

- ABOU-BASHA, L.M., FADALI, G.A., NOUR, B.M., ABDALLA, M.S., 1989.
- Uncommon complications of human fascioliasis in Alexandria. *J. Egy. Soc. Parasitol.*, **19**, 743-749.
- ABROUS, M., 1997.- La spécificité d'hôte intermédiaire pour le trématode *Fasciola hepatica* Linné, 1758. Influence d'une infections préalable par *Paramphistomum daubneyi* Dinnik, 1962. Mémoire D.E.A., Créteil, 41 p.
- ABROUS, M., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., 1997.- *Paramphistomum daubneyi*: the development of redial generations in the snail *Lymnaea truncatula*. *Parasitol. Res.*, **83**, 64-69.
- ALICATA, J.E., 1953.- Human Fascioliasis in Hawaiian islands. *Hawaii Med. J.*, **12**, 196-201.
- ALLAM, A.F., 1992.- Studies on the *Lymnaea-Fasciola* (host-parasite) relationships in Abis area. Ph. D. Thesis High Institute of Public Health, Alexandria University, Egypt.
- ASANJI, M.F., 1988.- The snail intermediate host of *Fasciola gigantica* and the behaviour of miracidia in host selection. *Bull. Anim. Health. Prod. In Africa*, **36**, 245-250.
- AUGOT, D., 1994.- Caractérisation des générations rédiennes chez *Fasciola hepatica* Linné 1758 (Trématoda : Fasciolidea). Intéret pratique et épidémiologique. Mémoire D.E.S.U., Limoges, France , 67 p.
- AUGOT, D., ABROUS, M., RONDELAUD, D., DREYFUSS, G., 1996.- *Paramphistomum daubneyi* and *Fasciola hepatica* : the redial burden and cercarial shedding in *Lymnaea truncatula* submitted to successive unimiracidial cross-exposures. *Parasitol. Res.*, **82**, 623-627.
- BELFAIZA, M., RONDELAUD, D., MONCEF, M, DREYFUSS, G. – *Fasciola hepatica* : the outcome of food quality on the development of redial generations in *Galba truncatula* infected with allopatric miracidia. *Parasitol. Res.*, in press.
- BERGEON, P., LAURENT, M., 1970.- Differences between testicular morphology of *Fasciola hepatica* and *Fasciola gigantica*. *Rev. Elev. Méd. Vet. Pays. Trop.*, **23**, 223-227.
- BORAY, J.C., 1963.- Standardizations of techniques for pathological and anthelmintic studies with *Fasciola* spp. *Proc. 1st Int. Conf. Of W.A.A.V.P., Hanover* , 1963, 34.
- BORAY, J.C., ENIGK , K., 1964.- Laboratory studies on the survival and infectivity of *Fasciola hepatica*- and *Fasciola gigantica*-metacercariae . *Z.Tropenmed. Parasitol.*, **15**, 324-331.
- COMBES, C., 1984.- Les parasites et leurs cibles vivantes. *Pour la Science* , No. 70, 64-72 .
- DA COSTA, C., 1993.- Etude de relations entre les émissions cercariennes et la charge parasitaire post-mortem chez *Lymnaea natalensis* Kruass infestée par *Fasciola gigantica* Cobbold. Mémoire D.E.S.U. Limoges, France, 95p.
- DALTON, 1999.- Fasciolosis. CABI Publishing, Oxon, UK.

