



INTERNATIONAL CENTRE FOR THE STUDY OF THE PRESERVATION AND THE RESTORATION OF CULTURAL PROPERTY
CENTRE INTERNATIONAL D'ETUDES POUR LA CONSERVATION ET LA RESTAURATION DES BIENS CULTURELS

ICCROM

BIOLOGICAL FACTORS IN DETERIORATION OF PAPER

FACTEURS BIOLOGIQUES DE DETERIORATION DU PAPIER



Fausta Gallo

ERRATA

BIOLOGICAL FACTORS IN DETERIORATION OF PAPER FACTEURS BIOLOGIQUES DE DETERIORATION DU PAPIER

Fausta Gallo

English text / texte anglais:

- Page 6: lines 11/12 should read: the nymphs of winged species have no wings until the last nymphal stage.
lines 13/14 should read: The growth cycle of the species is:
line 15 should read: egg --- nymph --- adult
lines 16/17/18 should be deleted.
- Page 26: last line of text should read: (Tables 13, 14)
- Page 31: Table 15, line 13 delete: (Fig. 25)
Table 15, line 15 insert: (Fig. 25)
- Page 41: lines 9/10 should read: species to species, and at lower R.H. levels as the temperature rises.
- Page 81: Figure 33. For Chaetomium, read Aspergillus
- Page 82: Figure 35. For Aspergillus, read Chaetomium

Texte français / French text

- Page 81: Figure 33. Pour Chaetomium, lire Aspergillus
- Page 82: Figure 35. Pour Aspergillus, lire Chaetomium
- Pages 86/87: Figures 40/41. Pour bactéries, lire micro-organismes.
- Page 95: Note: pour 13 espèces, lire 11 espèces.
- Page 99: Figure 1. Pour jeune nymphes, lire larves néonates.
- Page 115: Tableau 11. Pour Ouvriers, lire Ouvriers (Fig. 13)
- Page 116: Tableau 12, ligne 16: pour 100°C, lire 100%.
- Page 126: ligne 3: pour (page 109), lire (page 121)

ICCROM TECHNICAL NOTES / NOTES TECHNIQUES DE L'ICCROM

CARBONNELL, Maurice. Photogrammétrie appliquée aux relevés des monuments et des centres historiques. En cours de préparation. Photogrammetry Applied to the Survey of Monuments and Historic Centres. To be published shortly.

DE ANGELIS d'OSSAT, Guglielmo. Guide to the Methodical Study of Monuments and Causes of Their Deterioration. Guida allo studio metodico dei monumenti e delle loro cause di deterioramento. 2nd ed., 1982.

FORAMITTI, Hans. Mesures de sécurité et d'urgence pour la protection des biens culturels. 1972.

GAZZOLA, Pietro. The Past in the Future. 2nd ed., 1975.

MARASOVIC, Tomislav. Methodological Proceedings for the Protection and Revitalization of Historic Sites (Experiences of Split). 1975.

MASSARI, Giovanni. Humidity in Monuments. 2nd ed., 1977.

MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. Ancient Binding Media, Varnishes and Adhesives. 1985.

STAMBOLOV, T. - VAN ASPEREN DE BOER, J.R.J. The Deterioration and Conservation of Porous Building Materials in Monuments. 1976.

TORRACA, Giorgio. Matériaux de construction poreux (en cours de préparation).

TORRACA, Giorgio. Porous Building Materials. 2nd ed. rev., 1982.

----- . Solubilidad y Disolventes en los Problemas de Conservación. 1981.

----- . Solubilité et solvants utilisés pour la conservation des biens culturels. 1980.

----- . Solubility and Solvents for Conservation Problems. 1975. 3rd ed. rev., 1984.

BIOLOGICAL FACTORS IN DETERIORATION OF PAPER

FACTEURS BIOLOGIQUES DE DETERIORATION DU PAPIER

Fausta Gallo

English translation by Susan O'Leary

Traduction française par Alice Bertin Quaix



ICCROM

Rome 1985

BIOLOGICAL FACTORS IN DETERIORATION OF PAPER FACTEURS BIOLOGIQUES DE DETERIORATION DU PAPIER

Luigi Gallo

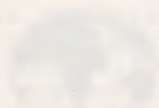
© 1985 ICCROM

Via di San Michele 13

00153 Rome RM, Italy

Printed in Italy

Sintesi Grafica s.r.l.



CONTENTS / TABLE DES MATIERES

	Page
ACKNOWLEDGEMENTS / REMERCIEMENTS	vii
PREFACE	ix
AVANT-PROPOS	xi
INTRODUCTION	1
INSECTS	3
Order Blattoidea	10
Order Thysanura	14
Order Corrodentia	17
Order Isoptera	19
Order Coleoptera	29
MICRO-ORGANISMS	37
FACTORS FAVOURING THE DEVELOPMENT OF BIOLOGICAL AGENTS; PREVENTIVE MEASURES TO BE TAKEN	43
ANNEX I - Classification of biological agents	47
ANNEX II - Criteria to follow in eliminating biolog- ical agents harmful to library materials	48
ANNEX III - Disinfestants and disinfectants	49
ANNEX IV - Hygroscopicity of library materials	50
GLOSSARY	51
BIBLIOGRAPHY	53
ILLUSTRATIONS	59

	Page
INTRODUCTION	93
LES INSECTES	95
Ordre: Blattoidea	102
Ordre: Thysanura	106
Ordre: Corrodentia	109
Ordre: Isoptera	111
Ordre: Coleoptera	121
LES MICRO-ORGANISMES	129
FACTEURS FAVORISANT LE DEVELOPPEMENT DES AGENTS BIOLOGIQUES ET MESURES A ADOPTER POUR PREVENIR LEUR DEVELOPPEMENT	135
ANNEXE I - Classification des agents biologiques . . .	139
ANNEXE II - Critères à appliquer dans la lutte contre les agents biologiques de détérioration des documents graphiques	140
ANNEXE III - Les désinfestants et les désinfectants . .	142
ANNEXE IV - L'hygroscopicité des matériaux de bibliothèque	143
GLOSSAIRE	145
BIBLIOGRAPHIE	147

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank Gaël de Guichen for his invitation to prepare this publication and for offering many valuable suggestions.

Thanks also to Cynthia Rockwell and Mónica García for preparing the final version with such care and competence, to Alice Bertin Quaix and Susan O'Leary for translating the text from Italian into French and English, to Cécile Metzger for reviewing the French text, and to Azar Soheil Jokilehto for her work on the design.

REMERCIEMENTS

J'exprime ma gratitude à Gaël de Guichen pour m'avoir demandé de préparer cette publication et pour les nombreux conseils qu'il m'a donnés.

Je remercie, en outre, Cynthia Rockwell et Mónica García qui ont préparé la version finale avec tant de soin et de compétence, Alice Bertin Quaix et Susan O'Leary pour la traduction du texte italien en français et en anglais, Cécile Metzger qui a revu le texte français et à Azar Soheil Jokilehto qui s'est chargée de la présentation graphique.

39

I would like to thank Gail de Guichen for the manuscript, for preparing this publication and for offering many valuable suggestions.

Thanks also to Cynthia Rodwell and Michael Rodwell for giving the final version with such care and competence, to Alice Burtin Gail and Susan O'Leary for translating the text from Italian into French and English, to Cécile Metzger for reviewing the French text, and to Alan Rodwell for his work on the design.

341

341

341

L'expérience me prouve à Gail de Guichen pour m'avoir demandé de préparer cette publication et pour m'avoir offert l'occasion de lui en rendre compte.

Je remercie, en outre, Cynthia Rodwell et Michael Rodwell pour leur confiance et leur soutien, Alice Burtin Gail et Susan O'Leary pour la traduction de ce texte italien en français et en anglais, Cécile Metzger pour avoir relu le texte français et Alan Rodwell pour avoir chargé de la présentation graphique.

PREFACE

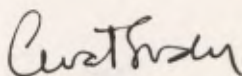
Fausta Gallo's work in the field of biodeterioration of library and archive documents is well known among scientists.

Her articles have been translated into several languages, but this is the first time she has presented her work for didactic purposes.

As there is a dire shortage of such works, which are particularly difficult to produce, we are especially grateful to Fausta Gallo for having accepted ICCROM's request.

We are also grateful to the Italian Central Institute for Book Pathology for its continued cooperation with ICCROM in the field of training.

We are certain that this book will be of interest not only to people beginning their studies in documents conservation but also those who teach the subject. Finally, we believe that librarians and archivists will find information here that will help them better to conserve the heritage of which they are in charge.



Cevat Erder
Director

AVANT-PROPOS

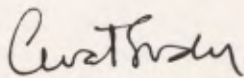
Les travaux réalisés par Madame Fausta Gallo dans le domaine de la biodétérioration des documents conservés dans les bibliothèques et archives sont bien connus par les scientifiques.

Ses articles ont été traduits en plusieurs langues. Mais jusqu'à ce jour elle n'avait jamais présenté son travail dans un but didactique.

Comme tels ouvrages font cruellement défaut et sont particulièrement difficiles à réaliser, nous la remercions d'avoir bien voulu accepter la proposition de l'ICCROM.

Notre gratitude va aussi à l'Institut central italien de pathologie du livre pour la collaboration qu'il nous a toujours fournie dans le domaine de la formation.

Nous sommes sûrs que ce livre intéressera non seulement ceux qui débutent dans l'étude de la conservation des documents mais aussi ceux qui l'enseignent. Nous croyons enfin que bibliothécaires et archivistes y trouveront des informations qui les aideront à mieux conserver le patrimoine dont ils ont la charge.



Cevat Erder
Director

BIOLOGICAL FACTORS IN DETERIORATION OF PAPER

1. Introduction

2. Microorganisms

3. Bacteria, Fungi and Viri
4. Antimicrobial Agents

5. Control of Microbial Growth

INTRODUCTION

This is not intended to be a definitive treatment of the biological factors (insects and micro-organisms) responsible for the deterioration of library and archive materials; it is, rather, a modest contribution to this many-faceted subject. The purpose of these pages is to provide more of the information librarians and archivists need to comprehend the threat to books and documents from biological factors, to recognize any eventual damage caused by these factors, and to know the best environmental conditions to be created to prevent infestations and infections.

The information contained here must not lead librarians and archivists to take steps without first consulting a biologist. Identification of the insects and micro-organisms responsible for the damage and the definition of the causes aiding their development is a biologist's job, as is planning the operations needed to correct the situation.

Regarding causes, it is worth noting that the destructive activity of these biological agents can be either helped or hindered by physical factors (temperature, light, humidity) as well as chemical ones (composition of materials, etc.).

In order to offer a thorough, although condensed, view of the problems involved, we felt it best to treat the following topics:

- 1) Insects
- 2) Micro-organisms
- 3) Factors favouring the development of biological agents; measures impeding their development
- 4) Criteria for combatting biological agents harmful to library materials

Simply as examples, for each group of insects only one or two widely distributed species have been cited in the text; the micro-organisms that have proved to be the most frequent causes of damage to books and documents have been listed.

Summary tables indicate the materials most subject to damage from both insects and micro-organisms, on the basis of data found in relevant literature.

As for the bibliography, only a minimal part of the works consulted has been mentioned; as it is to be a guide for the person dealing with this subject for the first time, the bibliography has been limited to a few items relating to fundamental treatises or research papers.

INSECTS

Numerous insect species are harmful to paper, cardboard, leather, parchment, adhesives, wooden boards, and wooden fittings. Among those most frequently found in libraries and archives there are about 70 species belonging to various families and orders, as shown in Table 1.(*). Tables 1 and 2 also show the damage caused by these biological agents and the materials they can infest. As for the damage, there are characteristic aspects of biological erosion caused by each group of insects which allow the specialist to identify the destructive agent within definite limits. Among the species infesting books and documents are some that do not cause erosion but feed instead on the microscopic fungi growing on paper, parchment and leather when these are kept in damp environments.

It can happen occasionally that libraries and archives are subject to assaults by a variety of insects (for example, clothes moths, long-horn beetles, false powder-post beetles, weevils or snout beetles) that live on food, herbaria, textiles, wooden structures and beams.

* In this publication, only 11 of the species considered most characteristic of this fauna will be described at length.

TABLE 1. INSECTS FREQUENTLY FOUND IN LIBRARIES

Orders	Families	Common Names	Type of Damage
Blattoidea	Blattidae Blattellidae	Cockroaches	Surface erosion, irregular outline.
Thysanura	Lepismatidae	Silverfish	Surface erosion, with irregular outline; much smaller than cockroach damage.
Corrodentia	Liposcelidae	Book lice	Tiny superficial abrasions, with irregular outlines.
Isoptera	Mastotermitidae Hodotermitidae Rhinotermitidae Termitidae Kalotermitidae	Termites	Deep, crater-shaped holes, and irregular-shaped ero- sion starting from the book edge working towards the centre. Sometimes whole volumes are destroyed and only the fore-edge and spine are left intact.
Coleoptera	Anobiidae	Deathwatch beetles	Winding, circular tunnels which generally extend from the margins toward the volume's centre.
	Dermestidae	Skin beetles	Irregular borings and some- times surface tunnels con- taining powdery faeces and exuviae.

TABLE 2. MATERIALS DAMAGED BY INSECTS

	Cockroaches	Silverfish	Book lice	Termites	Deathwatch beetles	Skin beetles
Paper/Cardboard	X	X	X	X	X	X
Leather	X			X	X	X
Parchment	X			X		X
Vegetable-based adhesives	X	X	X	X	X	
Animal-based adhesives	X	X	X	X		X
Wood				X	X	X
Textiles		X		X		X
Photographs		X		X		
Herbaria			X		X	
Entomological collections		X	X			X
Synthetic Materials		X		X	X	X
Furs						X
Metals				X		X
Electric wiring				X		X
Asbestos						X
Foodstuffs	X				X	X
Bone, Ivory				X		
Horn				X		

Growth of insects harmful to library and archive materials

From the viewpoint of development (*), these insects can be divided into two groups:

The first group includes:

- a) Cockroaches (Blattoidea)
- b) Silverfish (Thysanura)
- c) Book lice (Corrodentia)
- d) Termites (Isoptera)

Once hatched, the individuals are called nymphs. They resemble adults and differ mainly in size, being considerably smaller, particularly in the early stages of development; the nymphs of winged species have no wings.

If the adults do not have wings, the growth cycle of the species is:

egg → larva → adult (Fig.1)

If the adults have wings, the growth cycle is the following:

egg → larva → nymph → adult

The wings appear at the nymphal stage.

* The developmental cycles can vary in duration from a minimum of one month to a maximum of 3 years; the variation depends upon the species, climatic conditions and food supply. Moreover, the tables on insect development give some purely indicative examples of the thermohygrometric values at which such development occurs.

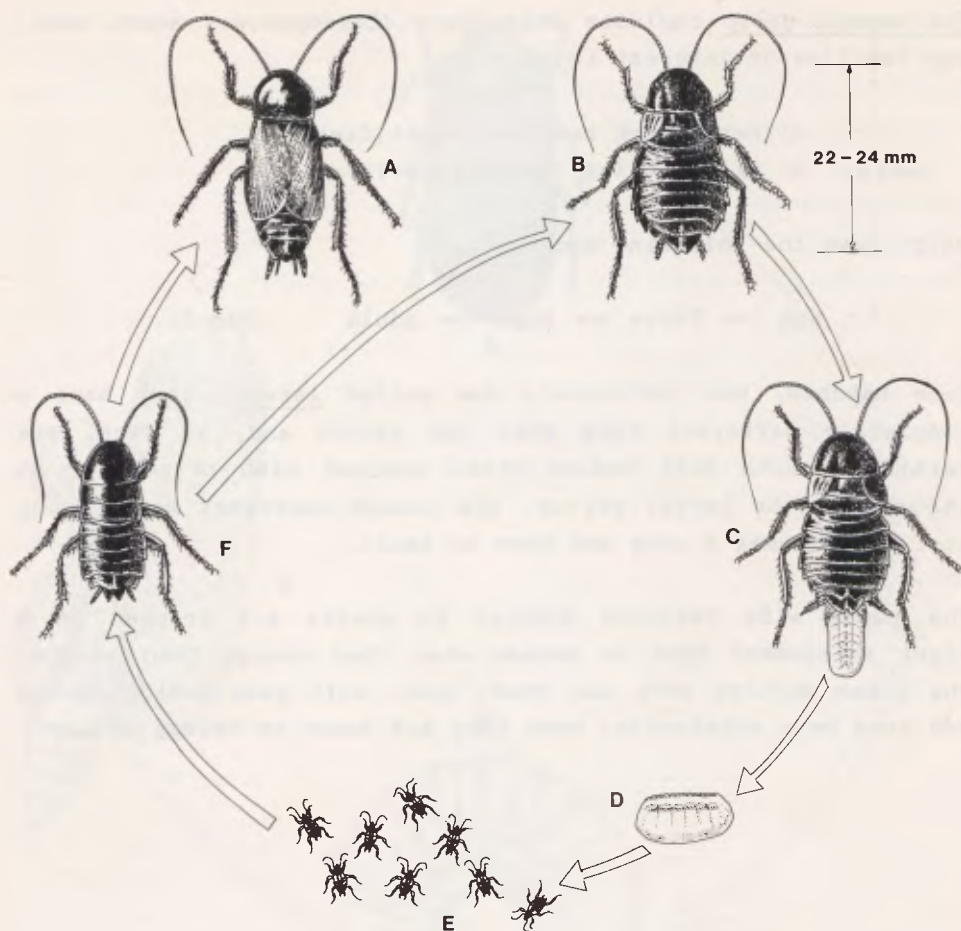


Figure 1. Life cycle of Blattids:

A) adult male; B) adult female; C) female laying ootheca;
D) young nymphs; E) final stage of the nymph.

The second group includes Coleopters (Coleoptera); among them, the families of interest to us are:

- a) Deathwatch beetles (Anobiidae)
- b) Skin beetles (Dermestidae)

which have the following cycle:

egg → larva → pupa → adult (Fig.2).

Once hatched, the individuals are called larvae; they have a completely different form than the adults and, in fact, are vermiform, with soft bodies often covered with bristles. At the end of the larval period, the insect undergoes metamorphosis. It becomes a pupa and then an adult.

The pupae with features similar to adults are wrapped in a light integument that is broken when they change into adults. The pupae neither move nor feed, their soft pale bodies darken and grow more substantial when they are about to become adults.

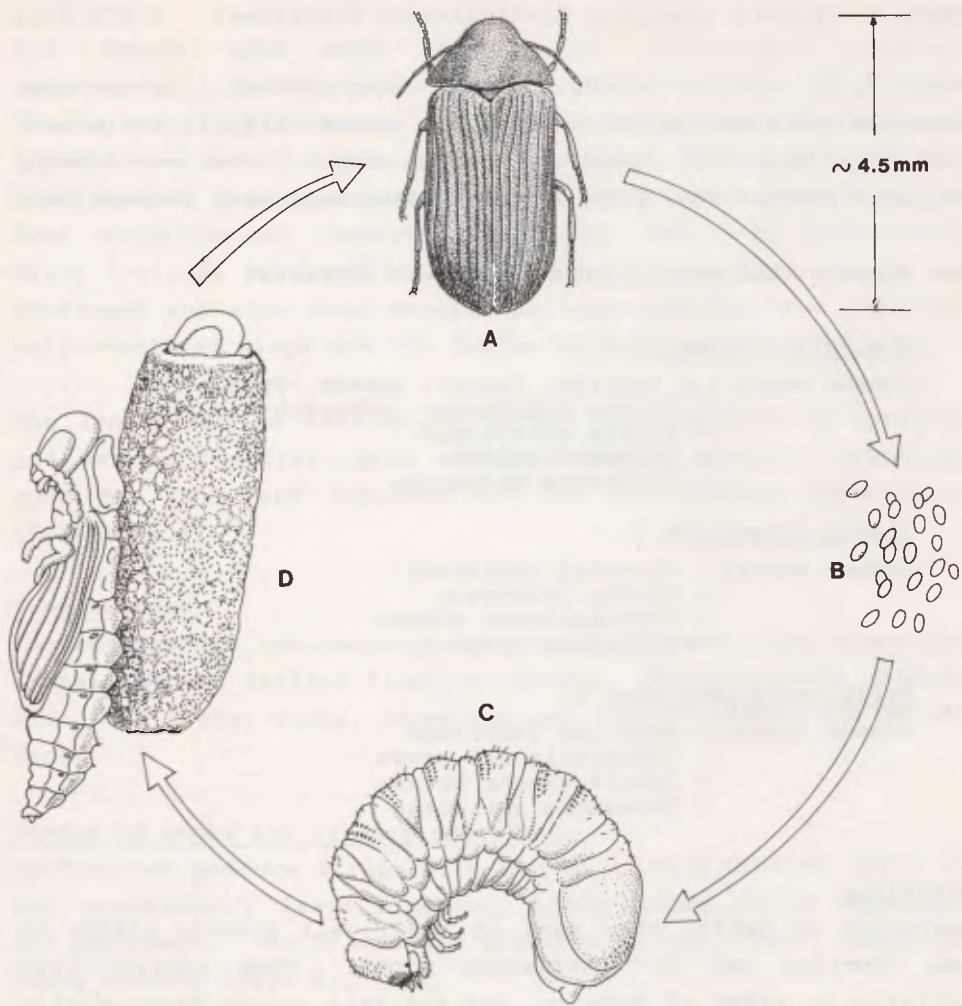


Figure 2. Life cycle of Anobiids:
A) adult; B) eggs; C) larva; D) pupa.

ORDER Blattoidea (families Blattellidae, Blattidae)

About 2,500 species belong to this order. They live in warm climates and some species have become cosmopolitan to the extent that they have been found in cold climates living exclusively in human habitations (Fig. 3 - see photos beginning on page 59).

The species that most frequently infest libraries are:

Blattella germanica L.

common names (in English, French, German, Spanish):

- Croton bug/German cockroach
- Blatte germanique
- Deutsche Schabe
- Cucaracha germanica

Blatta orientalis L.

common names: - Oriental cockroach

- Blatte orientale
- Orientalische Schabe
- Cucaracha oriental

Periplaneta americana L.

common names: - American cockroach

- Coquerelle des caves
- Amerikanische Schabe
- Cucaracha americana

Behaviour

Nocturnal in habit, they nest in small wall cracks, clefts in the flooring and in ventilation pipes. They require high humidity in order to survive, and for this reason they usually dwell near sinks, bathrooms, cellars and drains. They are capable of climbing up perfectly smooth surfaces such as glass.