- DUTHEIL, S., 1996.- Contribution B l'étude des générations rédiennes de *Fasciola gigantica* Cobbold par la morphométrie et la chemotaxie de la région pharyngienne. Thèse Doct. Pharmacie, Limoges, France, No. 76 p.
- GAILLET, P., 1983.- Contribution B l'étude épidémiologique de la distomatose humaine B *Fasciola hepatica* en France métropolitaine depuis 1956. A propos de quelques 10.000 cas. Thèse Doct. Médecine, Créteil, France, 151 p.
- HAMMOND, J.A., 1974.- Human infection with the liver fluke *Fasciola gigantica*. *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 63, 253-254.
- HAYES, T.J., BAILER, J., MITROVIC, M., 1974.- Acquired immunity and age resistance in rates with chronic fascioliasis. *J. Parasitol.*, 60, 247-250.
- HOPKINS, D.R., 1992. – Homing in on helminthes. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 46, 626-634.
- KIMARA, S., SHIMIZU, A., KAWANO, J., 1980.- Extermination of *Fasciola gigantica* métacercaire. *J. Parasitol.*, 66, 699-700.
- KIMURA, S., SHIMIZU, A., KAWANO, J., 1984.- Morphological observation on liver fluke detected from naturally infected carabaos in Philippines. Vol. 16, Science Reports of Faculty of Agriculture Kobe University, 333-357.
- LEE, C.G., ZIMMERMAN, G.L., 1993.- Banding patterns of *Fasciola hepatica* and *Fasciola gigantica* (Trematoda) by isoelectric focusing. *J. Parasitol.*, 79, 120-123.
- LEUCKART, R., 1882.- Zur Entwicklungsgeschichte des Leberegels. Zweite Mitteilung. *Zool. Anz.*, 5, 524-528.
- MAIGA, Y.I., MAIGA MAIGA, Z., TEMBELY, S., AGRHALY, A., MARJOLET, M., 1991. - La distomatose humaine à *Fasciola gigantica* existe-t-elle dans la zone inondée de l'office du Niger au Mali ? A propos d'une enquête sérologique. *Med.Trop.*, 51, 275-281.
- MATRICON-GONDRAN, M., 1971.- Etude ultrastructurale des récepteurs sensoriels tégumentaires de quelques Trématodes digénétiques larvaires. *Z. Parasitenkd.*, 35, 318-333.

- MOREAU, J.P., GENTELET, B., BARBIER, D. GOAOGEN, J., 1975.- La distomatose humaine B *Fasciola gigantica* exist-t-elle B Madagascar ? A propos d'un cas diagnostiqué par des méthodes immunologiques. *Méd. Trop.*, 35, 402-406.
- RONDELAUD, D., 1978.- Contribution à l'étude écologique et éthologique de *Lymnaea (Glaba) truncatula* Müller, vecteur de *Fasciola hepatica* L. Recherche de moyens de lutte biologique en Limosin. Thèse Doct. ès-Sci. Nat., Limoges, France, No. 4, 302 p.
- ROBERTS, E. W., 1950.- Studies on the life cycle of *Fasciola hepatica* L. And of its snail host, *Lymnaea (Glaba) truncatula* Muller, in the field and under controlled conditions in the laboratory. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 44, 342-346.
- SAHBA, G.H, ARFAA, F., FARAHMANDIAN, I., JALALI, H., 1972.- Animal fascioliasis in Khuzestan, southwestern Iran. *J. Parasitol.*, 58, 712-716.
- TESANA, S., PAMARAPA, A., SAESIO, O.T., 1989.- Acute cholecystitis and *Fasciola sp.* Infection in Thailand : report of two cases . *Southeast As. J. Trop. Med. Publ. Health*, 20, 447- 452.
- VARMA, A.K, 1953.- On *Fasciola indica* n. sp. with observations on *F. hepatica* and *F. gigantica*. *J. Helminth.*, 27, 185-198.
- THORPE, E., 1965.- Liver damage and the host-parasite relationship in experimental fascioliasis in the albino rat. *Res. Vet. Sci.*, 6, 498-509.
- TRONCY, P.M., GRABER, M., THAL, J., 1973.- *Phacocherus aethiopicus* (pallas), hote nouveau de *Fasciola gigantica* Cobbold 1855. *Bull. Soc. Path. Exo.*,66 , 129-133.
- BORAY, J.C., 1966.- Studies on the relative suseptibility of some *Lymnaeidae* to infection with *Fasciola hepatica* and *Fasciola gigantica* and on the adaptation of *Fasciola spp.* *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 60, 114-124.
- DE JESUS, Z., 1935. - *Lymnaea philippinesis*, an intermediate host of *Fasciola hepatica* in Philipines, with some observations on the bionomics of the parasite. *Philip. J. Sci.*, 58, 299-316.
- EL-MORSHEDY, H., FARGHALY, A., SHARAF., S., ABOU-BASHA, L., BARAKAT, R., 1999. – Triclabendazole in the treatment of human fascioliasis: a community-based study. *East, Mediterr., Health, J.*, 5, 888-894.
- KENDAL, S.B., 1964.- Some factors influencing the development and behaviour of trematodes in their molluscan hosts. 51-73. In: "Host-parasite relationships in invertebrate hosts", Par TAYLOR, A.E.R. éd. Blackwell, Oxford.