They can be carriers of many diseases (typhoid, cholera, etc.).

Life cycle

The female lays eggs enclosed in bean-shaped oothecae (egg-cases). The egg-cases are a dark colour and are laid in tiny cracks in the walls. Once they emerge from the eggs, the individuals, now in the nymph stage, are white; after a few hours, their bodies become darker and harder. They have the same morphological features as adults, the only differences being that the adults are larger, their reproductive organs are developed and they have wings. In some species, the male has well-developed wings and the female has only rudimentary ones.

The length of the life cycle varies from species to species, and can be modified, even within a single species, depending upon the heat and humidity of the surrounding environment (Tables 3, 4).

Food sources

Cockroaches are omnivorous. They feed on foodstuffs, human and animal faeces, various kinds of refuse. Among library materials, they prefer paper, adhesives and glues, leather and parchment.

Damage to books and library materials

Cockroaches produce irregularly-shaped surface erosion (Fig. 4) and occasionally leave blackish, comma-shaped stains on paper and parchment. The stains are produced by the liquid faeces of these insects (Fig. 5).

TABLE 3. BLATTOIDEA: MORPHOLOGY

Species	<u>Blattella</u> <u>germanica</u>	<u>Blatta</u> <u>orientalis</u>	<u>Periplaneta</u> <u>americana</u>
Colour	Flat, yellow-brown body.	Flat, shiny brown body.	Flat, brown body.
Wings	Well developed in males and females.	Well developed in males; females have short lobes.	Well developed in males and females.
Adult size	10-15 mm	20-24 mm	28-44 mm
N° of egg-cases laid at 25°C	6	8	53
N° of eggs per egg-case	30	16	16
Size of egg-cases	5.5 mm	10.5 mm	9 mm
Harmful stages of insects	Nymph and adult	Nymph and adult	Nymph and adult
Elements revealing presence	- Damaged materials - Egg-cases - Faeces (droppings)	- Damaged materials - Egg-cases - Faeces (droppings)	- Damaged materials - Egg-cases - Faeces (droppings)

TABLE 4. BLATTOIDEA: DEVELOPMENT

Species	<u>Blattella</u> <u>germanica</u>	<u>Blatta</u> <u>orientalis</u>	<u>Periplaneta</u> <u>americana</u>
Embryonic development at:	21°C: 28 days 25°C: 24 days 30°C: 15-17 days	21°C: 81 days 25°C: 57 days 30°C: 42-44 days	25°C: 57 days 30°C: 32-39 days
Nymphal development at:	21°C: 172 days 25°C: 103 days 30°C: 40-70 days	25°C: 530 days 30°C: 150-300 days	25°C: 519 days 30°C: 180-195 days
Adult life span at 25°C	260 days	140 days	440 days
Optimal conditions for development	Above 70% R.H. 25-30°C	Above 70% R.H. 25-30°C	Above 70% R.H. 25-30°C
Survival period at 27°C in absence of food and moisture	8-12 days	11-13 days	29-42 days

ORDER Thysanura (family Lepismatidae) or Bristletails

This family includes 200 species.

These insects (Fig. 6) have been found in a great many countries with temperate, sub-tropical and tropical climates. The most widely distributed species which most frequently infests libraries, archives and museums is:

Lepisma saccharina L.

common names: - Silverfish
- Petit poisson d'argent
- Silberfischlein
- Pez de plata

Behaviour

These insects live in damp places because they need a certain amount of water to survive. Lepisma saccharina is a nocturnal creature, hiding during the day behind wood mouldings, paint, inside books, etc., and coming out at night to search for food.

Life cycle

The female lays her eggs (singly, or at the most 2 or 3 simultaneously) in hidden, out-of-the-way places. The nymphs have the same appearance as the adults when they hatch, and differ from them in colour and size (Table 5).

The length of the life cycle depends upon climatic conditions (Table 6).

Food sources

Silverfish feed on materials containing starch (for example, vegetable-based adhesives), on paper, and on rayon, linen and cotton textiles. They prefer paper made of pure cellulose to that having a high groundwood content. They also need small

quantities of proteins which they find in dead insects and animal-based glues. They are quite damaging to photographs because they destroy the paper as well as the gelatine (Fig. 7).

Damage

Silverfish produce irregularly-shaped erosion, differing from cockroach damage because it is much smaller (Fig. 8).

TABLE 5. THYSANURA: MORPHOLOGY

Species	<u>Lepisma saccharina</u>
Eggs	Soft, white ovals, varying between 1-1.5 mm. Several hours after laying, they turn a brownish colour. One female lays about 100 eggs.
Nymphs	White during initial stages, very small (about 2 mm long), they gradually grow to adult length and assume their typical grey colour with metallic highlights.
Adults	Grey coloration with metallic highlights; length 8-12 mm. They have two long antennae on their heads and the abdomen terminates in three appendices.
Harmful stages	Nymph and adult
Elements revealing presence of silverfish	- Damaged materials - Discovery of nymphs and adults

TABLE 6. THYSANURA: DEVELOPMENT

Species	<u>Lepisma saccharina</u>
Embryonic development	At 22°C: 43 days At 32°C: 19 days The eggs do not hatch at temperatures below 22°C or above 37°C. A certain percentage of humidity is also needed for hatching, for example: - at 22°C, relative humidity (R.H.) above 50% - at 29°-30°C, R.H. above 75%
Nymphal development	At 27°C: 90-120 days
Adult life span	At 27°C: about 3.5 years At 29°C: about 2.5 years At 32°C: about 1.5 years Adults can survive several months at 1°C.
Optimal heat and humidity conditions for this species	Temperature: 16-24°C R.H.: 90%.

ORDER Corrodentia (family Liposcelidae)

This order includes about 1,000 species.

These are the very smallest enemies of library and archive materials, just barely visible to the naked eye.

The most frequently-found cosmopolitan species is:

Liposcelis (Troctes) divinatorius (Fig. 9)

common names: - Book lice
- Poux des livres
- Bücherläuse
- Piojo de libros

Behaviour

Book lice generally live on animal and vegetable-based materials. They are often found on documents, the pages of books, leather bindings and wooden structures which have been damaged by microscopic fungi that the book lice feed on. This explains why these insects can be found in the plasterwork of newly constructed buildings, and in any damp areas, and also explains their absence from dry, well-ventilated premises.

Damage

Although book lice feed on the fungi found on various materials, they do at times cause slight damage to adhesives, paper, herbaria and entomological collections, making many tiny surface holes with irregular outlines (Fig. 10). This erosion is not easily detected by the non-expert.

TABLE 7: CORRODENTIA: MORPHOLOGY

Species	<u>Liposcelis divinatorius</u>
Eggs	Bluish in colour, about 1 mm long; the female lays about 200 eggs.
Nymphs	Same appearance as adults except for a lighter colour.
Adults	Soft, flat body, yellowish, greyish or brownish colour. Pair of antenna, invisible to the naked eye. They are rapid and about 1 to 3 mm long.
Harmful stages	Nymph and adult
Elements revealing presence of book lice	- Damaged materials - Discovery of nymphs or adults

TABLE 8. CORRODENTIA: DEVELOPMENT

Species	<u>Liposcelis divinatorius</u>
Embryonic development	For example, at 25°C and 75% R.H. -- 11 days
Nymphal development	From 15 to 30 days Nymphs do not develop under these conditions: - Temp. 25°C, R.H. lower than 55% - Temp. 35°C, R.H. lower than 65%
Adult life span	About 6 months If exposed for 3 hours at 0°C or for 24 hours at 42.5°C at a constant R.H. of 75%, the adult dies.
Length of life cycle	From June-October, with temperatures in the 15-33°C range, for 28-30 days. During the winter, it can reach 130 days.

ORDER Isoptera (families Mastotermitidae, Hodotermitidae, Rhinotermitidae, Termitidae, Kalotermitidae)

- common names: - Termites
 - White ants, termites
 - Fourmis blanches
 - Termiten
 - Weisse Ameisen
 - Hormigas blancas

This order includes about 1,800 species, distributed over a broad section of the globe. Their habitat stretches from latitude 50°N. to latitude 45°S. Of all these species, 130 are harmful to constructions, and these can be divided into two main groups given their distinct nesting habits.

TABLE 9. ISOPTERA: NESTING HABITS

Group	Family	N° of species harmful to constructions	Nidification
Subterranean Termites	Mastotermitidae Hodotermitidae Rhinotermitidae Termitidae	about 120	Nests are built in the ground or in damp wood in contact with the ground; insects enter buildings through cracks in the foundations. Some species of Rhinotermitidae occasionally nest in structural timbers and survive there without ground contact as long as there are other sources of humidity.
Wood Termites	Kalotermitidae	13	Nests are built in the wood the insects feed upon.

Among the termites mentioned, those found in Europe and which are detrimental to libraries and archives are:

Family Rhinotermitidae

Reticulitermes lucifugus Rossi

Reticulitermes lucifugus var: santonensis Feytaud

Reticulitermes flavipes Kollar

Family Kalotermitidae

Kalotermes flavicollis F. (This species only rarely damages books and documents.)

Organization of the Nest

Termites, like bees, wasps and ants, are social insects, i.e. they live together in remarkably well-organized colonies. The number of individuals in a colony varies from one species to another, going from a minimum of about 1,000 (Kalotermes flavicollis, for example) to a maximum of one million or more, as in the genera Macrotermes (Giant termites), Amitermes and Anoplotermes.

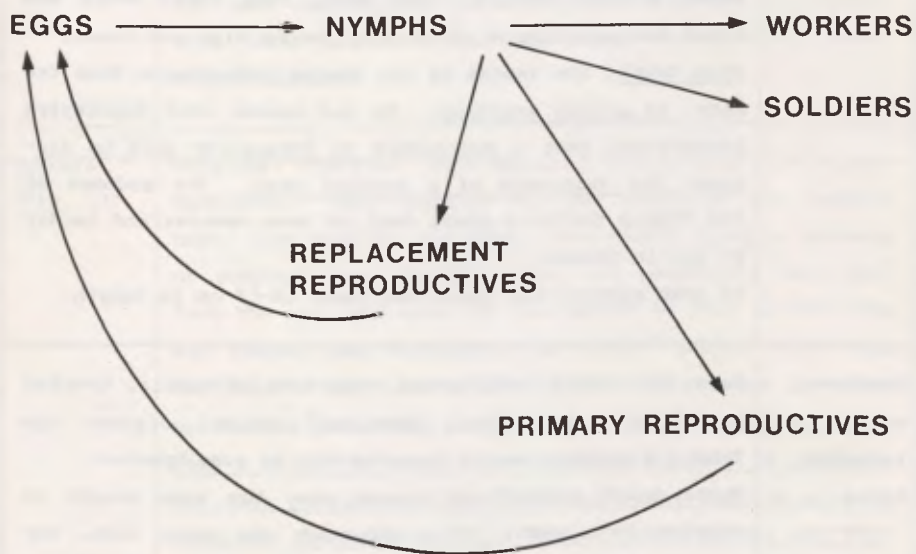
The following castes can be identified within the colonies:

reproductive castes : reproductives (kings and queens)
 supplementary reproductives

sterile castes : workers, soldiers

Life Cycle

The termites' life cycle can be generally outlined as below:



Nymphs look like workers and differ from them only because they are smaller.

TABLE 10. TERMITES: REPRODUCTIVE CASTES

Caste	Characteristics
Reproduc- tives	<u>Individuals</u> of generally dark colour, having completely developed genital organs, two pairs of brown, membranous wings of equal length that, when folded, lie one over the other and flat against the body (Fig. 11). In a certain period of the year, varying from species to species and depending upon climatic conditions, these individuals leave their nests, usually choosing warm, sunny days. After a short flight, they mate, lose their wings and found new colonies of which they become king and queen. <u>This event, the exodus of the winged individuals from the nest, is called swarming.</u> It can assume such impressive proportions that <u>a non-expert is frequently able to discover the existence of a termite nest.</u> The abdomen of the female swells a great deal in some species and hardly at all in others. In some species the queen can reach 14-15 cm in length.
Supple- mentary reproduc- tives	Male and female individuals with wing primordia, greyish or brownish in colour, developed genital organs; the female's abdomen swells considerably in some species. These sexed individuals appear when the true couple is missing in a nest. This situation can occur when, for example, some of the galleries in the nest collapse, isolating a group of sterile termites from the rest of the colony.

TABLE 11. TERMITES: STERILE CASTES

Caste	Characteristics
Soldiers (Fig. 12)	Wingless, sterile individuals with well-developed heads, darker than the rest of the body and with large mandibles. They cannot feed by themselves and are nourished with pre-digested foods by nymphs or workers. If they are isolated from the rest of the colony, they die of the total lack of nourishment. These individuals avoid light. Constituting only a small percentage (1-10%) of the nest population, their duty is to defend the colony from other insects; ants are among the termites' most feared enemies.
Workers (Fig. 13)	Wingless, sterile, light-coloured individuals with strong mandibles. They service all the needs of the termite nest: they nourish the other individuals (nymphs, primary or supplementary reproductives, and soldiers); they collect the eggs and care for the nymphs as well as the king and queen; they facilitate the winged adults' exit from the nest. They also build, repair and enlarge the nest by digging galleries in the ground and surrounding wood. <u>When a source of nourishment or humidity must be reached, and when protection from light and enemy insects must be supplied, the workers build earthen tubes across the surfaces to be traversed (Fig. 14) or construct tubes that hang from the ceilings like stalactites or rise from the floors like stalagmites.</u> The shelter tubes are made of various materials (sand, earth, bits of wood, excrement) which are cemented together with saliva. <u>They avoid light.</u> The workers are the most numerous caste in the termite nest. The symbiont organisms present in the workers' digestive tract make it possible for them to digest cellulose. <u>Workers are, therefore, mainly responsible for the serious damage done to the works of man.</u>

TABLE 12. DATA REGARDING TERMITE PHYSIOLOGY

Queen's Fertility	Varies considerably. The least prolific species lay 200-300 eggs yearly; the very prolific ones can lay up to 13 million each year.
Development & life of the nest	Exact data have not been collected on the development rate of the colonies; it is, in any case, slow and depends directly on climatic conditions and the queen's fertility. A colony needs a few years to form. The life expectancy of a nest varies among the different species, although nests always last a considerable time. The nests built by <i>Kaloterms</i> last 12 to 15 years, the <i>Nasutitermes</i> for 50. If there are supplementary reproductives in a nest, it endures even longer.
Optimal heat and humidity conditions for termites	Temperature -- for nearly all species: 26-30°C. R.H. -- for nearly all species: 97-100% Species in temperate climates can also live at 20°C or lower; species from tropical climates survive only a few weeks at 20-22°C.
Harmful colony members	Mainly workers, and also later-stage nymphs.
Excrement	Termite excrement can be liquid, semi-solid or solid. Liquid and semi-solid excrement is used to seal cracks in the nest, to coat the walls of the galleries and living spaces in the host material, to create a kind of cardboard used to make partition walls. Solid excrement pellets, very dried, are a fairly regular size and are prism-shaped (Fig. 15).
Elements indicating termite infestation	-- Swarming -- Discovery of nymphs, soldiers, and workers -- Damaged materials -- Excrement pellets -- Earthlike shelter tubes built across surfaces or resembling stalactites or stalagmites

Food sources

Termites feed on wood, paper, textiles, leather, parchment, carpets, and plastic materials (e.g. polyvinyl chloride - PVC, or cellulose acetate). They sometimes destroy electric cable sheathing, objects made of bone, ivory, horn. They are also capable of boring through light lead plate. They eat their own eggs and exuviae as well.

Distinguishing features of termite damage to library materials and wood.

Books Termites excavate crater-shaped holes (Fig. 16) in books and cause deep, irregularly-shaped erosion starting from the edge and working inward. In some cases entire volumes have been virtually destroyed, and only the spine and edges have been left intact (Fig. 17).

Wood Termites sometimes dig galleries running parallel to the wood fibres, choosing the softest layers. Consequently, the wood takes on a laminated appearance (Fig. 18). Other times they destroy the wood object almost completely, leaving intact only a fine, film-like surface, easily broken under the slightest pressure. Both types of damage can eventually lead to the collapse of load-bearing structures (Fig. 19).

The fact that termites avoid light explains the way they destroy books and wood objects: when they become aware of being near the surface of the host material, they halt their devastating excavations.

Their semi-solid excrement creates small stains, resembling cork, on damaged material (Fig. 20). These stains are undeniable evidence of termite infestation.

Description of Reticulitermes lucifugus

It is not possible to describe a cosmopolitan species of termite, as has been done for the other insects mentioned in this publication. It was considered helpful, however, to give a very schematic description of the features of Reticulitermes lucifugus. This species is found prevalently in the Mediterranean basin where it has proved particularly harmful to libraries and archives. We hope that this outline will give the reader some indication of the morphological and functional aspects of the components of a formidable termite colony (Tables 12, 13).

TABLE 13. RETICULITERMES LUCIFUGUS: MORPHOLOGY

Species	<u>Reticulitermes lucifugus</u>
Eggs	White, cylindrical and slightly concave, 0.6-0.7 mm.
Nymphs	1-2 mm long upon leaving the egg; completely developed at 7-8 mm length.
Workers	About 5 mm long.
Soldiers	About 5-5.5 mm long.
Reproductives	Reproductives develop from winged individuals having the following dimensions: body length 5 mm; length of body covered with wings 8.5-9.5 mm. After mating takes place, the wings are shed and the individuals become king and queen of a colony. The queen's abdomen increases in volume and she can grow to 10-12 mm long and 4 mm wide.
Supplementary reproductives	At full growth the queen is about 1 cm long. Replacement reproductives are more commonly found in Italy.

TABLE 14. RETICULITERMES LUCIFUGUS: DEVELOPMENT

Species	<u>Reticulitermes lucifugus</u>
Embryonic development	30-90 days; 56 days on average.
Post-embryonic development	For numerous reasons it is almost impossible to supply precise data regarding the length of this period which closely depends upon climatic factors and food supply. Furthermore, the evolution of nymphs into either fertile or sterile individuals is determined by factors linked to the social life of the community. Through various mechanisms and in relation to the needs of the colony, these factors favour the development of workers, soldiers or sexual individuals.
Numerical extent of the colony	Colonies consist of more than 100,000 individuals.
Colony growth	Depending upon climatic conditions, a colony reaches full development after 4-8 years. Soldiers make their appearance after the first year. Winged reproductive individuals appear after 3-4 years.
Optimal environmental conditions for this species	R.H. 96-100%; temperature 26-32°C. -- Nymphs develop at even lower temperatures and tolerate temperatures slightly higher than 0°C. -- To survive, these insects need high R.H. but they do not necessarily need ground contact. -- When heat and humidity conditions are unfavourable or if food becomes insufficient, they emigrate.
Climatic conditions favouring swarming	Clear sky, temperature no lower than 22°C, 65-100% R.H. Swarming takes place from mid-April to mid-June.
Habitat	Temperate zones. This species is typical, however, of the Mediterranean regions. Colonies have been discovered in Italy at up to 800-1,000 metres above sea level.



Figure 21. Anobiid larva nesting in a gallery. Detail: note the enlarged chamber where the larva changes to a pupa.

ORDER Coleoptera (Family Anobiidae, or Deathwatch Beetles, and Dermestidae or Skin Beetles)

The family Anobiidae includes 1,200 species and the family Dermestidae about 1,000 species.

The Coleoptera stand out among the insects that damage books and documents, sometimes quite seriously.

According to percentage ratings of library infestations, these insects cause 90% of the damage in various countries.

Life cycle of the Anobiids and the Dermestids

These insects lay their eggs in tiny holes, cracks or the surface irregularities of certain materials (wood, books). The larvae emerge from the egg surface in contact with the material and thereupon begin to excavate galleries. At the initial development stage, the larvae are very small; their size increases in subsequent stages. Part of the material in which the galleries are dug is eaten, digested and excreted. The gallery diameter grows wider as the larvae develop. Material that has suffered serious damage can have as many as 2-3 larvae per cm³. When the larvae have reached full development, they dig out a small chamber, broader than the gallery, and there the transformation into pupae takes place (Fig. 21). As soon as the insects reach the adult stage, they bore through the surfaces separating them from the outside; they emerge, mate, lay their eggs and, after a length of time that varies from one species to another, die.

Family Anobiidae (Deathwatch Beetles)

The cosmopolitan species that most frequently infest libraries are:

Anobium punctatum (De Geer)

- common names: - Common furniture beetle (borer)
- Vrillette domestique
- Holzwurm Werkholzkäfer
- Carcoma de los muebles

Stegobium paniceum L.

- common names: - Drugstore beetle
- Coléoptère des drogueries/Vrillette du pain
- Brotkäfer
- Carcoma de las drogas/Escarabajo del pan

The Anobium punctatum is the most common and the most destructive of the central, northern and eastern European anobiids. According to Becker, for example, they can be found in every house in Germany.

Life Cycle

The life cycle has already been generally described in preceding paragraphs. Table 15 describes the morphological characteristics of the larva, pupa and adult.

The entire life cycle of the Anobiids (deathwatch beetles) evolves within the material where they live; therefore their presence becomes obvious when the insects reach the adult stage and break through the surface separating them from the outside. They leave unmistakable signs of their passage in the form of the typical, little round holes so often visible in wood, book covers (Fig. 22) and spines, and at times even on leather, plexiglass (Fig. 23), and fine lead foil. The diameter of these holes is a useful element in the identification of the infesting species.

The length of the life cycle varies from species to species, and can be modified, even within a single species, depending upon the heat and humidity of the surrounding environment (Table 16).