C. 1. Les caractéristiques de la fasciolose humaine.

La fasciolose provoque des conséquences pathologiques graves qui sont ajoutées à la menace la plus connue, la schistosomiasis, aux foies des égyptiens (Haseeb *et al.*, 2002). La fasciolose infecte tous les âges, les deux sexes, toutes les classes sociales et toutes les professions, particulièrement les habitants des régions rurales (Farag, 1998). Les femmes sont plus touchées que les hommes où la prévalence observée chez les femmes est 10.3 et celle des hommes est 4.4% comme les déterminer par Farag *et al.* (1979). Ces dernière auteurs a déclaré que la fréquence de la maladie est significativement concentrée à l'intérieur des familles car les membres de la famille toujours partagent à consommer la nourriture contaminée. Parmi 25 familles, dans lesquelles au moins un membre infesté, 20% ont les deux et d'autre 20% ont les trois membres infectés. Deux formes cliniques de cette maladie sont distinguées chez les patients, la forme aiguë et la forme chronique avec des complications surtout aux enfants (Abou Basha *et al.*, 1989).

La transmission. L'infection par la fasciolose en principe à cause de l'ingestion des plantes crues comme une salade verte , le cresson par exemple, contaminées par les métacercaires (El-Shazly *et al.*, 1991). Les animaux de ferme infestés sont aussi une source importante à transmettre la fasciolose car ces animaux sont habituellement élevés près des maisons de paysans (El-Shazly *et al.*, 2002a). La transmission de la fasciolose s'effectue et continue pendant l'année, néanmoins le nombre le plus élevé est présenté en été surtout dans le mois d'Août (Farag *et al.*, 1993).

Le diagnostic. La diagnostic de fasciolose se fait sur la base de l'identification des œufs du parasite dans les fèces (Farag *et al.*, 1979). Mais les œufs peuvent être présenter un peu quantité et aux intervalles irréguliers. Les techniques immunodiagnostiques ont été encore utilisées afin de déterminer l'infestation fasciolienne (Mansour *et al.*, 1983).

Le traitement. En Egypte, le triclabendazole est recommandé pour l'homme infestés. Hammoda *et al.*, (1995) et El-Moshedy *et al.*, (1999) ont conclu que le triclabendazole est une drogue hors de danger et fiable pour traiter la phase chronique de la fasciolose.

L'autorité égyptienne de la santé reconnaît le danger de ces trématodes comme un problème menaçant la santé publique qui touche particulièrement les femmes et les enfants. Dans le rapport de Farag (1998), les étapes prises envers la prévention et le contrôle par l'autorité égyptienne sont les suivantes :

- Lever la conscience des personnels médicaux surtout les médecins travaillants dans les régions rurales.

- Entraîner les techniciens pour bien diagnostiquer la fasciolose.
- Coordonner avec les universités et les unités des recherches afin de évaluer les médicaments (triclabendazole) pour traiter les cas humains.
- Coopérer avec les secteurs impliqué à mettre un plan national pour contrôler la maladie. Par exemple, le secteur vétérinaire traite les animaux infestés en utilisant le triclabendazole. Parallèlement, le ministère d'Agriculture projète à fournir des régions hors de toutes les sources de contamination, surtout les mollusques, pour planter les légumes