TABLE 15. ANOBIIDAE: MORPHOLOGY

Species	<u>Anobium punctatum</u>	<u>Stegobium paniceum</u>
Eggs	- White, ellipsoidal, size 0.35 mm by 0.55 mm. - Average of 28 eggs per female.	- White, oval, size 0.2 mm by 0.3 mm. - Average 40-60 eggs per female.
Larvae (Fig. 24)	Soft, vermiform, whitish or yellow body, initially small and straight, curving later. At full growth reaching 4-5 mm length, 2 mm width.	Soft, vermiform, whitish body, initially small and straight, curving later. At full growth reaching 4 mm length.
Pupae (Fig. 25)	Whitish initial colour, gradually darkens.	Whitish initial colour, gradually darkens.
Adults	Brown or reddish brown, size varying between 2.5-4.5 mm.	Yellowish or dark brown, size varying between 1.8-3 mm.
Harmful stages	- Larva - Adult: bores holes in order to come into the open.	- Larva - Adult: bores holes in order to come into the open.
Diameter of holes bored	About 1.5-2 mm	About 1-1.5 mm
Elements revealing presence of insects	- Damaged materials - Small, cone-shaped piles of frass on shelves and floor - Adult insects walking or flying in premises	- Damaged materials - Small, cone-shaped piles of frass on shelves and floor - Adult insects walking or flying in premises
Anobiid parasites	Some insect species that are Anobiid parasites cause irritating bites to humans.	Some insect species that are Anobiid parasites cause irritating bites to humans (Fig. 26).

TABLE 16. ANOBIIDAE: DEVELOPMENT

Species	<u>Anobium punctatum</u>	<u>Stegobium paniceum</u>
Embryonic development	At 20°C, 87% R.H.: 15.5 days At 20°C, 43% R.H.: 23.3 days At 22.5°C the eggs will not hatch if the R.H. drops below 45%; at this temperature, optimal humidity for hatching is between 65% and 95%.	At 4°C eggs do not grow, but they do retain vitality for months at temperatures as low as -5°C.
Larval development	At 20°C development takes place if the R.H. is >65%.	At 22°C, 70% R.H.: 50 days At 18°C: 110-140 days
Optimal heat and humidity conditions for the species	T 22-23°C R.H. 80-90% These insects resist at temperatures below 0°C so long as the drop is gradual. High lethal temperatures: above 30°C. At 51°C, larvae die within 5 minutes.	T 28°C R.H. 70% Lethal temperatures: -10°C +44°C
Length of life cycle	Generally two years. In warm climates two generations a year can occur.	At relatively low temperatures, one generation is produced per year. In heated environments, 3-4 generations in one year.

Damage

In books, anobiid larvae dig long, twisting, round galleries that usually work from the edges toward the center of the volume (Fig. 27). The gallery diameter varies according to the infesting species and the developmental stage of the larvae. This insect can cause damage not only to paper but to wood, plywood and wicker objects, and some species such as Stegobium paniceum (drugstore beetle) can also damage leather, starch pastes, food-stuffs, and natural history collections, especially herbaria. In wood, they dig galleries, circular in section, parallel to the wood fibres.

The mixture of eroded material and faeces that fills the galleries, and whose appearance can characterize each species, is known as "frass" (Fig. 28).

Family: Dermestidae (Skin Beetles)

The cosmopolitan species most frequently found in infested libraries and archives are:

Dermestes lardarius L.

- common names:
- Bacon beetle or larder beetle
 - Dermeste du lard
 - Gemein or Speckkäfer
 - Dermeste del tocino

Attagenus piceus Ol.

- common names
- Black carpet beetle
 - Charançon des tapis
 - Braune Pelzkäfer
 - Carcoma de las alfombras

Attagenus pellio L.

- common names
- Fur beetle
 - Charançon de la fourrure
 - Pelzkäfer
 - Carcoma de las pieles

Anthrenus verbasci L.

- common names
- Varied carpet beetle
 - Charançon des vêtements
 - Textilkäfer
 - Gorgojo de tejidos

Anthrenus museorum L.

- common names
- Museum beetle
 - Charançon des musées
 - Kabinettkäfer
 - Gorgojo de museos

Life cycle

The life cycle has been described in general terms in preceding paragraphs (page 29). In Table 17 the morphological characteristics of the larvae, pupae and adults of several species are described.

The adults of those insects that are part of the genera *Attagenus* and *Anthrenus* fly around outside as well as inside the premises they infest. They take nourishment from flower pollen.

The length of the life cycle varies from species to species, and even within the same species it can vary depending upon heat and humidity conditions (Table 18) as well as food supply. The latter has a very important influence: in fact, inadequate food or a lack of the materials needed for growth noticeably slows down the life cycle.

Damage

Damage is caused almost exclusively by larvae which make irregularly shaped holes and, at times, superficial galleries. The galleries contain powdery excrement and exuviae. At the end of the larval stage the insect digs a cavity, at a lower level and in materials that can be fairly hard and inedible. Here it changes to a pupa. The Dermestids frequently damage leather and parchment bindings, adhesives of animal origin, furs, woolen and silk cloth. They are relentless destroyers of entomological collections. They also eat vegetable matter such as paper, wood and foodstuffs (wheat, various kinds of seeds). It is interesting to note that these insects sometimes damage electric wiring, causing short circuits, and that they bore through materials such as plastics, thin sheets of lead, tin and asbestos.

TABLE 17. DERMESTIDAE: MORPHOLOGY

Species	<u>Dermestes</u> <u>lardarius</u>	<u>Attagenus</u> <u>piceus</u>	<u>Anthrenus</u> <u>verbasci</u>
Eggs	White, darkening in a few hours. Size: 2 mm x 0.3-0.6 mm. One female lays from 200-800 eggs.	The female lays from 50-100 eggs.	The female lays from 20-100 eggs.
Larvae	White at first, darkening after a few hours; body covered with hairs. Avoid light. Remain motionless if disturbed, then roll up and play dead. At full growth: 10-15 mm.	Long body covered with golden hair. Typical tuft of hair at end of body. Avoid light. Roll up and play dead if disturbed. (Fig. 29)	Yellowish body covered with tufts of long brown hair. Three thick tufts of hair at end of body. 4-5 mm at full growth. (Fig. 30)
Nymphs	Ivory colour, darkening quickly; 8-9 mm x 3 mm.	Yellow covered with white fuzz.	Yellowish.
Adults	Black, oval body covered with yellowish fuzz; 7-9 mm long.	Black, oval body with brown or red highlights; 3.6 to 5-7 mm long. (Fig. 31)	Black, slightly oval body, covered with white and yellow scales, 2-3 mm long. (Fig. 32)
Harmful stages	Larva and adult	Larva	Larva
Elements indicating presence of insects	- Damaged materials - Adult insects crawling or flying	- Damaged materials - Adult insects, especially near windows - Exuviae	- Damaged materials - Adult insects, especially near windows - Exuviae

TABLE 18. DERMESTIDAE: DEVELOPMENT

Species	<u>Dermestes</u> <u>lardarius</u>	<u>Attagenus</u> <u>piceus</u>	<u>Anthrenus</u> <u>verbasci</u>
Embryonic development at:	17°C: 9 days 25-29°C: 2.5 days	18°C: 22 days 25°C: 8-9 days 30°C: 5-6 days	18°C: 35 days 29°C: 10 days
Larval development	5-8 weeks	At 25-30°C: 65-180 days, depending upon food supply.	No exact data; food supply very influential. In a cold environment they remain at larval stage for winter.
Adult life span	3 months ca. Adults often winter inside foodstuffs.	Insects sometimes hibernate in the adult stage. 15-25 days at 29°C 60-70 days at 18°C	7-40 days
Length of life cycle	At 18-25°C: 2-3 months	Usually 1 year. In very favourable conditions, or unfavourable, from minimum of 6 months to maximum 3 years.	In temperate zones, usually 1 year. In heated areas, 2 generations per year. In particularly bad conditions, 1 generation every 2 years.
Optimal heat/humidity conditions	Temp. 18-20°C R.H. 70%	Temp. 24-25°C	Temp. 25°C

MICRO-ORGANISMS

The micro-organism species (bacteria and fungi) that damage library and archive material are numerous. About 300 different species have been identified as belonging to about 140 genera and to various families. Tables 19-20 indicate the micro-organisms most frequently found (Figs. 33, 34, 35), and the materials where they have been located. As this publication is purely informative, it is opportune to list the genus names and not the species. Nevertheless, it seems interesting to note that among the fungoid species that damage books, a great many belong to the *Aspergillus*, *Penicillium* and *Chaetomium* genera, and that many of these have been isolated from volumes kept in libraries great distances apart. Statistics also show that the highest percentage of book infections are due to *Aspergilli* (about 30%) and to *Penicilli* (more than 30%). This can be explained by the fact that the spores of some species of these ubiquitous fungi are capable of germinating even in environments having an R.H. of 62-65%.

Occasionally micro-organisms that do not live on paper or parchment, etc., can be found on books and documents; they develop on the organic substances (mucus, saliva, etc.) present in some cases on these materials.

TABLE 19. MATERIALS DAMAGED BY BACTERIA

Bacteria	Paper Cardboard	Leather	Parchment	Inks	Animal/Vegetable based adhesives	Synthetics	Textiles	Wax seals	Photographs	Magnetic tapes
Cellvibrio	x									
Cellfalcicula	x									
Serratia			x		x	x				
Bacillus * Subtilis Cohn		x	x			x	x			
Nocardia	x							x		
Streptomyces		x	x						x	x
Cytophaga	x									
Sporocytophaga	x									

* Many species belong to the genus *Bacillus*, but among these *subtilis* especially causes serious damage to library materials; for this reason the name of the species has been given in this case.

TABLE 20. MATERIALS DAMAGED BY FUNGI

Fungus	Paper Cardboard	Leather	Parchment	Inks	Animal/Vegetable based adhesives	Synthetics	Textiles	Wax seals	Photographs	Magnetic tapes
Rhodotorula	x	x								
Mucor	x	x	x				x			
Rhizopus	x	x	x				x		x	
Chaetomium	x	x	x			x	x	x	x	x
Gymnoascus	x									
Aspergillus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Penicillium	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Phoma	x						x			
Trichoderma	x	x	x			x	x	x	x	
Paecilomyces (= Spicaria)	x	x					x		x	
Trichothecium	x		x		x				x	
Cephalosporium	x		x				x	x		
Scopulariopsis	x	x	x				x	x	x	
Monilia	x		x			x	x			
Verticillium	x						x			
Aureobasidium (= Pullularia)	x	x				x	x	x		
Hormiscium	x									
Helmintho- sporium	x				x					
Stachybotrys	x				x	x	x			
Cladosporium	x	x	x			x	x	x		x
Alternaria	x	x	x		x	x	x	x		x
Stemphylium	x	x			x	x	x	x		x
Fusarium	x	x	x		x	x	x	x	x	
Doratomyces (= Styxanus)	x						x	x		

Causes of Infections of Library Materials and the
Growth of Micro-organisms

The main causes of the infection of library materials are:

- a) the use of materials (papers, adhesives, etc.) containing micro-organism spores for the manufacture and restoration of books and documents;
- b) micro-organisms present in dust particles in the air.
- c) accidental causes, such as building collapse or flooding that can give rise to conditions favouring the development of bacteria or fungi;
- d) the presence of infected books or documents in the vicinity.

With regard to points a), b) and d), it should be borne in mind that spores of bacteria and fungi can remain for months, at times even for years, on library materials without causing damage. Damage occurs only when environmental conditions and the moisture content of the materials reach certain levels permitting the spores to germinate (Table 21).

TABLE 21. CONDITIONS AFFECTING DEVELOPMENT OF BACTERIA AND FUNGI

Micro-organisms	Temperature	R. H.	Moisture Content of materials allowing spore germination
Bacteria	Optimum 20-35°C Minimum 5°C Maximum 50°C	Optimum 90-100% Minimum 65%	Above 8-10%
Fungi	Optimum 24-30°C Minimum -7°C Maximum 50°C	Optimum 65-100% Minimum 50%	

The data shown in Table 21 regarding optimal conditions for micro-organism development and the temperature and R.H. values above and below which development does not occur, are purely indicative. The possibility and rapidity of infections differ if, for example, the temperature is high and the humidity low or if both are high.

Table 22 illustrates two examples to help the reader understand how microbe growth takes place at R.H. values that differ from species to species. (Note that the R.H. drops as the temperature increases when other variables remain constant.)

Table 23 also shows an example of the growth rate on paper of a fungus at different R.H. levels.

TABLE 22. R.H. AND TEMPERATURE-FACTORS AFFECTING GROWTH

Fungus	Temperature	Minimum R.H. allowing growth
<u>Penicillium</u> <u>chrysogenum</u>	10°C 15°C 25°C	83.5% 77% 72.5%
<u>Aspergillus</u> <u>flavus</u>	12°C 16°C 30°C	95% 90% 81%

TABLE 23. R.H. LEVELS AFFECTING GROWTH

Fungus	Relative humidity	Time needed by fungus for growth on paper
<u>Penicillium</u> <u>chrysogenum</u>	100% 72%	5-20 days 120-150 days

Damage

Micro-organisms are the cause of various kinds of stains on library material. These can be irregularly shaped or round, frequently nucleate, of colours such as red, violet, yellow, brown, black, etc., in differing intensity (Figs. 36, 37, 38). One particular discolouration of paper is 'foxing', the appearance of small, rust-coloured stains (Fig. 39).

Frequently after bacterial and fungal attacks, paper takes on a feltish appearance (Fig. 40) and becomes fragile; parchment has tiny holes and becomes porous; leather and plastic materials become stiff; photographs become perforated (Fig. 41).

Identification of micro-organisms

The colour of stains or spots cannot be used to identify the bacteria and fungi causing them. In fact, pigment tones of individuals of the same species differ in relation to the chemical characteristics of the library material, for example its pH, the possible contemporary presence of other micro-organisms, the age of the vegetation.

Powdery or downy formations are frequently visible in correspondence to the stains, and occasionally extremely small bodies cling to the material under examination (Figs. 42, 43). These formations are composed of the hypha and spores of the fungi. They spread very easily throughout the environment, as soon as the damaged volumes are moved, and can infect sound volumes as well as become a health hazard to librarians or readers.*

A microbiologist, using both cultures and microscopic examinations, is the only source of a positive identification. **

* For example, among fungus species found on books, about 20 can cause mycosis or allergies (bronchial asthma, etc.).

** Identification, and consequently information on the physiological activity of the micro-organism, leads to understanding of the mechanism by which the micro-organism has damaged the material where it has been found. Identification also permits one to ascertain whether the species is one that causes disease in man, and to choose the most efficacious method of elimination. For this purpose, most disinfections rely on two gases: ethylene oxide and formaldehyde.

FACTORS FAVOURING THE DEVELOPMENT OF BIOLOGICAL AGENTS PREVENTIVE MEASURES TO BE TAKEN

The factors favouring the development of biological agents on library materials are:

- 1) - dust;
- 2) - poor ventilation;
- 3) - poor lighting;
- 4) - high temperatures;
- 5) - high R.H.;
- 6) - unsuitable materials used in the manufacture and restoration of books;
- 7) - unsuitable furnishings.

Dust

Dust has a heterogeneous and variable composition. It usually contains chemical particles of diverse origins and nature, insect eggs, micro-organism spores, and flower pollens. This composition varies with respect to the location of the library or archive, the state of preservation of the material and the activity taking place in the immediate environment.

Elements of biological and chemical origin contained in dust can damage libraries and archives, and in order to prevent this, the books should be dusted regularly and methodically. During this operation, to be carried out with vacuum cleaners, the workers should wear masks, gloves and overalls.

Ventilation

Ventilation has a double purpose: it prevents to a degree the development of the microbe spores deposited on books, and prevents the creation of micro-climates where condensation may take place on cold surfaces (metallic shelving, windowpanes, etc.).

Lighting

Natural and artificial light accelerate the ageing process (yellowing, fragility) of paper. It is thus advisable to keep books in dark premises.

On the other hand, darkness favours the growth and development of most insects and micro-organisms. In an attempt to meet both these necessities, a light level of 50 lux is advisable when needed.

Temperature and Relative Humidity

Among the factors favouring the development of biological agents on library materials, temperature and R.H. play a very important role. In fact, as mentioned previously, the majority of biological agents either do not develop or develop with difficulty when they find themselves above or below certain heat and humidity levels. The optimal values for temperature and R.H. for these agents, indicated in detail in the preceding paragraphs, have been summarized in Table 24 below.

TABLE 24. OPTIMUM R.H. AND TEMPERATURE
FOR DEVELOPMENT OF BIOLOGICAL AGENTS

Biological Agent	Optimum Temperature	Optimum R.H.
Cockroaches	25-30°C	> 70%
Book lice	25-30°C	75%
Silverfish	16-24°C	90%
Termites	26-30°C	97-100%
Deathwatch beetle	20-28°C	70-90%
Skin beetles	18-25°C	70%
Bacteria	20-35°C	90-100%
Fungi	24-30°C	65-100%

These data on environmental factors show that in order to avoid, within broad limits, possible infections and infestations, library materials must be kept in sufficiently ventilated, reasonably lit premises where heat and humidity values are maintained within the following limits:

Temperature	16-18°C
R.H.	40-60%

While these conditions do limit the broad risks of infection and infestation, it is nonetheless advisable to check the state of preservation of the materials regularly.

Materials used in the manufacture and restoration of books

The choice of these materials must be made after carefully evaluating their physical and chemical characteristics, as there is a definite correlation between these characteristics and the possibility of attack by biological agents.

Materials of animal and vegetable origin are destroyed by these agents much more easily than synthetic ones, and even among these there are noticeable differences among chemical compounds belonging to the same class. For example, cellulose derivatives with high substitution levels are more resistant to fungi and bacteria than those with low substitution levels.

Additives used in natural or synthetic materials in order to give them certain characteristics (such as the oils and fats used to make leather flexible, the plasticizers used in synthetic polymers, etc.) can in fact be a source of nutrition for some biological agents.

Furnishings

Irrational furnishing which does not adhere to certain standards can favour the development of insects and micro-organisms in library materials.

Generally speaking, metallic shelving and furniture is preferable to wood, because some wood-eating insects, such as termites and anobiids, can also damage paper, parchment, etc. Library infestations frequently arise from insects that spread from the shelves to the books.

Metallic furnishings, however, can also present problems from the biological point of view. Metal, in fact, is a cold surface upon which condensation can occur under certain environmental conditions; this in turn favours the appearance of infections of volumes.

Bookcases, either of wood or metal, must be open and, if they are metal ones, the amount of metal surface should be reduced to a minimum (perforated shelves and uprights, no backs, etc.). These characteristics permit air to circulate among the books, thus diminishing or avoiding the damage deriving from condensation.

ANNEX I

Classification of biological agents

Order = Group of families related to one another.

Family = Group of genera that have very noticeable morphological characteristics in common. The grouping of several families related to one another constitutes an order.

Genus = Sub-division of the family, grouping similar species that have morphological and often even physiological characteristics in common.

Genus names = Always a noun, obtained either from the ancient Latin or Greek name or created ex-novo, as a derivative from the classical languages or by using a proper name.

Species = The name is almost always an adjective describing a salient characteristic of the insect or micro-organism; other times it is a noun-adjective.

An initial or name following the genus-species indicates the author, that is, the scholar who named the insect or micro-organism.

TABLE 25. EXAMPLES OF CLASSIFICATION

Insect	Thysanura	Lepismatidae	Lepisma	saccharina	L.
↑	↑	↑	↑	↑	↑
CLASSIFI- CATION	ORDER	FAMILY	GENUS	SPECIES	AUTHOR'S NAME
↓	↓	↓	↓	↓	↓
Micro- organism	Sphaeriales	Chaetomiaceae	Chaetomium	indicum	Corda

ANNEX II

Criteria to follow in eliminating biological agents harmful to library materials.

Adopting the measures indicated in the preceding paragraphs will, to a large degree, prevent the occurrence of insects and micro-organisms harmful to library materials.

When these measures prove ineffective or if they are not used, and infections and/or infestations occur, it is necessary to intervene with suitable means. These interventions, which must be prompt in order to keep the damage caused by biological agents from spreading or becoming irreparable, nearly all depend upon chemicals which are chosen and used with the following considerations in mind.

- 1) Efficacy against the biological species to be eliminated. This presumes that the insects have been identified and that their life cycle has been determined.
- 2) Effect that the chemical used could have on library materials. Either immediate effects, effects due to residues or to the products of reaction.
- 3) Possible toxicity to man of the chemical compound to be used. Immediate effects or effects due to residues or to the products of reaction.

Only a limited number of chemical compounds meet all the requirements that permit their use as disinfectants and disinfestants of books and documents. Among these, those most commonly used in either the gas, liquid or solid state are indicated in Annex III.

It should be stressed that the treatments should be carried out only when there are active centres of infection or infestation. In fact, the chemical compounds always have, to a greater or lesser degree, a degenerative effect on the materials with which they come into contact, and should therefore be used only when absolutely necessary.

ANNEX III
DISINFESTANTS AND DISINFECTANTS

Means used	Chemical compounds	Application	Biological agents affected
Solid state insecticides	Gammexane, Silica-aerogel	Apply to shelves. <u>Never directly on books</u>	Lepismatids
	Pyrethrum, DDT Propoxur	" " " " " "	" , Blattids Blattids
Liquid state insecticides	Pyrethrum, DDT Propoxur	Apply to surfaces where Blattids walk, <u>never on books</u>	Blattids
	Pentachlorophenol, Pentachlorophenate of sodium, DDT, Gammexane	Apply to wood structures, at base of walls or on ground to create chemical barriers protecting buildings from infestation. <u>Never on books.</u>	Termites
	Pentachlorophenol, Gammexane	Inject into infested wood shelving. <u>Never on books.</u>	Anobiids
Gaseous state insecticides, bactericides, fungicides	Ethylene oxide	In <u>fumigation chamber</u> to treat books.	Lepismatids, Psocids, Blattids, Termites, Anobiids, Dermestids, Bacteria and Fungi
	Methyl bromide	To treat infested buildings. <u>In the air</u> to treat books and shelving. <u>In fumigation chamber</u> to treat books.	Termites Anobiids, Lepismatids
	Formaldehyde	<u>In the air</u> and in <u>fumigation chamber</u> to treat books.	Psocids, Bacteria, Fungi

- Safety measures to be taken while using commercial products in the solid or liquid state and containing the chemical compounds indicated in this annex, as well as data on toxicity should be requested from the manufacturer and local health authorities.
- Except in rare cases, it is better to avoid using solid or liquid state insecticides that remain active for a long period in confined areas where people are working, as these emanate noxious fumes. These fumes can reach a toxic level, and it is also possible that the long-term emanation of small amounts of vapours or fumes can create a concentration whose effects are still unknown.
- Chemical compounds in the gaseous state have a broad range of action, considerable penetration and little residual action, characteristics that permit rapid and efficacious treatments. The use of these gases, subject to specific and strict legislation in all countries, must be entrusted to highly qualified technicians both to avoid the risks inherent in their high toxicity as well as to achieve the best possible results.
Formaldehyde damages proteic materials (leather, parchment). Some kinds of leather and parchment absorb an unpleasant odour when treated with Methyl Bromide. The use of this gas is therefore not advised in treating these materials.

ANNEX IV

In order to evaluate the likelihood of an infection, a third determinant factor must be taken into account -- the moisture content of the library materials, which changes with variations in the R.H. of the air (Table 26). These materials react differently to humidity conditions, as is shown in Table 27. Paper, leather, parchment and adhesives obviously have different moisture contents; when the moisture content surpasses the 8-10% level, it determines the germination of spores. This level is reached by nearly all library materials when the R.H. of the environment surpasses 60%.

TABLE 26. MOISTURE CONTENT OF PAPER IN RELATION TO R.H.

Paper Type	Temperature	R.H.	Moisture Content
True cellulose	20°C	100% 63%	16.13% 7.9%
Newsprint with 30% wood pulp	20°C	100% 63%	20.72% 10.96%
Newsprint with 75% wood pulp	20°C	100% 63%	20.17% 10.10%

TABLE 27. MOISTURE CONTENT OF MATERIALS AT HIGH R.H.

R.H.	Material	Moisture Content
80%	Paper	9-14%
"	Paste	15%
"	Bone glue	11.5%
"	Starch paste	10-12%
"	Various leathers	18-28%

GLOSSARY

Bacteria: Vegetal, microscopic, unicellular organisms.

Cosmopolitan: widely distributed and common organisms.

Embryo: The insect during its development before hatching.

Enzymes: Catalysts of biological origin. Enzymes are proteins having high molecular weight, and they catalyze specific reactions.

Exuviae: Larval cuticle or nymphal cuticle sloughed after each moult.

Frass: A mixture of debris and excrement produced by insects.

Fungi: Vegetable organisms, whose vegetative body, or thallus, is made up of one or more tube-shaped cells, called hyphae; together they constitute the mycelium.

Herbaria: Collections of dried plant specimens.

Hygroscopic materials: Materials whose moisture content depends upon the moisture content of their environment.

Life cycle: Period of time elapsing between the deposition of an egg and the date when the individual produced deposits eggs in turn.

Optimal conditions; optimum heat and humidity: Those heat and humidity values which, among those included in the range compatible with the life of a species, are the most favourable to its growth.

Pigments: Products of microbic metabolism.

Spores: Minute, resistant corpuscles, having a thick wall, formed within the bacterial cell; considered to be an incistate or resistant state.

Reproductive cell of the fungus able to start other life directly.

Symbiont organisms, Symbiosis: Two organisms that live together in a mutually beneficial relationship (symbiosis).

Yeasts: Common term used to indicate a large group of micro-organisms of the fungus order. Most yeasts are unicellular.

BIBLIOGRAPHY

BELYAKOVA, L.A. "The Mold Species and Their Injurious Effect on Various Book Materials." Collections of Materials on the Preservation of Library Resources, pp. 183-194. London: Oldbourne Press, 1964.

Investigation carried out on several hundred volumes in the Lenin Library to identify the fungus species damaging library materials.

BUSVINE, J.R. Insects and Hygiene. London, New York: Chapman and Hall, 1980. 568 pp.

Several chapters of this work are dedicated to insects that damage materials of animal and vegetable origin. Many of these insects also infest libraries and archives.

CZERWINSKA, E., and R. KOWALIK. "Microbiodeterioration of Audiovisual Collections. Part I Protection of Audio-visual Records against Destructive Micro-flora; Part II Microbial Problems in Photographic Print Collections." Restaurator, 3 (1979), pp. 63-80.

Research on microbic agents that damage magnetic tapes and photographs.

EDWARDS, S.R., B.M. BELL, and M.E. KING. Pest Control in Museums: A Status Report 1980. Association of Systematics Collections, 1981.

The publication treats problems relative to insecticides used against insects infesting museums. A 20-page appendix is dedicated to these insects, many of which also destroy books and documents.

EWALD, G. "Mikroorganismen als Schädlinge in Bibliotheken und Archiven." Bibliothek und Wissenschaft, Bd 3 (1966), pp. 13-112.

Broad review of micro-organisms that damage library resources, the factors favouring their growth and the means of combatting them.

FLIEDER, F. La conservation des documents graphiques. Paris: Recherches expérimentales Eyrolles, 1969. 288 pp.

The first chapters are dedicated to the agents that damage library and archival materials. In later chapters the author reports the results of her research on disinfection, disinfestation and on methods of removing stains from graphic documents.

GALLO, F., and P. GALLO. "Bromuro di Metile, Ossido di Etilene, Formaldeide: problemi biologici, tossicologici e problemi correlati al trattamento dei materiali librari." Nuovi Annali di Igiene e Microbiologia, XXIX, N°1 (1978), pp. 51-82; XXIX, N°2 (1978), pp. 131-67.

Review of the chemical compounds in the gaseous state most commonly used against biological agents harmful to library materials.

-----". "Bücherfeindliche Insekten und Mikro-organismen." Papier Geschichte, 16, N°3/4 (1966), pp. 7-28.

- Republished in Italian: Boll. Ist. Pat. Libro, XXVI, N°3-4 (1967) pp. 143-190.

- Republished in Japanese: edited by the Japanese Association of Museums. 66 pp.

The insects and micro-organisms that damage library materials. The means to be used against entomological and microbic alterations of books, and the means of halting infestations and infections.

GALLO, P. "Considerazioni sui rapporti tra i funghi ospiti della carta e le micosi umane." Boll. Ist. Pat. Libro, XII (1953) N°3-4, pp. 77-89.

Fungi that are pathogenic for man and that develop on library materials.

HICKIN, N.E. The Insect Factor in Wood Decay. London: Hutchinson and Co. Ltd., 1963. 336 pp.

Several chapters deal with Anobiids and termites that can prove harmful to library materials.

----- . Household Insect Pests. The Rentokil Library. Hutchinson of London Publ. Ltd., 1964. 172 pp.

Insects that infest homes; among these many are harmful to books and documents.

KOWALIK, R. "Paper and Parchment Deteriorating Fungi Pathogenic to Man." Wolfenbütteler Forschungen Herausgegeben Von der Herzog August Bibliothek, Band 1 (1977), pp. 85-90.

Review of fungi pathogenic to man that develop on library materials.

----- . "Microbiodeterioration of Library Materials." Restaurator, 4 (1980), pp. 99-114.

Heat and humidity conditions of the environment and moisture content of library materials which permit the germination of microbic spores.

----- . I. SADURSKA, and E. CZERWINSKA. "Microbiological Deterioration of Old Books and Manuscripts - Remedies." Boll. Ist. Pat. Libro, XXI, N°3-4 (1962).

Microbic agents damaging library materials, and methods of destroying them.

KRAEMER KOELLER, G. Tratado de la Previsión del Papel y de la Conservación de Bibliotecas y Archivos. Madrid: Dirección General de Archivos y Bibliotecas, 1973. Vol I, 838 pp.; vol II, 208 pp.

This work deals with the physical, chemical and biological problems connected with the preservation of books and documents.

KRISHNA, K., and F.M. WEESNER. Biology of Termites. New York, London, Academic Press. Vol I, 1969, 598 pp.; vol. II, 1970, 643 pp.

The biology of termites, their diffusion throughout the world, the influence of climatic conditions on them, ways of preventing their appearance and halting infestations.

NYUKSHA, J.P. "Biological Principles of Book Keeping Conditions." Restaurator, 3 (1979) pp. 101-108.

Research on the existing relationship between relative humidity, moisture content of paper and micro-organism development.

-----". "Developing Communities of Paper-Inhabiting Fungi." Mycologiya i Phytopathologiya, 8, N°6 (1974), pp. 478-82.

Enzyme activity and vitality of fungi that damage paper; climatic conditions favourable to their development.

-----". "Mycoflora of Books and Papers." Botanicheskii Zhurnal, 41 N°6 (1956), pp. 797-809. Trans. S.A. Sinclair. Ottawa: Nat. Res. Council of Canada, 1958.

Review of fungi that damage library materials.

----- . "Paper-Inhabiting Fungi." Mycologiya i Phytopathologiya, 8, N°4 (1974) pp. 306-311.

Research carried out on paper material from various libraries in the Soviet Union; 308 fungus species were isolated.

Préservation du bois dans la construction. Norme française N F X N°40-500.

These guidelines provide indications on the use of chemical methods to protect wood from insect attack.

Protection des constructions contre les termites en France. Norme française F D X N°40-501.

These guidelines indicate measures to adopt to protect buildings from termite infestations.

TURNER, J.N. The Microbiology of Fabricated Materials. London: J. and A. Churchill, 1967. 296 pp.

Several chapters of the book are dedicated to the microbic origin of alterations of paper, leather, textiles, and synthetic materials.

WILLIAMS, M.C. "The Ecology and Physiology of Structural Wood Destroying Isoptera." Material und Organismen, 12, N°2 (1977), pp. 111-140.

Monograph on termites that damage buildings.



Figure 3. Blatta orientalis. Actual size: 20-24 mm long.

Blatta orientalis. Taille réelle: 20-24 mm.



Figure 4. Binding damaged by roaches.

Reliure abîmée par des blattes.



Figure 5. Print damaged by roach excrement.

Gravure endommagée par
des excréments de
blattes.



Figure 6. Lepisma sp.
(silverfish).
Actual size: 8-12 mm
long.

Lepisma sp. (petit
poisson d'argent).
Taille réelle: 8-12 mm.



Figure 7. Photograph damaged by silverfish.

Photographie endommagée par de petits poissons d'argent.



Figure 8. Print damaged by silverfish.

Gravure endommagée par de petits poissons d'argent.

Figure 9. Liposcelis divinatorius
(book louse). Actual
size: 1-3 mm long.

Liposcelis divinatorius
(poux des livres).
Taille réelle: 1-3 mm.



Figure 10. Paper with tiny
erosions caused by
book lice.

Papier présentant de
légères érosions
causées par les poux
des livres.



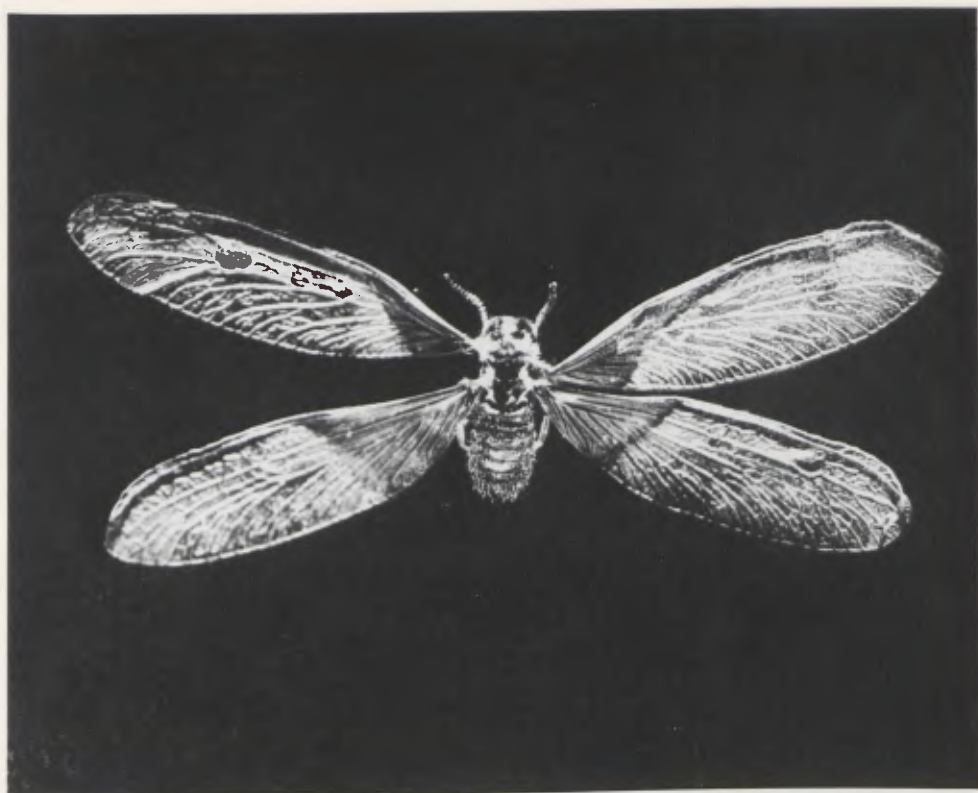


Figure 11. Winged reproductive termite (Reticulitermes lucifugus).
Actual length of body: 5 mm; with wings: 8.5-9.5 mm.

Termite reproducteur ailé (Reticulitermes lucifugus).
Taille réelle: corp sans ailes 5 mm; corp ailé 8,5-9,5 mm.



Figure 12. Soldier termite (Reticulitermes lucifugus).
Actual size: 5-5.5 mm long.

Termite soldat (Reticulitermes lucifugus).
Taille réelle: 5-5,5 mm.



Figure 13. Worker termite (Reticulitermes lucifugus).
Actual size: 5 mm long.

Termite ouvrier (Reticulitermes lucifugus).
Taille réelle: 5 mm.

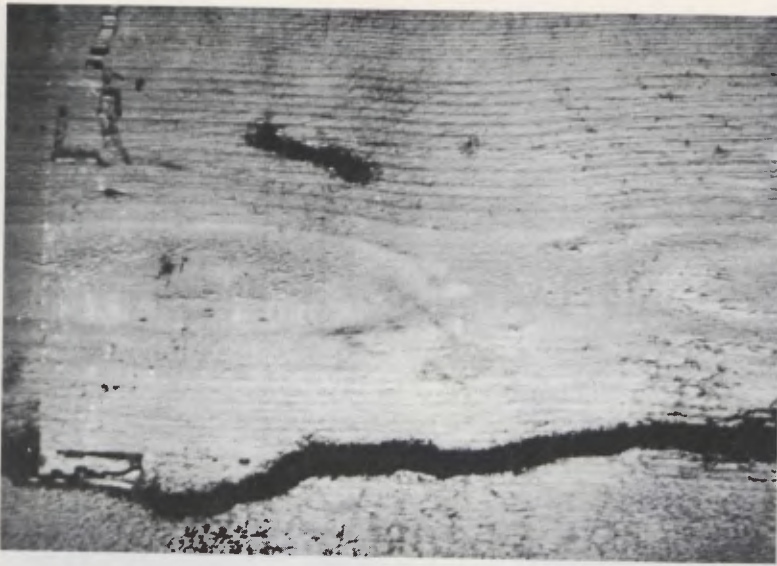


Figure 14. A termite shelter tube on a wooden plank.

Boyau d'une termitière sur une planche de bois.



Figure 15. Solid termite excrement. Enlargement: 16x.

Excréments solides de termite. Agrandissement: x16.



Figure 16. Crater-shaped erosion caused by termites.

Erosion en forme de cratère causée par des termites.



Figure 17. Book almost completely destroyed by termites.

Livre presque entièrement détruit par des termites.



Figure 18. Termite-damaged wood
with laminated
appearance.

Bois endommagé par des
termites présentant un
aspect laminé.



Figure 19. Beam hollowed out by
termites.

Poutre évidée par des
termites.

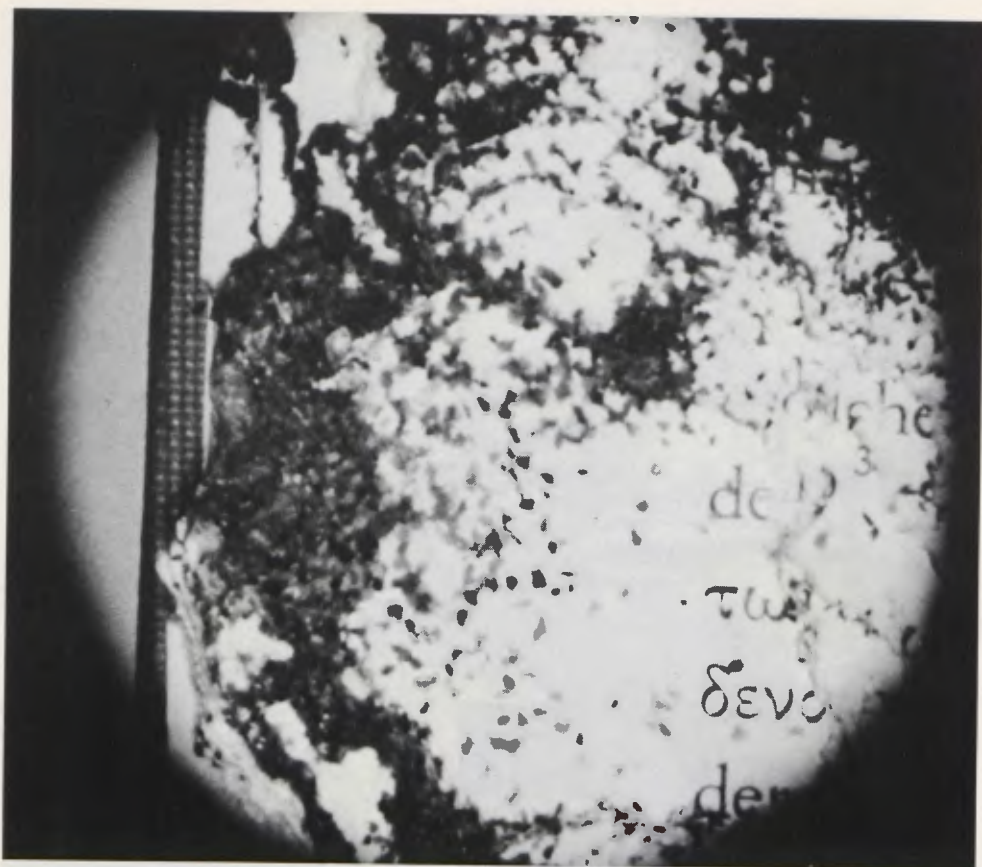


Figure 20. Staining produced by semi-fluid termite excrement.

Taches provoquées par les excréments pâteux des termites.



Figure 22. Book board with circular holes caused by Anobiids.

Etagère à livres présentant des trous circulaires causés par les anobiidés.

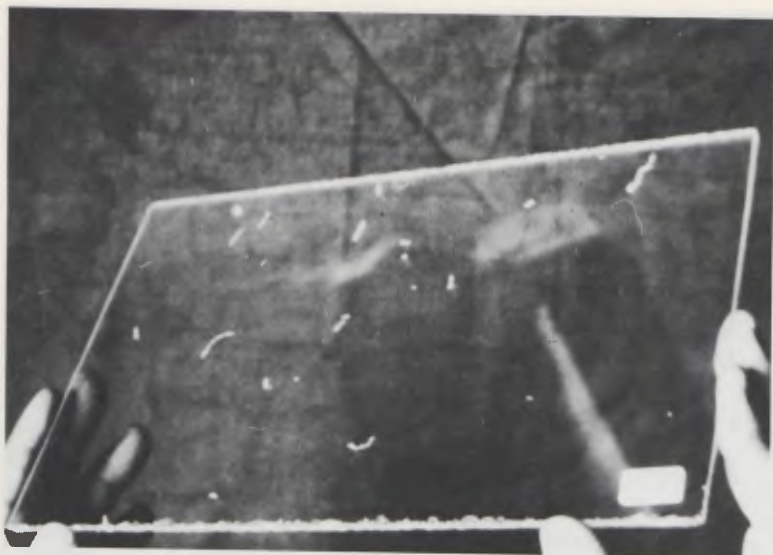


Figure 23. Plexiglass sheet
damaged by Anobiids.

Plaque de plexiglas
endommagée par des
anobiidés.

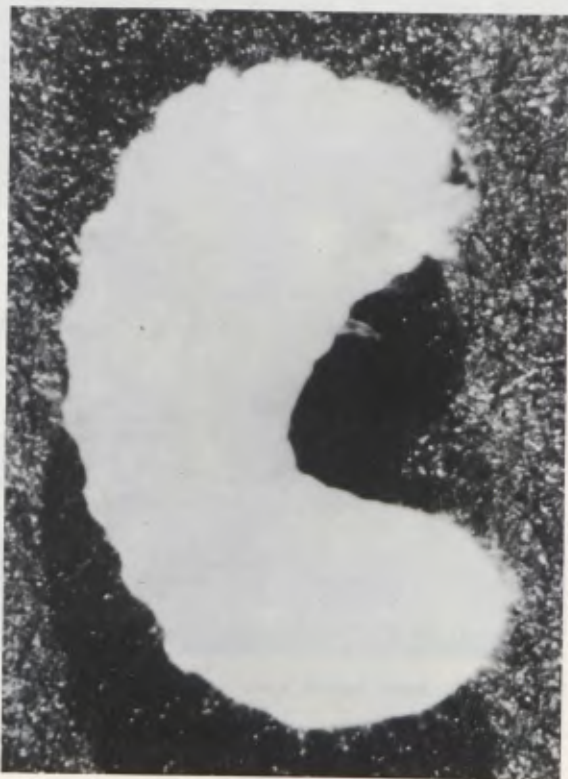


Figure 24. Anobiid larva.
Actual size: 4-5 mm
long.

Larve d'anobiidé.
Taille réelle:
4-5 mm.



Figure 25. Anobiid adult. Actual size: 1.8-4.5 mm long.

Adulte d'anobiidé. Taille réelle: 1,8-4,5 mm.



Figure 26. Scleroderma sp. - an Anobiid parasite.
Actual size: 3.5-4.5 mm long.

Scleroderma sp. - un parasite des anobiidés.
Taille réelle: 3,5-4,5 mm.



Figure 27. Galleries created by Anobiids.

Galleries creusées par les anobiidés.

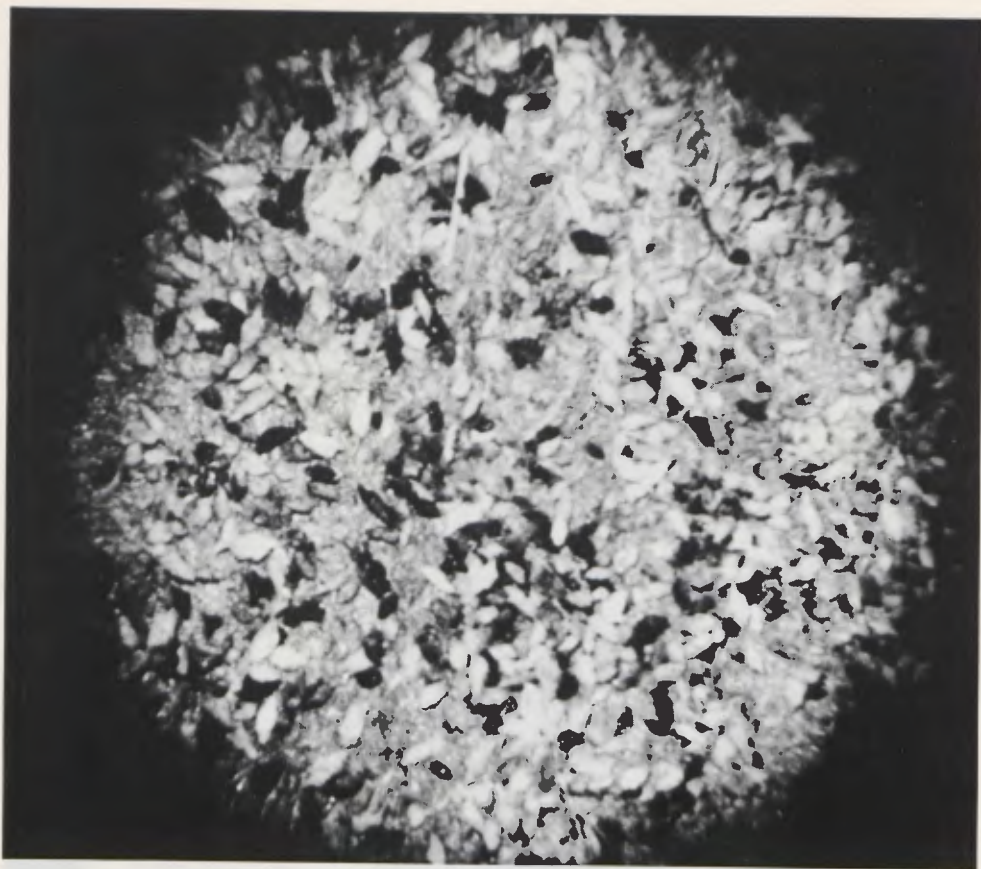


Figure 28. Anobiid frass. Enlargement: 25x.

Vermoulures d'anobiidé. Agrandissement: x25.



Figure 29. Larva of Attagenus sp. Actual size: 8-10 mm long.

Larve d'Attagenus sp. Taille réelle: 8-10 mm.

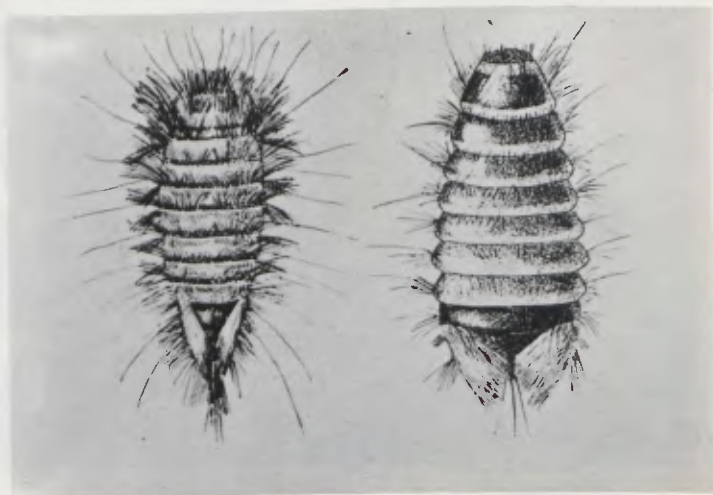


Figure 30. Larva of Anthrenus sp. Actual size: 4-5 mm.

Larve d'Anthrenus sp. Taille réelle: 4-5 mm.



Figure 31. Adult of Attagenus sp.
Actual size: 3.6-7 mm
long.

Adulte d'Attagenus sp.
Taille réelle:
3,6-7 mm.



Figure 32. Adult of Anthrenus sp.
Actual size: 2-3 mm
long.

Adulte d'Anthrenus sp.
Taille réelle: 2-3 mm.

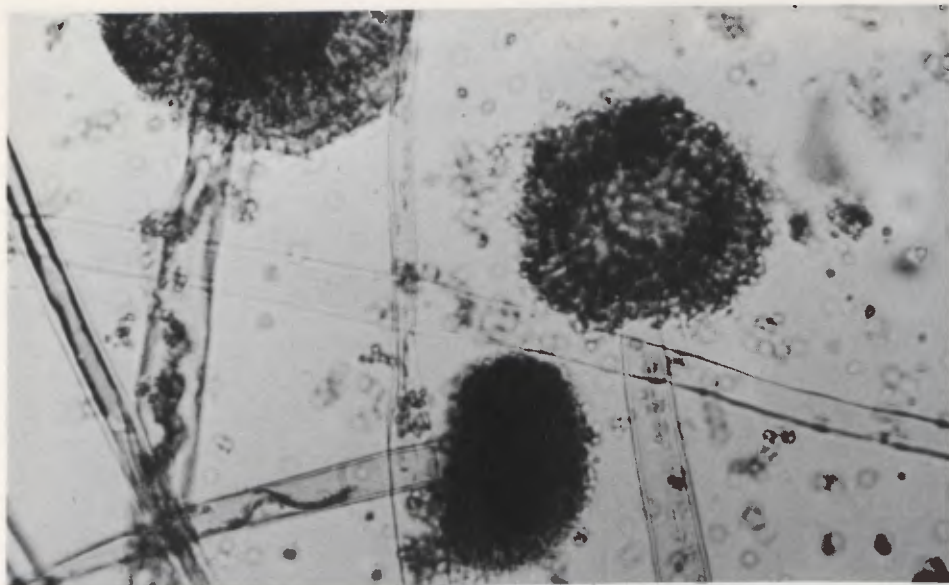


Figure 33. Fruiting body of Chaetomium sp. Enlargement: 100x.

Corpuscule reproducteur de Chaetomium sp. Agrandissement: x100.

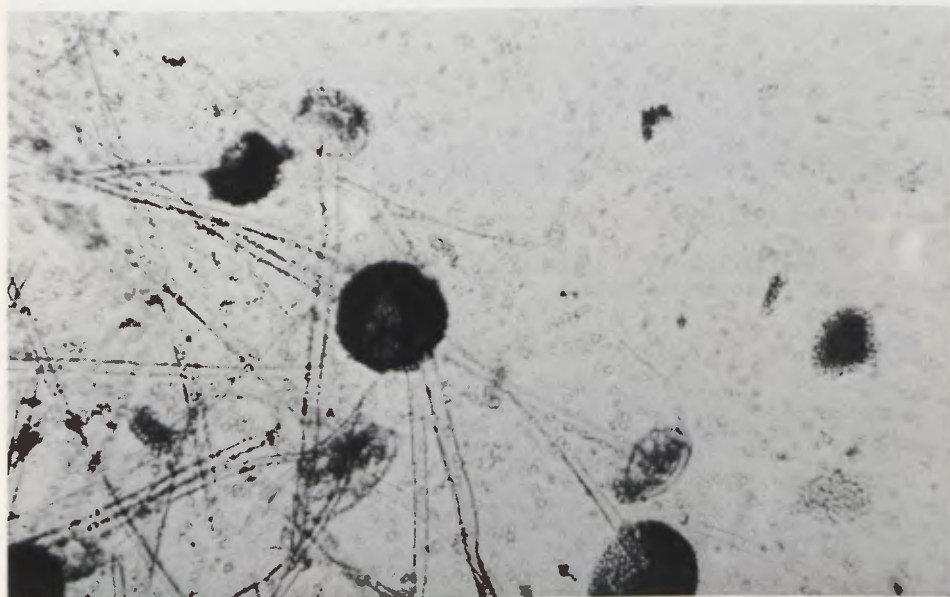


Figure 34. Rhizopus sp. -- hypha and fruiting body. Enlargement: 300x.

Rhizopus sp. - hyphe et corpuscule reproducteur.
Agrandissement: x300.

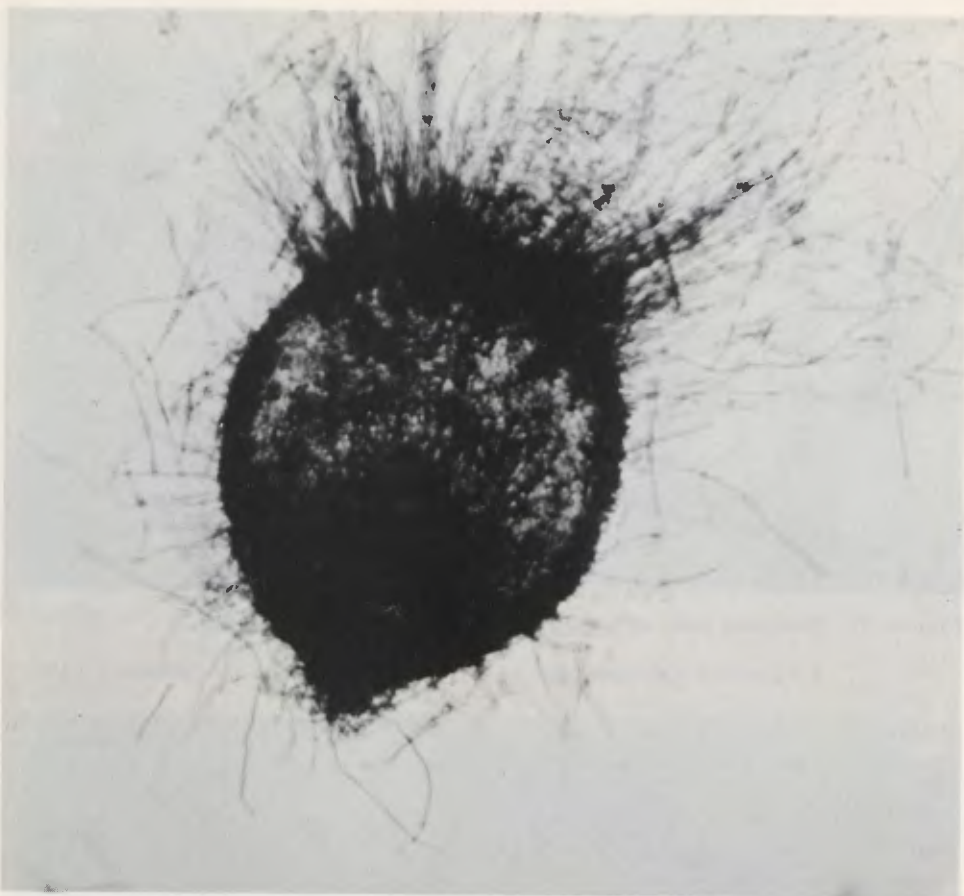


Figure 35. Aspergillus sp. -- hypha and fruiting body. Enlargement: 250x.

Aspergillus sp. - hyphe et corpuscule reproducteur.
Agrandissement: x250.



Figure 36. Round, isolated nucleate stains caused by micro-organisms.

Taches rondes nucléées causées par des micro-organismes.

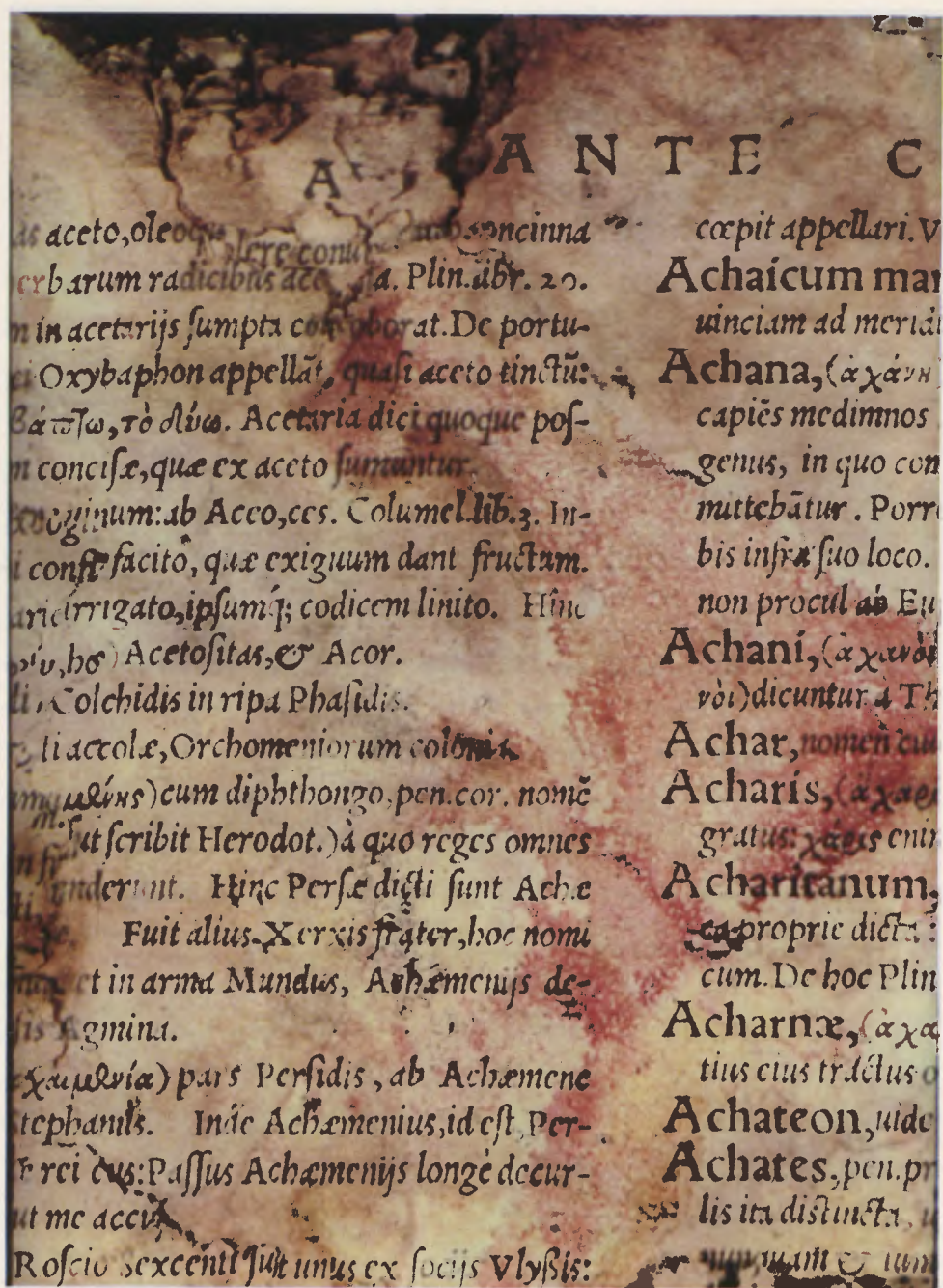


Figure 37. Irregular-shaped stains caused by micro-organisms.

Taches de forme irrégulière causées par des micro-organismes.



Figure 38. Irregular-shaped stains caused by micro-organisms.

Taches de forme irrégulière causées par des micro-organismes.



Figure 39. The stains known as "foxing".

Taches connues sous le nom de "foxing".



Figure 40. Paper enfeebled by microbic attack.

Papier devenu fragile à la suite d'attaques de bactéries.



Figure 41. Photograph perforated by microbic attack.

Fotographie perforée par des attaques de bactéries.

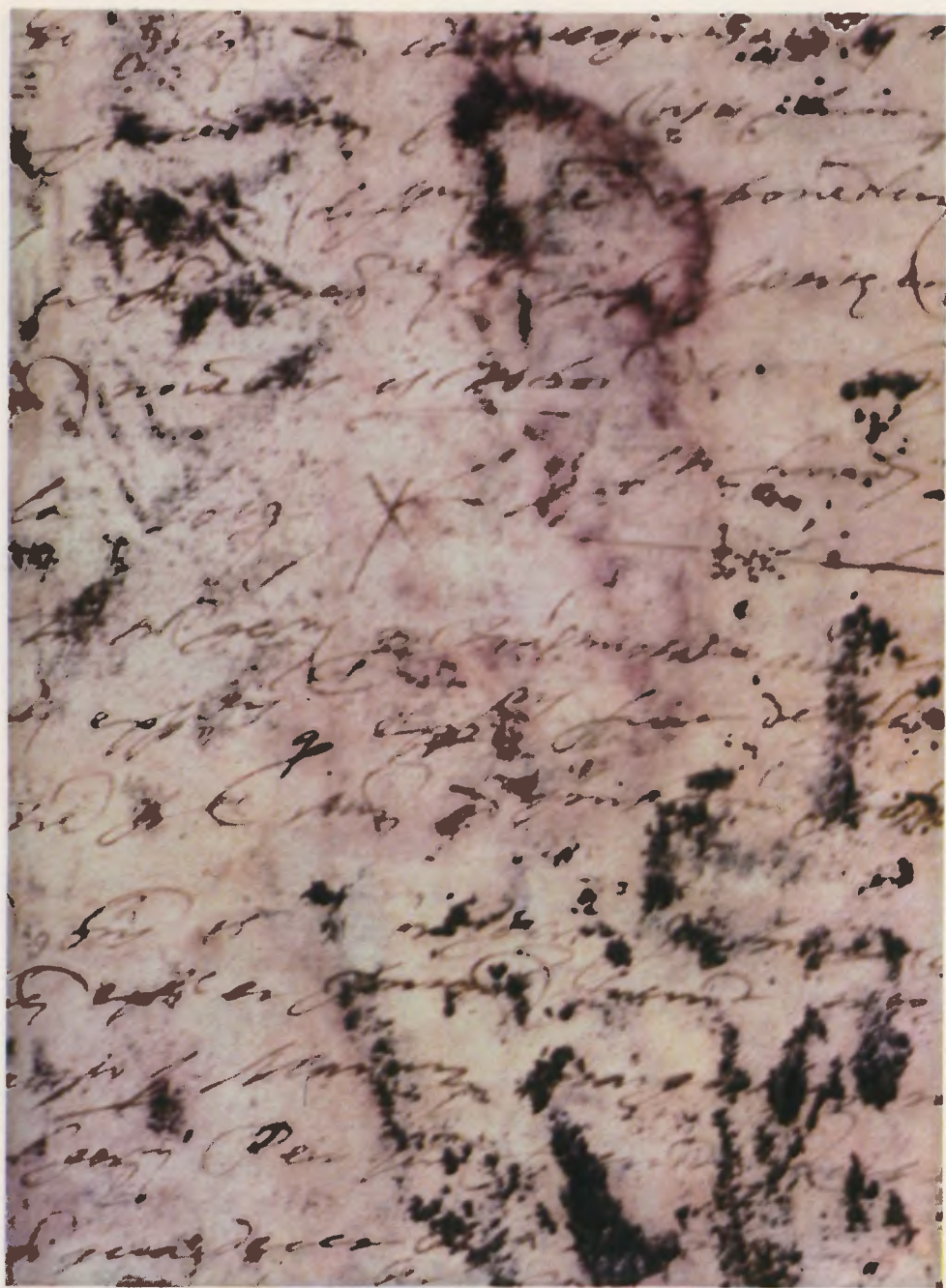


Figure 42. Powdery formations composed of fungal spores.

Formations pulvérulentes composées de spores de champignons.

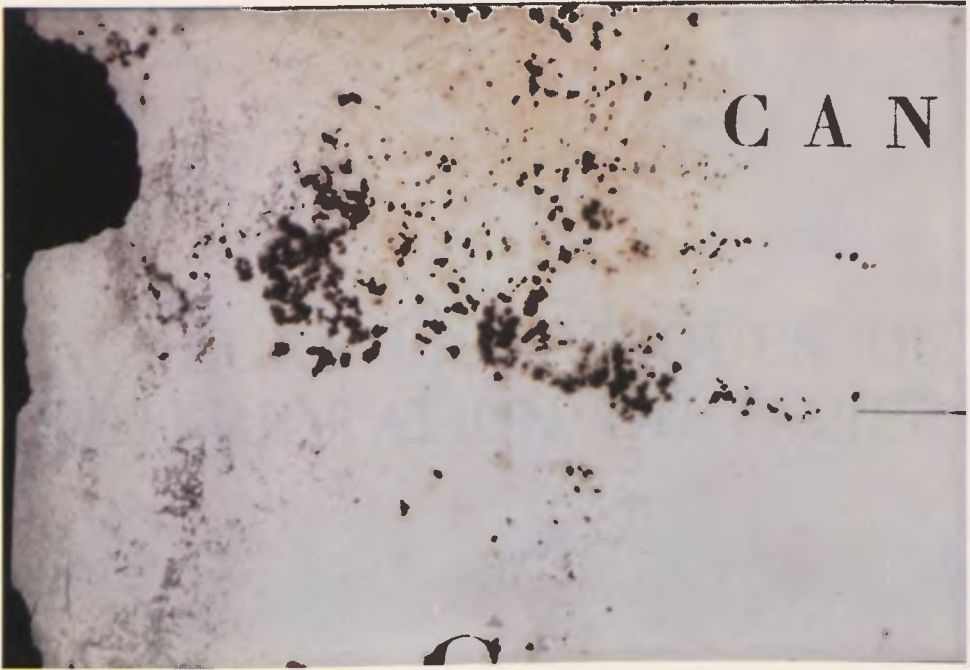


Figure 43. Fruiting bodies of fungi clinging to a sheet of paper.

Corpuscules reproducteurs de champignons accrochés à une feuille de papier.

FACTEURS BIOLOGIQUES DE DETERIORATION DU PAPIER

1. Les champignons
2. Les bactéries
3. Les insectes
4. Les animaux
5. Les végétaux

INTRODUCTION

Le présent ouvrage ne prétend pas être un traité complet des facteurs biologiques de détérioration des livres et documents d'archives, mais seulement une modeste contribution à ce sujet vaste et à facettes multiples. Nous nous proposons ici de diffuser auprès des bibliothécaires et des archivistes les notions qui leur sont nécessaires pour comprendre la gravité de la menace que les agents biologiques (micro-organismes et insectes) constituent pour les livres et les documents, pour pouvoir déceler les éventuels dégâts provoqués par ces agents et pour déterminer les conditions d'environnement optimales afin de prévenir les infestations et les infections.

Ces notions, évidemment, ne devront pas amener les bibliothécaires et les archivistes à prendre une quelconque initiative sans avoir consulté le biologiste, auquel il appartiendra d'identifier les insectes et micro-organismes responsables des altérations, de déceler les causes qui ont favorisé leur développement et donc de programmer les interventions nécessaires.

En ce qui concerne les causes, il convient de mettre en évidence que l'action destructrice de ces agents biologiques peut être favorisée par des facteurs d'ordre physique (température, humidité, lumière) et d'ordre chimique (composition chimique des matériaux, etc.). Pour offrir au lecteur un panorama complet bien que très synthétique, des problèmes énumérés ci-dessus, il nous a semblé opportun de traiter les sujets suivants:

- 1) Les insectes
- 2) Les micro-organismes
- 3) Les facteurs qui favorisent le développement des agents biologiques et les mesures à adopter pour prévenir leur développement.
- 4) Les critères à appliquer dans la lutte contre les agents de détérioration biologique des livres et documents graphiques.

Dans ce texte, une ou deux espèces seulement ont été mentionnées, à titre d'exemple, pour chaque groupe d'insectes; pour les micro-organismes, seuls ont été répertoriés ceux qui endommagent le plus fréquemment les livres et les documents d'archives.

Pour les insectes comme pour les micro-organismes, les matériaux susceptibles d'être dégradés ont été indiqués dans des tableaux récapitulatifs, sur la base de données trouvées dans la littérature spécialisée.

Enfin, la bibliographie citée ne représente qu'une partie minime des ouvrages consultés et, étant surtout destinée à guider celui qui aborde ce domaine pour la première fois, elle a été limitée à quelques traités et monographies fondamentaux.

LES INSECTES

Les espèces d'insectes qui endommagent le papier, le carton, le cuir, le parchemin, les adhésifs, les plats de bois des reliures, le mobilier en bois, sont nombreuses. Celles que l'on retrouve le plus fréquemment dans les bibliothèques et les dépôts d'archives sont au nombre d'environ 70 appartenant, comme le montre le tableau 1, à différents ordres et familles.(*). Dans ce tableau et le suivant (Tab. 2) sont indiqués, en outre, les détériorations causées par ces agents biologiques et les matériaux qu'ils peuvent infester. En ce qui concerne les dégâts causés, il s'agit de détériorations dont l'aspect est caractéristique et spécifique pour chaque groupe d'insectes et leur examen permet, dans une certaine mesure, au spécialiste d'identifier l'agent destructeur. Parmi les espèces infestant les livres et les documents, certaines ne provoquent pas des dégâts évidents mais se nourrissent des champignons microscopiques qui se développent sur le papier, sur le parchemin et sur le cuir conservés en milieux humides.

Dans les bibliothèques et les dépôts d'archives, on peut parfois se trouver en présence d'attaques d'insectes (mites, cérambycides, bostryches curculionidés, etc.) qui vivent dans les denrées alimentaires, dans les herbiers, dans les tissus, dans les charpentes de bois.

* Dans cette publication, nous ne donnerons la description que de 13 espèces, constituant les plus représentatives de cet ensemble.

TABLEAU 1. LES INSECTES LES PLUS FREQUENT DANS LES BIBLIOTHEQUES

Ordres	Familles	Noms Communs	Types de dégâts
Blattoidea	Blattidae Blattellidae	Blattidés	Erosions superficielles, à contours irréguliers.
Thysanura	Lepismatidae	Lépismatidés	Erosions superficielles, à contours irréguliers. Elles diffèrent de celles des blattes en ce qu'elles sont plus légères.
Corrodentia	Liposcelidae	Liposcélidés	Erosions très légères, superficielles, à contours irréguliers.
Isoptera	Mastotermitidae Hodotermitidae Rhinotermitidae Termitidae Kalotermitidae	Termites	Trous en forme de cratère, dégradations profondes de forme irrégulière qui se ramifient de la tranche vers l'intérieur du livre. Dans certains cas ils détruisent presque totalement les volumes, ne laissant intacts que la tranche et le dos.
Coleoptera	Anobiidae	Anobiidés	Tunnels sinueux et circulaires qui s'étendent généralement des marges vers le centre du volume.
	Dermestidae	Dermestidés	Trous irréguliers et quelquefois tunnels superficiels contenant des excréments pulvérulents et des restes de larves.

TABLEAU 2. MATERIAUX ENDOMMAGES PAR LES INSECTES

Matériaux	Blattidés	Lépisma- tidés	Liposcé- lidés	Termites	Anobiidés	Dermes- tidés
Papier, carton	x	x	x	x	x	x
Cuir	x			x	x	x
Parchemin	x			x		x
Adhésifs d'ori- gine végétale	x	x	x	x	x	
Adhésifs d'ori- gine animale	x	x	x	x		x
Bois				x	x	x
Tissus		x		x		x
Photographies		x		x		
Herbiers			x		x	
Collections d'insectes		x	x			x
Matériaux synthétiques		x		x	x	x
Fourrures						x
Métaux				x		x
Câbles électriques				x		x
Amiante						x
Denrées alimentaires	x				x	x
Os, ivoire				x		
Corne				x		

Développement des insectes qui attaquent
les livres et les documents d'archives

En ce qui concerne leur développement (*), ces insectes peuvent se diviser en deux groupes:

Au premier groupe appartiennent:

- a) les blattidés
- b) les lépismatidés
- c) les liposcélidés
- d) les termites

Les individus qui éclosent des oeufs sont désignés sous le nom de larves néonates. Celles-ci sont semblables aux adultes dont elles diffèrent principalement par des dimensions nettement inférieures, surtout aux premiers stades de développement, et par l'absence d'ailes (dans les espèces ailées).

Leur cycle de développement si les adultes n'ont pas d'ailes est le suivant:

oeuf → larve néonate → adulte (Fig. 1)

si les adultes ont des ailes, le cycle de développement est le suivant:

oeuf → larve néonate → nymphe → adulte

au stade de nymphe, les ailes apparaissent.

* Leurs cycles de développement peuvent avoir une durée variant d'un mois, minimum, à trois ans, maximum, selon l'espèce à laquelle l'insecte appartient, les conditions climatiques et les facteurs de nutrition. En outre, dans les tableaux sur le développement des insectes, on a indiqué à titre d'exemple quelques valeurs thermo-hygrométriques qui confirment ce principe.

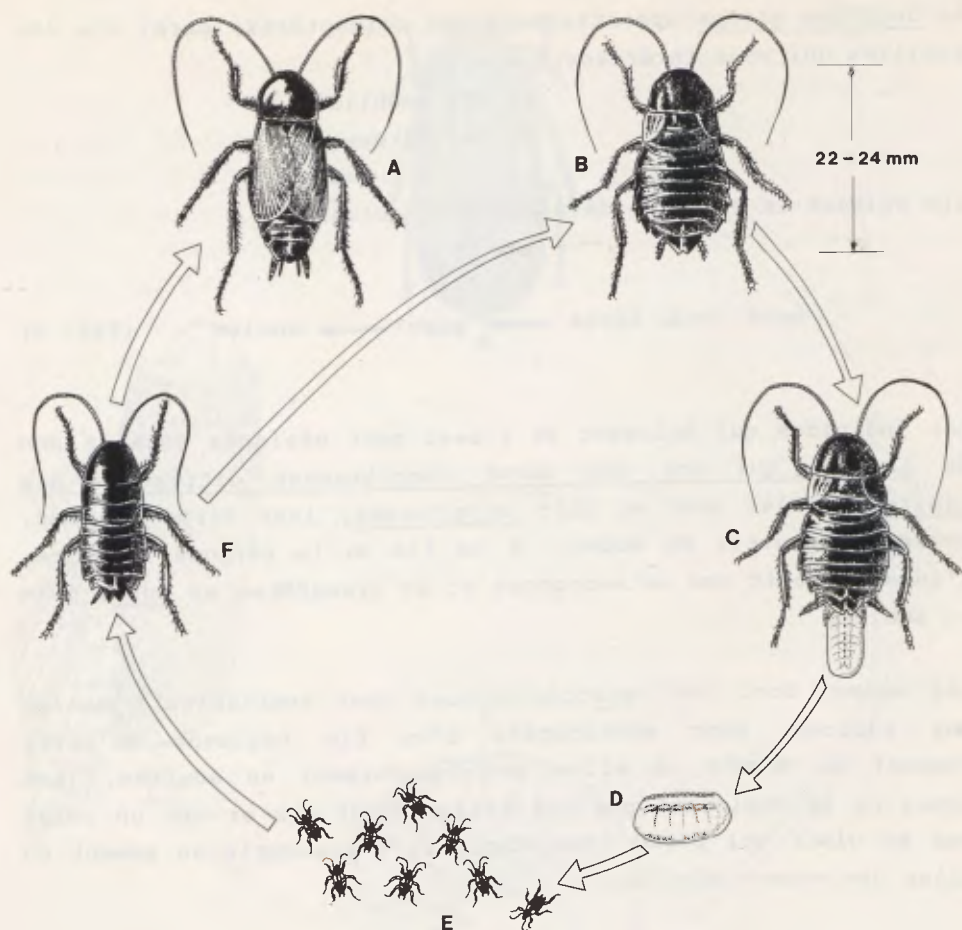


Figure 1. Cycle de vie des blattidés:

A) mâle adulte; B) femelle adulte; C) femelle déposant une oothèque; D) oothèque; E) jeune nymphes; F) dernier stade de la nymphe.

Au deuxième groupe appartiennent les coléoptères; parmi eux les familles qui nous intéressent sont:

- a) les anobiidés
- b) les dermestidés

Ils suivent le cycle de développement suivant:

oeuf → larve → pupa → adulte (Fig. 2)

Les individus qui éclosent de l'oeuf sont désignés sous le nom de larves, qui ont une forme complètement différente des adultes. Elles sont en fait vermiformes, leur corps est mou, souvent recouvert de soies. A la fin de la période larvaire, l'insecte subit une métamorphose et se transforme en pupa, puis en adulte.

Les pupes, dont les caractéristiques sont semblables à celles des adultes, sont enveloppées d'un fin tégument qu'elles rompent au moment où elles se transforment en adultes. Les pupes ne se déplacent pas, ne s'alimentent pas et ont un corps mou et clair qui prend consistance et s'assombrit au moment où elles deviennent adultes.

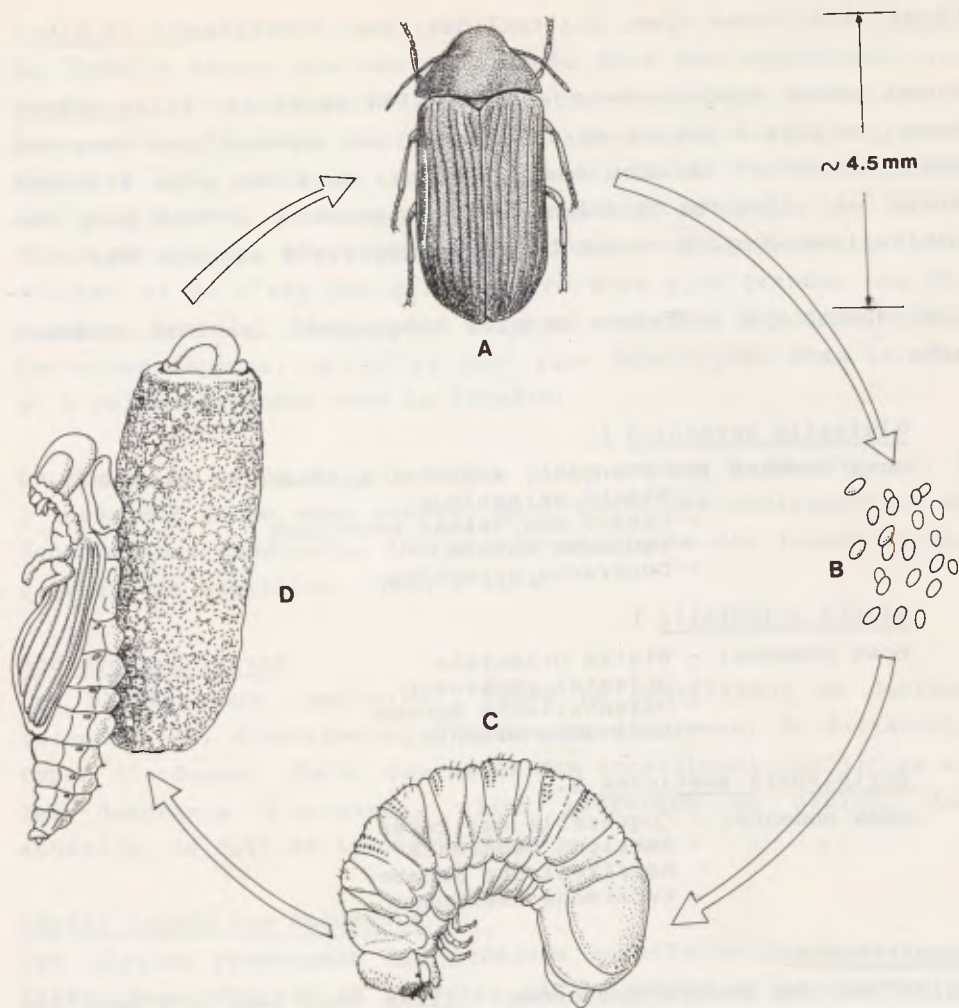


Figure 2. Cycle de vie des anobiidés:
A) adulte; B) oeufs; C) larve; D) pupe.

ORDRE: Blattoidea (fam. Blattellidae, fam. Blattidae)

A cet ordre appartiennent environ 2500 espèces. Elles vivent dans les pays à climat chaud. Certaines espèces sont devenues cosmopolites et se sont même répandues dans les pays à climat froid où elles se trouvent exclusivement à l'intérieur des habitations (Fig. 3 - voir les photographies à la page 59).

Les espèces qui infestent le plus fréquemment les bibliothèques sont:

Blattella germanica L.

noms communs (en français, anglais, allemand et espagnol):

- Blatte germanique
- Croton bug/German cockroach
- Deutsche Schabe
- Cucaracha germanica

Blatta orientalis L.

noms communs: - Blatte orientale
- Oriental cockroach
- Orientalische Schabe
- Cucaracha oriental

Periplaneta americana L.

noms communs: - Coquerelle des caves
- American cockroach
- Amerikanische Schabe
- Cucaracha americana

Comportement

Elles ont des mœurs nocturnes. Elles font leur nid dans les petites fissures des murs, des carrelages et dans les conduits d'aération. Pour vivre elles ont besoin d'un taux d'humidité élevé et pour cette raison vivent à proximité des éviers, dans les salles de bain, dans les caves et dans les égouts. Elles sont capables de grimper même sur des surfaces parfaitement lisses comme les vitres, par exemple. Elles peuvent être vecteurs de nombreuses maladies (typhus, choléra, etc.).

Cycle de vie

La femelle dépose ses oeufs enfermés dans des enveloppes, les oothèques, ayant la forme de haricots, de couleur sombre, dans les petites fissures des murs. Des oeufs éclosent les larves néonates qui, dans un premier stade, sont blanches; après quelques heures, leur corps devient dur et sombre. Les larves néonates ont les mêmes caractéristiques morphologiques que les adultes si ce n'est que ces derniers sont plus grands, ont des organes sexuels développés et sont pourvus d'ailes. Chez certaines espèces, les ailes sont bien développées chez le mâle et à peine ébauchées chez la femelle.

La durée du cycle de vie varie d'une espèce à l'autre et, à l'intérieur d'une même espèce, peut subir des modifications en fonction des conditions thermo-hygrométriques des locaux et des facteurs de nutrition. (Tab. 3 et 4)

Sources nutritives

Les blattes sont omnivores. Elles se nourrissent de denrées alimentaires, d'excréments d'hommes et d'animaux, de différents types d'ordures. Parmi les matériaux constituant les livres et les documents d'archives, elles préfèrent le papier, les adhésifs, le cuir et le parchemin.

Dégâts causés aux documents

Les blattes provoquent des érosions superficielles à contours irréguliers (Fig. 4) et parfois, sur le papier et le parchemin, des taches noirâtres en forme de virgule. Ces taches sont produites par les excréments liquides de ces insectes (Fig. 5).

TABLEAU 3. BLATTOIDEA: MORPHOLOGIE

Espèces	<u>Blattella</u> <u>germanica</u>	<u>Blatta</u> <u>orientalis</u>	<u>Periplaneta</u> <u>americana</u>
Couleur	Corps aplati de couleur jaune-brun	Corps aplati de couleur brune luisante	Corps aplati de couleur brune
Ailes	Mâles et femelles ont des ailes bien développées	Les mâles ont des ailes bien développées. Les ailes des femelles sont réduites à des lobes courts.	Mâles et femelles ont des ailes bien développées
Dimensions adultes	10-15 mm	20-24 mm	28-44 mm
Nombre des oothèques déposées à 25°C	6	8	53
Nombre d'oeufs contenu dans chaque oothèque	30	16	16
Dimensions des oothèques	5,5 mm	10,5 mm	9 mm
Stade auquel ils sont nuisibles	Larves néonates et adultes	Larves néonates et adultes	Larves néonates et adultes
Éléments qui permettent de déceler la présence des blattes	- Matériaux endommagés - Présence d'oothèques - Présence d'excréments	- Matériaux endommagés - Présence d'oothèques - Présence d'excréments	- Matériaux endommagés - Présence d'oothèques - Présence d'excréments

TABLEAU 4. BLATTOIDEA: DEVELOPPEMENT

Espèces	<u>Blattella</u> <u>germanica</u>	<u>Blatta</u> <u>orientalis</u>	<u>Periplaneta</u> <u>americana</u>
Développement embryonnaire à:	21°C: 28 jours 25°C: 24 jours 30°C: 15-17 jours	21°C: 81 jours 25°C: 57 jours 30°C: 42-44 jours	25°C: 57 jours 30°C: 32-39 jours
Développement des larves néonates à:	21°C: 172 jours 25°C: 103 jours 30°C: 40-70 jours	25°C: 530 jours 30°C: 150-300 jours	25°C: 519 jours 30°C: 180-195 jours
Durée de vie de l'adulte à 25°C	260 jours	140 jours	440 jours
Conditions optimales pour le développement	>70% H.R. 25-30°C	>70% H.R. 25-30°C	>70% H.R. 25-30°C
Survie à 27°C, en l'absence d'humidité et de nourriture	8-12 jours	11-13 jours	29-42 jours

ORDRE: Thysanura (fam. Lepismatidae)

A cette famille appartiennent 200 espèces. La présence de ces insectes (Fig. 6) a été signalée dans de très nombreux pays au climat tempéré, tropical et subtropical. L'espèce, cosmopolite, qui infeste le plus fréquemment les bibliothèques, les dépôts d'archives et les musées est:

Lepisma saccharina L.

noms communs: - Petit poisson d'argent
- Silverfish
- Silberfischlein
- Pez de plata

Comportement

On le trouve dans les locaux humides car il a, pour survivre, besoin d'une certaine quantité d'eau. Le *Lepisma saccharina* a des moeurs nocturnes. Pendant le jour il se cache derrière les plinthes de bois, derrière les tableaux, à l'intérieur des livres, etc.; de nuit il sort de ses cachettes à la recherche de nourriture.

Cycle de vie

La femelle du poisson d'argent dépose les oeufs (séparément ou par 2 ou 3 à la fois) dans des endroits abrités et cachés. Des oeufs éclosent les larves néonates qui ont le même aspect que les individus adultes dont ils ne diffèrent que par la couleur et les dimensions (Tab. 5). La durée du cycle de vie subit des modifications suivant les conditions climatiques des milieux (Tab. 6).

Sources nutritives

Le *Lepisma saccharina* se nourrit de matériaux contenant de l'amidon (par exemple les adhésifs d'origine végétale), de papier, de tissus de rayonne, de lin et de coton. Il préfère le papier de pure cellulose à celui qui a un taux élevé de pâte mécanique. En outre, il a besoin pour survivre de petites quantités de protéine, c'est pourquoi il attaque les insectes

morts et les colles d'origine animale. Il cause de sérieux dégâts également aux photographies dont il détruit aussi bien le papier que la gélatine (Fig. 7).

Dégâts

Sur les matériaux, il provoque des érosions superficielles à contours irréguliers. Ces dégradations diffèrent de celles des blattes en ce qu'elles sont plus petites (Fig. 8).

TABLEAU 5. THYSANURA: MORPHOLOGIE

Espèces	<u>Lepisma saccharina</u>
Oeufs	Ovales, blancs, mous, ils ont des dimensions oscillant entre 1 mm et 1,5 mm Quelques heures après avoir été déposés ils deviennent brunâtres Une femelle dépose environ 100 oeufs
Larves néonates	Aux premiers stades de couleur blanche, très petites (au premier stade elles mesurent 2 mm), elles deviennent de plus en plus grandes et prennent une coloration grise avec des reflets métalliques, typique des adultes.
Adultes	De couleur grise aux reflets métalliques, ils mesurent de 8 à 12 mm. Ils ont deux longues antennes sur la tête et l'abdomen se termine par trois appendices.
Stade auquel ils sont nuisibles	Larves néonates et adultes
Eléments qui permettent de déceler la présence des lépismatidés	- Matériaux endommagés - Présence de larves ou d'adultes

TABLEAU 6. THYSANURA: DEVELOPPEMENT

Espèces	<u>Lepisma saccharina</u>
Développement embryonnaire	A 22°C: 43 jours A 32°C: 19 jours Les oeufs n'éclosent pas à une température inférieure à 22°C ou supérieure à 37°C Pour que les oeufs éclosent, un certain taux d'humidité est nécessaire et par exemple: - à 22°C: une humidité relative (H.R.) supérieure à 50% - à 29°-32°C: une H.R. supérieure à 75%
Développement des larves néonates	A 27°C: 90-120 jours
Durée de vie de l'adulte	A 27°C: environ 3,5 ans A 29°C: environ 2,5 ans A 32°C: environ 1,5 an Les adultes peuvent survivre plusieurs mois à 1°C.
Conditions thermohygro-métriques optimales pour ces espèces	Température: 16-24°C H.R.: 90%.

ORDRE: Corrodentia (fam. Liposcelidae)

A cet ordre appartiennent environ 1000 espèces. Ce sont les ennemis les plus minuscules des livres et des documents d'archives. Ils sont à peine visibles à l'oeil nu. L'espèce cosmopolite que l'on retrouve le plus fréquemment est:

Liposcelis (Troctes) divinatorius (Fig.9)

noms communs: - Poux des livres
- Booklice
- Bücherläuse
- Piojo de libros

Comportement

Il vit généralement sur des matériaux d'origine végétale et animale. Il se trouve souvent sur les documents, sur les pages des livres, sur les reliures de cuir et sur les articles manufacturés de bois attaqués par des champignons microscopiques, dont il se nourrit. C'est pour cette raison que les liposcélidés se trouvent sur les crépis des édifices de construction récente ou, de façon générale, dans des locaux humides, et que par contre ils sont absents des milieux secs et bien aérés.

Dégâts

Bien que les liposcélidés se nourrissent des champignons qui se trouvent sur les matériaux, ils causent parfois des dommages d'importance mineure aux adhésifs, au papier, aux herbiers et aux collections d'insectes sur lesquels ils provoquent de menues érosions à contours irréguliers (Fig. 10). Ces érosions ne sont pas facilement décelables par des personnes inexpertes.

TABLEAU 7. CORRODENTIA: MORPHOLOGIE

Espèces	<u>Liposcelis divinatorius</u>
Oeufs	De couleur bleuâtre, ils mesurent presque un mm. Une femelle dépose environ 200 oeufs.
Larves néonates	Elles ont le même aspect que les adultes dont elles ne diffèrent que par leur couleur plus claire.
Adultes	Corps mou, plat, de couleur jaunâtre, grisâtre ou brunâtre. Une paire d'antennes, non visible à l'oeil nu. Ils se déplacent rapidement. Leur longueur oscille entre 1 mm et 3 mm.
Stade auquel ils sont nuisibles	Larves néonates et adultes
Éléments qui permettent de déceler la présence des liposcélidés	- Matériaux endommagés - Découverte de larves néonates ou d'adultes

TABLEAU 8. CORRODENTIA: DEVELOPPEMENT

Espèces	<u>Liposcelis divinatorius</u>
Développement embryonnaire	Par exemple: à 25°C et à 75% H.R. - 11 jours
Développement des larves néonates	De 15 à 30 jours Les larves néonates ne se développent pas dans les conditions indiquées ci-dessous: - Temp. 25°C, H.R. inférieure à 55% - Temp. 35°C, H.R. inférieure à 65%
Durée de vie des adultes	Environ 6 mois A 75% H.R., l'adulte meurt s'il est exposé pendant 3 heures à 0°C ou pendant 24 heures à 42,5°C.
Durée du cycle de vie	Dans la période de juin à octobre, avec une température de 15-33°C, 28 à 30 jours. Dans la période hivernale, elle peut atteindre 130 jours.

ORDRE: Isoptera (fam. Mastotermitidae, Hodotermitidae, Rhinotermitidae, Termitidae, Kalotermitidae)

noms communs: - Fourmis blanches
 - Termites
 - White ants, termites
 - Termiten
 - Weisse Ameisen
 - Hormigas blancas

Environ 1800 espèces très largement répandues dans le monde appartiennent à cet ordre. Leur zone de diffusion est comprise entre le 50^e parallèle de latitude nord et le 45^e parallèle de latitude sud. Parmi elles, on en compte environ 130 s'attaquant aux édifices, que l'on peut diviser en deux groupes selon leur mode de nidification.

TABLEAU 9. ISOPTERA: NIDIFICATION

Groupe	Famille	Nombre d'espèces s'attaquant aux édifices	Nidification
Termites souterrains	Mastotermitidae Hodotermitidae Rhinotermitidae Termitidae	120 environ	Ils font leur nid dans le sol ou dans le bois humide qui est au contact du sol, et pénètrent dans les édifices par les fissures des fondations. Certaines espèces de Rhinotermitidae peuvent occasionnellement nidifier dans le bois des constructions et réussissent à vivre même sans maintenir de contact avec le sol, pourvu qu'il y ait d'autres sources d'humidité.
Termites de bois sec	Calotermitidae	13	Ils font leur nid dans le bois dont ils se nourrissent

Parmi les termites mentionnés ci-dessus, ceux qui sont répandus en Europe et qui causent des dégâts dans les bibliothèques et les dépôts d'archives sont les suivants:

Famille Rhinotermitidae

Reticulitermes lucifugus Rossi

Reticulitermes lucifugus var: santonensis Feytaud

Reticulitermes flavipes Kollar

Famille Kalotermitidae

Kalotermes flavicollis F.

(Il est rare que cette espèce attaque les livres et les documents.)

Organisation de la termitière

Les termites sont, comme les abeilles, les guêpes et les fourmis, des insectes sociaux. Ils vivent donc réunis en colonies admirablement organisées et constituées d'un nombre d'individus qui varie d'une espèce à l'autre, d'un minimum de 1000 environ par exemple pour les Kalotermes flavicollis et d'un maximum d'un million ou plus par exemple pour les genres Macrotermes, Amitermes et Anoplotermes.

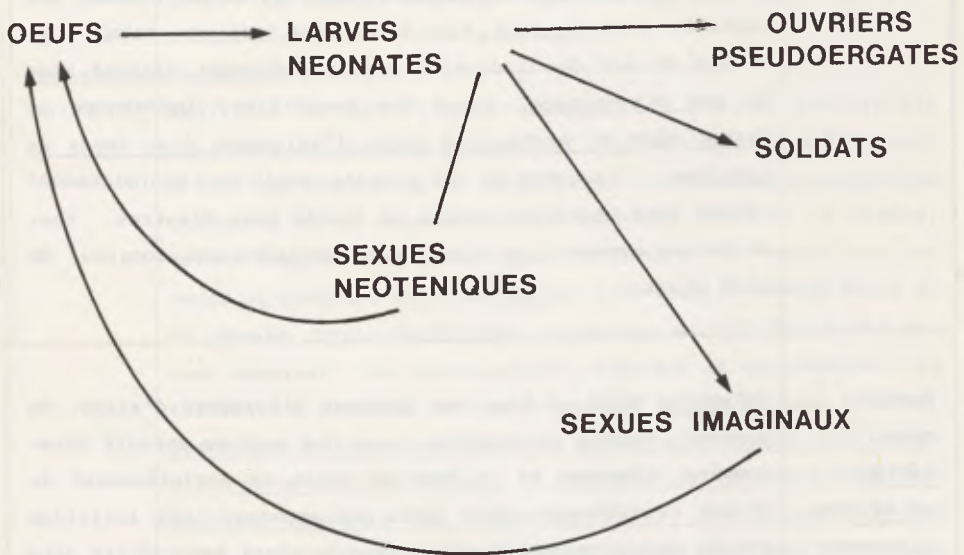
Dans les colonies, on peut distinguer les castes suivantes:

caste reproductrice : - sexués imaginaux ou couple royal
- sexués néoténiques ou couple royal de remplacement

caste stérile : - ouvriers, soldats, pseudoergates

Cycle de vie

Le cycle de vie des termites peut être ainsi schématisé.



Les larves néonates sont semblables aux ouvriers dont elles ne diffèrent que par des dimensions inférieures.

TABLEAU 10. LES TERMITES: CASTES REPRODUCTRICES

Castes	Caractéristiques
Sexués imaginaux ou couple royal	<u>Individus</u> de couleur plutôt sombre, ils ont des organes sexuels parfaitement développés et deux paires d'ailes membraneuses brunes de longueur égale qui, au repos, sont superposées et rabattues le long du corps (Fig. 11). A une période déterminée de l'année variant avec les espèces et avec les conditions climatiques, ils sortent du nid, généralement par une journée sereine et ensoleillée et après un vol bref s'accouplent, perdent leurs ailes et fondent une nouvelle colonie dont ils deviennent roi et reine. La sortie du nid des individus ailés, <u>événement désigné sous le nom d'essaimage</u>, prend des proportions imposantes et permet même au profane de noter l'existence d'un foyer de <u>termite</u>s. L'abdomen de la femelle subit un accroissement limité chez certaines espèces et énorme chez d'autres. Chez certaines espèces, la reine peut atteindre une longueur de 14 à 15 cm.
Sexués néo- téniques ou de rem- placement	<u>Individus</u> mâles et femelles, pourvus d'ébauches d'ailes, de couleur grisâtre ou brunâtre, avec des organes sexuels développés; l'abdomen de la femelle subit un accroissement de volume considérable chez certaines espèces. Ces individus sexués apparaissent lorsque le couple royal fait défaut dans le nid. Cette occasion peut se présenter, par exemple, si à la suite d'un effondrement des galeries de la termitière, un groupe de termites stériles reste isolé de la colonie.

TABLEAU 11. LES TERMITES: CASTES STERILES

Castes	Caractéristiques
Soldats (Fig. 12)	Individus privés d'ailes, stériles, ils ont la tête très développée, de couleur plus sombre que le reste du corps et possèdent de grosses mandibules. Incapables de s'alimenter seuls, ils sont nourris d'aliments pré-digérés par les larves néonates d'âge avancé ou par les ouvriers. Isolés de la colonie, ils meurent d'inanition. <u>Ils évitent la lumière. Constituant un petit pourcentage (1 à 10%) de la population de la termitière, ils ont le devoir de défendre la colonie</u> contre les autres insectes (les fourmis sont parmi les plus redoutables ennemis des termites).
Ouvriers	Individus privés d'ailes, stériles, de couleur claire, ils possèdent de robustes mandibules. Ce sont eux qui subviennent à tous les besoins de la termitière: ils nourrissent les autres individus de la colonie (larves néonates aux I et II stades, sexués imaginaux et néoténiques, soldats); ils recueillent les oeufs et prennent soin des jeunes individus récemment éclos et du couple royal, facilitent la sortie du nid des ailés qui vont essaimer. Ils construisent, réparent et agrandissent la termitière, creusent des galeries dans le sol et dans le bois. <u>Quand ils doivent atteindre une source d'aliments ou d'humidité et quand ils doivent se protéger de la lumière et des insectes ennemis, ils construisent soit des boyaux sur les murs, sur les carrelages, etc., (Fig. 14) soit des formations tubulaires qui pendent du plafond semblables à des stalactites ou qui s'élèvent du sol semblables à des stalagmites.</u> Les parois de ces boyaux et de ces galeries tubulaires sont fabriquées de matériaux divers (sable, terre, fragments de bois, excréments) cimentés avec leur salive. <u>Ils évitent la lumière.</u> Ils forment la caste la plus nombreuse de la termitière. Grâce à la présence dans leur appareil digestif d'organismes vivant en symbiotes, ils ont la capacité de digérer la cellulose et par conséquent <u>sont les principaux responsables des graves destructions des ouvrages de l'homme.</u>

TABLEAU 12. DONNEES SUR LA PHYSIOLOGIE DES TERMITES

Récondité de la reine	Elle varie considérablement. Les espèces peu prolifiques pondent 200 à 300 oeufs par an, les plus prolifiques jusqu'à 13.000.000.
Développement et vie de la termitière	Il n'existe pas de données précises sur la rapidité de développement des colonies qui, de toute façon, est lent et étroitement lié aux conditions climatiques et à la fécondité de la reine. Une colonie se forme en quelques années. Les termitières ont une durée de vie variable suivant les espèces mais, quoi qu'il en soit, toujours considérable. Par exemple, chez les Kalotermites, elles ont une durée de 12 à 15 ans et chez les Nasutitermes de 50 ans. De plus, si dans la termitière il y a des sexués néoténiques, la longévité est plus grande.
Conditions thermo-hygrothermiques optimales pour les termites	Température, pour presque toutes les espèces 26 à 30°C H.R., pour presque toutes les espèces 97 à 100°C Les espèces de termites des climats tempérés vivent même à des températures de 20°C ou inférieures. Les espèces des climats tropicaux ne survivent que quelques semaines à 20-22°C.
Membres de la colonie qui causent des dégâts	Les ouvriers principalement, ainsi que les larves néonates aux stades avancés de développement.
Excréments	Les termites ont des excréments fluides, pâteux et solides. Les fluides et les pâteux sont utilisés pour colmater les fissures de la termitière, pour revêtir les parois des matériaux qui les abritent, pour confectionner une sorte de carton avec lequel elles construisent les cloisons. Les excréments solides fortement déshydratés ont des dimensions plutôt régulières et une forme prismatique (Fig. 15).
Eléments permettant de déceler une infestation de termites	- Essaimage - Découverte de larves néonates, de nymphes, de soldats, d'ouvriers - Matériaux endommagés - Boyaux sur les murs ou galeries tubulaires semblables à des stalactites ou des stalagmites - Excréments solides

Sources nutritives

Les termites se nourrissent de bois, de papier, de tissus, de cuir, de parchemin, de tapis, de matériaux plastiques (par exemple le chlorure de polyvinyle, l'acétate de cellulose). Ils détruisent parfois les revêtements des câbles électriques, l'os, l'ivoire, la corne. Ils sont capables de perforer même de fines feuilles de plomb. En outre, ils mangent leurs oeufs et leurs exuvies.

Caractéristiques des dommages causés par les termites aux livres et aux documents graphiques et au bois

Livres Dans les livres, ils creusent des cavités en forme de cratère (Fig. 16) et provoquent des érosions profondes de forme irrégulière qui se ramifient de la tranche vers l'intérieur.

Dans certains cas, ils détruisent les volumes presque totalement, ne laissant intacts que la tranche et le dos (Fig. 17).

Bois Ils creusent parfois des galeries parallèles aux fibres, préférant les strates plus tendres; en conséquence le bois prend un aspect lamellé (Fig. 18). Dans d'autres cas, ils détruisent presque complètement le bois, ne laissant qu'une fine pellicule superficielle qui cède si elle est soumise à une légère pression.

Ces deux types de dégradation peuvent provoquer l'écroulement des structures en bois (Fig. 19).

La façon dont les termites détruisent les livres et le bois trouve une explication dans le comportement lucifuge de ces insectes. En effet, quand ils sentent qu'ils sont arrivés à proximité de la surface externe du matériel qui les abrite, ils arrêtent leur oeuvre dévastatrice.

Sur les matériaux endommagés, ils laissent, avec leurs excréments, des petites taches qui ressemblent au liège (Fig. 20). Ces taches sont un élément caractéristique de l'infestation par des termites.

Description du Reticulitermes lucifugus

Il n'est pas possible, pour les termites, de décrire une espèce cosmopolite comme cela a été fait pour les autres insectes mentionnés dans cette publication; nous avons donc choisi de reporter, de façon très schématique, les caractéristiques du Reticulitermes lucifugus, répandu surtout dans la zone du bassin méditerranéen où il cause des dégâts considérables aux bibliothèques et aux archives. Nous souhaitons que cette description puisse fournir au lecteur quelques indications sur les caractéristiques morphologiques et fonctionnelles des individus composant une colonie de termites.

TABLEAU 13. RETICULITERMES LUCIFUGUS: MORPHOLOGIE

Oeufs	Blancs, de forme cylindrique, légèrement incurvés, ils mesurent 0,6 à 0,7 mm
Larves néonates	A peine sorties de l'oeuf, elles mesurent 1 à 2 mm
Nymphes	Complètement développées, elles atteignent une longueur de 7 à 8 mm
Ouvriers	Longueur: environ 5 mm
Soldats	Longueur: de 5 à 5,5 mm
Sexués imaginaux ou couple royal	Les sexués imaginaux proviennent d'individus ailés ayant les dimensions suivantes: longueur du corps 5 mm; longueur du corps recouvert des ailes 8,5 à 9,5 mm. Après l'accouplement, ils perdent leurs ailes et deviennent sexués imaginaux ou couple royal. L'abdomen de la reine augmente de volume et peut atteindre 10 à 12 mm de longueur et 4 mm de largeur.
Sexués néoténiques	Au terme de son développement, la reine atteint environ 1 cm. Les couples royaux que l'on trouve couramment en Italie sont des sexués néoténiques.

TABLEAU 14. RETICULITERMES LUCIFUGUS: DEVELOPPEMENT

Développement embryonnaire	30 à 90 jours En moyenne 56 jours
Développement post-embryonnaire	Il est presque impossible, pour tout un ensemble de raisons, de donner des renseignements précis sur sa durée qui subit des variations sensibles dues à des facteurs climatiques et nutritifs. En outre, l'évolution des larves néonates en individus fertiles ou stériles est déterminée par des facteurs liés à la vie sociale de la communauté qui, avec des mécanismes différents et en fonction des exigences de la colonie, favorise le développement des ouvriers, des soldats ou des individus sexués.
Importance numérique de la colonie	Colonies constituées par plus de 100.000 individus.
Développement de la colonie	La colonie atteint son plein développement, selon les conditions climatiques, au bout de 4 à 8 ans. Les soldats apparaissent après la première année. Les formes reproductrices ailées apparaissent après 3 ou 4 ans.
Conditions ambiantes optimales pour cette espèce	H.R.: 96 à 100%, température: 26 à 32°C - Les larves néonates et les nymphes se développent même à une température inférieure et peuvent tolérer des températures à peine supérieures à 0°C. - Ces insectes ont besoin, pour survivre, d'une H.R. très élevée mais pas nécessairement du contact avec le sol. - Si les conditions thermo-hygrométriques ne sont pas favorables ou si la nourriture est insuffisante, ils émigrent.
Conditions climatiques favorisant l'essaimage	Ciel serein, température qui ne soit pas inférieure à 22°C, H.R. de 65 à 100%. L'essaimage a lieu entre la mi-avril et la mi-juin.
Zone de diffusion	Dans les zones tempérées. Cette espèce est typique de la région méditerranéenne. En Italie on a trouvé des foyers même de 800 à 1000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

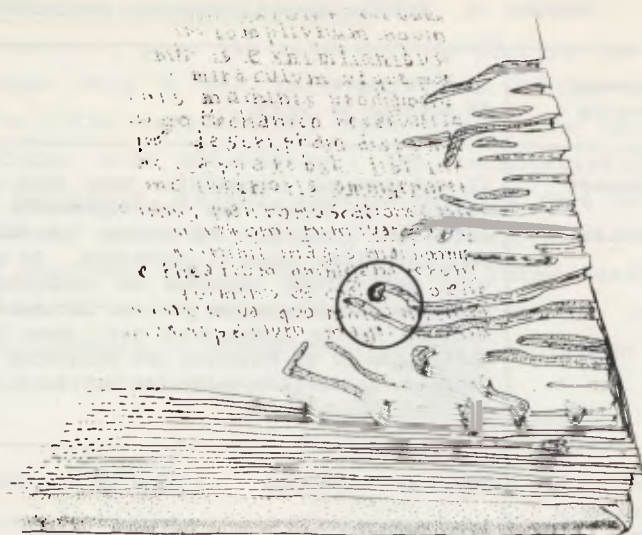


Figure 21. Larve d'anobiidé nidifiant dans une galerie.

Détail: remarquer l'élargissement de la galerie lorsque la larve se transforme en pupe.

ORDRE: Coleoptera (fam. Anobiidae et Dermestidae)

A la famille Anobiidae appartiennent 1200 espèces et à la famille Dermestidae 1000 espèces environ.

Les coléoptères et parmi eux quelques espèces des familles Anobiidae et Dermestidae occupent une position de premier plan parmi les insectes qui endommagent, parfois gravement, les livres et les documents. Les pourcentages relatifs aux infestations des bibliothèques montrent que dans plusieurs pays ils constituent 90% de ces insectes.

Cycle de vie des anobiidés et des dermestidés

Ces insectes déposent leurs oeufs dans de petits trous, des fissures ou des anfractuosités des matériaux (bois, livres). Les larves éclosent par la surface de l'oeuf qui est en contact avec le matériau et commencent à creuser des galeries. Les larves, à leur premier stade de développement, sont très petites, leur taille augmente au cours des stades ultérieurs. Une partie des matériaux dans lesquels elles creusent des galeries est ingérée, digérée et rejetée comme excréments. Le diamètre des galeries augmente à mesure que la larve se développe. Les matériaux très endommagés peuvent contenir 2 à 3 larves par cm³. Quand la larve atteint son plein développement, elle creuse une petite cavité où elle se transforme en pupa (Fig. 21). Dès que les insectes atteignent le stade adulte, ils creusent la surface qui les sépare de l'extérieur, sortent, s'accouplent, déposent les oeufs et, après un laps de temps variable d'une espèce à l'autre, meurent.

Fam. Anobiidae

Les espèces cosmopolites qui infestent les bibliothèques le plus fréquemment sont les suivantes:

Anobium punctatum (De Geer)

- noms communs: - Vrille domestique
- Common furniture beetle (borer)
- Holzwurm Werkholzkäfer
- Carcoma de los muebles

Stegobium paniceum L.

- noms communs: - Coléoptère des drogueries/Vrille du pain
- Drugstore beetle
- Brotkäfer
- Carcoma de las drogas/Escarabajo del pan

L'Anobium punctatum est le plus commun et le plus destructeur des anobiidés de l'Europe centrale, septentrionale et orientale. Selon Becker en Allemagne, par exemple, on la trouve dans toutes les maisons.

Cycle de vie

Il a déjà été décrit, dans ses grandes lignes, dans le paragraphe précédent. Les caractéristiques morphologiques des larves, des pupes et des adultes sont indiquées dans le tableau 15.

Tout le cycle de vie des anobiidés a lieu à l'intérieur du matériau qui les abrite et, par conséquent, on s'aperçoit presque toujours de leur présence quand l'insecte atteint le stade adulte et, pour sortir, rompt la surface qui le sépare de l'extérieur laissant comme traces de son passage les trous ronds caractéristiques qu'on observe si souvent sur le bois, sur le dos et le plat des livres (Fig. 22) et parfois sur le cuir, sur le plexiglas (Fig. 23) et même sur de fines feuilles de plomb. Le diamètre de ces trous est un élément utile à l'identification des espèces infestantes.

La durée du cycle de vie varie d'une espèce à l'autre et à l'intérieur d'une même espèce peut subir des modifications en relation avec les conditions thermo-hygrométriques d'environnement (Tab. 16).

TABLEAU 15. ANOBIIDAE: MORPHOLOGIE

Espèces	<u>Anobium punctatum</u>	<u>Stegobium paniceum</u>
Oeufs	- Blancs, ellipsoïdaux, dim.: 0,35 mm - 0,55 mm - Une femelle pond 28 oeufs en moyenne	- Blancs, ovales, dim.: 0,2 mm - 0,3 mm - Une femelle pond 40 à 60 oeufs en moyenne
Larves (Fig. 24)	Corps mou, vermiforme, blanchâtre ou jaune, au début tout petit et droit, il devient ensuite courbé. A son complet développement elle atteint les dim.: long. 4-5 mm, larg. 2 mm environ.	Corps mou, vermiforme, blanchâtre, au début tout petit et droit, il devient ensuite courbé. A son complet développement elle atteint la longueur de 4 mm.
Pupes	Au début de couleur blanchâtre, puis sombre	Au début de couleur blanchâtre, puis sombre
Adultes (Fig. 25)	De couleur brune ou brun roux, dim. variables oscillant entre 2,5 mm - 4,5 mm	De couleur brun jaunâtre ou brun sombre, dim. variables oscillant entre 1,8 mm - 3 mm
Stade auquel ils sont nuisibles	- Larve - Adulte quand il perce le matériau pour sortir	- Larve - Adulte quand il perce le matériau pour sortir
Diamètre des trous de sortie	1,5 mm à 2 mm environ	1 mm à 1,5 mm environ
Eléments qui permettent de déceler la présence des insectes	- Matériaux endommagés - Petits dépôts, en forme de cônes, de vermoulures, sur les étagères et sur les pavements - Insectes adultes qui volent ou circulent dans l'environnement	- Matériaux endommagés - Petits dépôts, en forme de cônes, de vermoulures, sur les étagères et sur les pavements - Insectes adultes qui volent ou circulent dans l'environnement
Parasites des Anobiidés	Quelques espèces d'insectes, parasites des anobiidés, font à l'homme des piqûres gênantes	Quelques espèces d'insectes, parasites des anobiidés, font à l'homme des piqûres gênantes (Fig. 26)

TABLEAU 16. ANOBIIDAE: DEVELOPPEMENT

Espèces	<u>Anobium punctatum</u>	<u>Stegobium paniceum</u>
Développement embryonnaire à:	- 20°C et 87% H.R.: 15,5 jours - 20°C et 43% H.R.: 23,3 jours - 22,5°C les oeufs n'éclosent pas si l'H.R. est inférieure à 45%; les taux d'humidité optimaux pour l'éclosion des oeufs sont: 65% - 95%.	Les oeufs ne se développent pas à +4°C, mais peuvent conserver leur vitalité pendant des mois même à -5°C.
Développement larvaire à:	- 20°C le développement a lieu si l'H.R. est supérieure à 65%	- 22°C et 70% H.R.: 50 jours - 18°C: 110 à 140 jours
Conditions thermo-hygro-métriques optimales pour l'espèce	Température 22-23°C H.R. 80-90% Ces insectes résistent à des températures inférieures à 0°C à condition que la baisse de température soit progressive. Les températures létales sont > à 30°C. A 51°C, les larves meurent en 5 min.	Température 28°C H.R. 70% Températures létales: -10°C +44°C
Durée du cycle de vie	Généralement 2 ans En climat chaud il peut même y avoir 2 générations par an	A température relativement basse, une génération par an. Dans les milieux chauffés 3 à 4 générations par an.

Dégâts

Les larves des anobiidés creusent dans les livres des galeries tortueuses à section circulaire qui, généralement, s'étendent des marges vers le centre des volumes (Fig. 27). Le diamètre de ces galeries varie en fonction de l'espèce infestante et du stade de développement de la larve. Ces insectes dégradent non seulement le papier mais aussi le bois, le contre-plaqué, les objets en osier et certaines espèces, comme le Stegobium paniceum, dégradent même le cuir, la colle d'amidon, les denrées alimentaires, les collections d'histoire naturelle et en particulier les herbiers. Dans le bois ils creusent des galeries à section circulaire, parallèles aux fibres. Le mélange de fragments de matériaux rongés et d'excréments remplissant les galeries constitue des dépôts dont l'aspect est caractéristique de chaque espèce, et est connu sous le nom de vermoulure (Fig. 28).

Fam. Dermestidae

Les espèces cosmopolites qui infestent les bibliothèques et les archives le plus fréquemment sont les suivantes:

Dermestes lardarius L.

- noms communs: - Dermeste du lard
- Bacon beetle or larder beetle
- Gemein/Speckkäfer
- Dermeste del tocino

Attagenus piceus Olf.

- noms communs: - Charançon des tapis
- Black carpet beetle
- Braune Pelzkäfer
- Carcoma de las alfombras

Attagenus pellio L.

- noms communs: - Charançon de la fourrure
- Fur beetle
- Pelzkäfer
- Carcoma de las pieles

Anthrenus verbasci L.

- noms communs: - Charançon des vêtements
- Varied carpet beetle
- Textilkäfer
- Gorgojo de tejidos

Anthrenus museorum L.

- noms communs: - Charançon des musées
- Museum beetle
- Kabinettkäfer
- Gorgojo de museos

Cycle de vie

Il a déjà été décrit dans ses grandes lignes au paragraphe précédent (page 109). Les caractéristiques morphologiques des larves, des pupes et des adultes de quelques espèces sont indiquées dans le tableau 17.

Les adultes des insectes appartenant aux genres Attagenus et Anthrenus volent non seulement à l'intérieur des locaux mais aussi à l'extérieur, vers les fleurs, où ils se nourrissent de pollen.

La durée du cycle de vie varie d'une espèce à l'autre et, à l'intérieur d'une même espèce, subit des modifications en liaison avec les conditions thermo-hygrométriques (Tab. 18) et les facteurs de nutrition. Ces derniers ont une influence considérable. En effet, la déficience ou l'absence de matériaux nutritifs, nécessaires pour le développement, ralentit sensiblement le cycle de vie.

Dégâts

Les dégâts sont provoqués presque exclusivement par les larves qui font des trous irréguliers et, parfois, des galeries superficielles, contenant des excréments pulvérulents et des exuvies. Au terme de son stade larvaire, l'insecte creuse assez profondément et même dans des matériaux non comestibles et assez durs une cavité dans laquelle il se transforme en pupa. Les dermestidés endommagent fréquemment les reliures de cuir et de parchemin, les adhésifs d'origine animale, les fourrures, les tissus de laine et de soie et sont de redoutables destructeurs des collections d'insectes. Ils se nourrissent même de matériaux d'origine végétale tels que le papier, le bois et les denrées alimentaires (blé, graines de tout genre). Enfin, il est intéressant de signaler que parfois, ces insectes s'attaquent aux câbles électriques, provoquant des courts-circuits, et percent les matériaux plastiques et les fines feuilles de plomb, d'étain et d'amiante.

TABLEAU 17. DERMESTIDAE: MORPHOLOGIE

Espèces	<u>Dermestes</u> <u>lardarius</u>	<u>Attagenus</u> <u>piceus</u>	<u>Anthrenus</u> <u>verbasci</u>
Oeufs	Blancs, devenant plus sombres en quelques heures. Dim.: 2 mm x 0,3-0,6 mm. Une femelle pond de 200 à 800 oeufs.	Une femelle pond de 50 à 100 oeufs.	Une femelle pond de 20 à 100 oeufs.
Larves	Blanches à peine sorties de l'oeuf, après quelques heures deviennent sombres; elles ont le corps couvert de poils. Elles évitent la lumière. Si elles sont dérangées, elles restent immobiles, se pelotonnent et feignent d'être mortes. Complètement développées elles mesurent: 10-15 mm.	Corps allongé, recouvert d'un épais duvet doré. A l'extrémité du corps une longue touffe de poils leur donne un aspect caractéristique. Elles évitent la lumière. Si elles sont dérangées, elles se pelotonnent et feignent d'être mortes (Fig. 29).	Corps jaunâtre, recouvert de touffes de longs poils bruns. A l'extrémité du corps, 3 gros faisceaux de poils. Complètement développées elles mesurent: 4-5 mm (Fig. 30).
Nymphes	Couleur ivoire, elles deviennent sombres et mesurent 8-9 mm x 3 mm	Jaunes, couvertes d'un duvet blanc	Jaunâtres
Adultes	Corps de couleur noire, de forme ovale, recouvert d'un duvet jaunâtre, long de 7-9 mm	Corps de couleur noire, de forme ovale, avec des reflets bruns ou roux, long de 3,6 à 5-7 mm (Fig. 31)	Corps de couleur noire, de forme légèrement ovale, recouvert d'écailles blanches et jaunes, long de 2-3 mm (Fig. 32)
Stade auquel ils sont nuisibles	Larve et adulte	Larve	Larve
Eléments qui permettent de déceler la présence des insectes	- Matériaux endommagés - Insectes au stade adulte qui rampent ou qui volent	- Matériaux endommagés - Insectes au stade adulte surtout à proximité des fenêtres - Exuvies	- Matériaux endommagés - Insectes au stade adulte surtout à proximité des fenêtres - Exuvies

TABLEAU 18. DERMESTIDAE: DEVELOPPEMENT

Espèces	<u>Dermestes</u> <u>lardarius</u>	<u>Attagenus</u> <u>piceus</u>	<u>Anthrenus</u> <u>verbasci</u>
Développement embryonnaire à:	17°C: 9 jours 25°-29°C: 2,5 jours	18°C: 22 jours 25°C: 8-9 jours 30°C: 5-6 jours	18°C: 35 jours 29°C: 10 jours
Développement larvaire	5-8 semaines	A 25-30°C: 65-180 jours, suivant les facteurs de nutrition	Il n'existe pas de données précises; influence considérable des facteurs de nutrition. Si l'ambiance est froide, ils passent l'hiver au stade larvaire
Stade de pupa	8-15 jours	A 18°C: 18 jours A 30°C: 5,5 jours	A 18°C: 19 jours A 29°C: 7 jours
Durée de vie de l'adulte	3 mois environ Souvent les adultes restent tout l'hiver à l'intérieur des denrées	L'insecte hiberne parfois au stade adulte. 15-25 jours à 29°C 60-70 jours à 18°C	7-40 jours
Durée du cycle de vie	A 18-25°C: 2-3 mois	Généralement 1 an. Dans des conditions particulièrement favorables ou défavorables, le cycle peut avoir une durée minimale de 6 mois et maximale de 3 ans	Dans les climats tempérés généralement 1 génération par an. Dans un milieu chauffé 2 générations par an. Dans des conditions climatiques défavorables une génération tous les 2 ans.
Conditions thermo-hygro-métriques optimales	Température: 18-20°C H.R. 70%	Température 24-25°C	Température 25°C

LES MICRO-ORGANISMES

Les espèces de micro-organismes (bactéries et champignons) qui dégradent les livres et les documents d'archives sont nombreuses. Les spécialistes en ont identifié environ 300, appartenant à près de 140 genres et à diverses familles. Dans les tableaux 19 et 20, ont été indiqués les micro-organismes (Fig. 33, 34, 35) qu'on rencontre le plus fréquemment et les matériaux sur lesquels on les a décelés. Le présent ouvrage ayant pour but d'informer, il convient de mentionner dans les tableaux les noms des genres et non ceux des espèces. Il semble toutefois intéressant de signaler que, parmi les espèces de champignons qui détériorent les livres, un nombre important appartient aux genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Chaetomium*, et que bon nombre d'entre eux ont été isolés de volumes conservés dans des bibliothèques de pays même éloignés les uns des autres. En outre, lors d'enquêtes statistiques, il est apparu que les pourcentages les plus élevés d'infections de livres sont dus aux *Aspergillus* (environ 30%) et aux *Penicillium* (plus de 30%). Ce chiffre s'explique par la capacité des spores de certaines espèces de ces champignons, par ailleurs ubiquitaires, de germer même dans un milieu d'une H.R. de 62 à 65%.

On peut parfois trouver sur les livres et les documents d'archives des micro-organismes dont l'habitat n'est ni le papier, ni le parchemin, etc., mais qui se développent sur les traces de substances organiques (mucus, salive, etc.) présents, dans certains cas, sur ces matériaux.

TABLEAU 19. LES MATERIAUX ENDOMMAGES PAR LES BACTERIES

Bactéries	Papier/Carton	Cuir	Parchemin	Encres	Adhésifs d'origine animale/végétale	Matériaux synthétiques	Tissus	Sceaux de cire	Photographies	Rubans magnétiques
Cellvibrio	x									
Cellfalcicula	x									
Serratia			x		x	x				
Bacillus * Subtilis Cohn		x	x			x	x			
Nocardia	x							x		
Streptomyces		x	x						x	x
Cytophaga	x									
Sporocytophaga	x									

* Etant donné que de nombreuses espèces appartiennent au genre Bacillus, et que parmi elles c'est surtout le subtilis qui cause de graves dégâts il convient de signaler, dans ce cas, le nom de l'espèce.

TABLEAU 20. LES MATERIAUX ENDOMMAGES PAR LES CHAMPIGNONS

Champignons	Papier/Carton	Cuir	Parchemin	Encres	Adhésifs d'origine animale/végétale	Matériaux synthétiques	Tissus	Sceaux de cire	Photographies	Rubans magnétiques
Rhodotorula	x	x								
Mucor	x	x	x				x			
Rhizopus	x	x	x				x		x	
Chaetomium	x	x	x			x	x	x	x	x
Gymnoascus	x									
Aspergillus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Penicillium	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Phoma	x						x			
Trichoderma	x	x	x			x	x	x	x	
Paecilomyces (= Spicaria)	x	x					x		x	
Trichothecium	x		x		x				x	
Cephalosporium	x		x				x	x		
Scopulariopsis	x	x	x				x	x	x	
Monilia	x		x			x	x			
Verticillium	x						x			
Aureobasidium (= Pullularia)	x	x				x	x	x		
Hormiscium	x									
Helminthosporium	x				x					
Stachybotrys	x				x	x	x			
Cladosporium	x	x	x			x	x	x		x
Alternaria	x	x	x		x	x	x	x		x
Stemphylium	x	x			x	x	x	x		x
Fusarium	x	x	x		x	x	x	x	x	
Doratomyces (= Styxanus)	x						x	x		

Causes d'infection des livres et documents d'archives et développement des micro-organismes

Les causes principales d'infection des livres et documents d'archives sont:

- a) l'emploi, pour la fabrication et la restauration des livres et des documents, de matériaux (papiers, adhésifs, etc.) contenant des spores de micro-organismes.
- b) la présence de micro-organismes dans la fine poussière atmosphérique.
- c) la présence dans l'environnement de livres ou de documents infectés.
- d) les causes accidentelles telles qu'effondrements, inondations, etc., qui peuvent créer des conditions favorables au développement des bactéries ou des champignons.

Pour les causes d'infection a), b) et c) il faut se rappeler que les spores de bactérie et de champignons peuvent rester pendant des mois, parfois même des années, sur les livres et documents d'archives sans les attaquer. Les dégradations ne se produisent que si les conditions ambiantes et la teneur en eau des matériaux atteignent des niveaux déterminés qui permettent la germination des spores (Tab. 21).

TABLEAU 21. CONDITIONS FAVORISANT LE DEVELOPPEMENT
DES BACTERIES ET DES CHAMPIGNONS

Micro-organismes	Température °C	H.R. %	Teneur en eau des matériaux permettant la germination des spores
Bactéries	Optimale 20-35° Minimale 5° Maximale 50°	Optimale 90-100 Minimale 65	Supérieure à 8-10%
Champignons	Optimale 24-30° Minimale -7° Maximale 50°	Optimale 65-100 Minimale 50	

Les données du tableau 21 concernant les conditions optimales pour le développement des micro-organismes et les limites de température et d'H.R. au-delà et en-deçà desquelles ce développement ne se produit pas sont purement indicatives. En effet, la possibilité d'une infection et la vitesse avec laquelle elle se déclenchera sera différente si, par exemple, la température est élevée et l'humidité basse ou si l'une et l'autre sont élevées.

Dans le tableau 22, deux exemples permettent au lecteur de comprendre comment le développement des microbes se produit avec des pourcentages d'humidité variables d'une espèce à l'autre et d'autant plus bas que la température est élevée. En outre, un exemple de vitesse de développement d'un champignon sur du papier, à différents niveaux hygrométriques, est donné dans le tableau 23.

TABLEAU 22. LA TEMPERATURE ET L'H.R. AFFECTANT LA CROISSANCE

Champignons	Température	H.R. minimale qui permet le développement
<u>Penicillium chrysogenum</u>	10°C 15°C 25°C	83.5% 77% 72.5%
<u>Aspergillus flavus</u>	12°C 16°C 30°C	95% 90% 81%

TABLEAU 23. LES NIVEAUX D'H.R. AFFECTANT LA CROISSANCE

Champignon	H.R.	Temps utile au champignon pour se développer sur du papier
<u>Penicillium chrysogenum</u>	100% 72%	5-20 jours 120-150 jours

Dégâts

Les micro-organismes provoquent sur les livres et documents d'archives des taches d'aspect divers (de formes irrégulières ou rondes très souvent nucléées), de couleur (rouge, violette, jaune-marron, noire, etc.) et d'intensité variées (Fig. 36, 37, 38). Une forme particulière d'altération chromatique du papier est le "foxing" qui se manifeste par de petites taches de couleur rouille (Fig. 39). Fréquemment, à la suite des attaques de bactéries et de champignons, le papier prend un aspect feutré (Fig. 40) et devient fragile, le parchemin présente des perforations et devient poreux, le cuir et les matériaux plastiques deviennent rigides; les photographies sont trouées (Fig. 41).

Identification des micro-organismes

La couleur des taches ne permet pas l'identification des bactéries et des champignons qui les ont provoquées. En fait le pigment de la même espèce microbienne prend une tonalité et une intensité différentes selon les caractéristiques des matériaux tel le pH, par exemple, selon la présence éventuelle et simultanée de plusieurs micro-organismes et selon l'âge de la flore. Fréquemment, en même temps que les taches on observe des formations pulvérulentes ou feutrées et, parfois, des corpuscules très menus adhérant au matériau (Fig. 42, 43). Ces formations sont constituées par les hyphes et les spores des champignons. Ceux-ci se dispersent avec une grande facilité au moindre déplacement des volumes détériorés, et peuvent soit contaminer des livres encore sains, soit constituer un danger pour la santé du bibliothécaire et du lecteur. (*)

L'identification ne peut être faite que par le microbiologiste au moyen d'examen de cultures et d'examen microscopiques. (**)

* A ce propos, parmi les champignons se développant sur les livres, une vingtaine peuvent provoquer des mycoses ou agir en allergènes c'est à dire agents causant des allergies (asthme bronchique, etc.).

** L'identification et par conséquent la connaissance de l'activité physiologique du micro-organisme permet de comprendre le mécanisme par lequel il a dégradé le matériau. L'identification permet d'établir s'il s'agit d'une espèce pathogène pour l'homme et de choisir les moyens de lutte les plus appropriés. La désinfection s'effectue à l'aide de deux gaz: l'oxyde d'éthylène et l'aldéhyde formique.

FACTEURS FAVORISANT LE DEVELOPPEMENT DES AGENTS BIOLOGIQUES ET MESURES A ADOPTER POUR PREVENIR LEUR DEVELOPPEMENT

Les facteurs favorisant le développement des agents biologiques sur les matériaux de bibliothèque sont:

- 1) la poussière
- 2) une aération insuffisante
- 3) un éclairage faible
- 4) une température élevée
- 5) une H.R. élevée
- 6) des matériaux inadéquats employés pour la fabrication et la restauration des livres
- 7) un mobilier inadéquat

Poussière

La poussière a une composition hétérogène et variable. Elle contient généralement des particules chimiques d'origine et de nature variées, des oeufs d'insectes, du pollen des fleurs, des spores de micro-organismes. Cette composition varie suivant l'emplacement de la bibliothèque ou des archives, l'état de conservation du matériel et l'activité menée dans les locaux.

Les éléments d'origine chimique et biologique constituant la poussière peuvent endommager le patrimoine des bibliothèques et des dépôts des archives. Pour prévenir les dégâts, il est donc nécessaire de dépoussiérer périodiquement et systématiquement les livres et les documents. Au cours de ces interventions, qui seront effectuées avec un aspirateur, les opérateurs devront se protéger en utilisant des gants, des masques et des combinaisons de travail.

Aération

L'aération a une double action bénéfique car elle entrave le développement des spores microbiennes qui se déposent sur les livres, et empêche la création de microclimats avec d'éventuels processus de condensation qui peuvent se produire sur des surfaces froides (étagères métalliques, verre, etc.).

Eclairage

La lumière, naturelle ou artificielle, accélère le vieillissement (jaunissement, fragilité) du papier. Pour cette raison, il conviendrait de conserver les livres dans des locaux privés d'éclairage. Mais, d'autre part, l'obscurité favorise le développement de la majeure partie des insectes et des micro-organismes. Pour chercher à concilier ces deux exigences, on conseille un niveau de lumière de 50 lux.

Température et H.R.

Parmi les facteurs qui favorisent le développement des agents biologiques sur les matériaux de bibliothèques, la température et l'H.R. jouent un rôle déterminant. En effet, comme on l'a déjà dit, au-delà et en-deçà de certains niveaux thermiques et hygrométriques la majeure partie des agents biologiques se développent avec difficulté ou ne se développent pas du tout. Les valeurs optimales de température et d'H.R. pour ces agents, indiquées en détails dans les paragraphes précédents, sont synthétisées dans le tableau suivant.

TABLEAU 24. LA TEMPERATURE ET L'H.R. OPTIMALES FAVORISANT
LE DEVELOPPEMENT DES AGENTS BIOLOGIQUES

Agents Biologiques	Température optimale pour le développement	H.R. optimale pour le développement
Blattes	25-30°C	> 70%
Corrodentia	25-30°C	75%
Lépismatidés	16-24°C	90%
Termites	26-30°C	97-100%
Anobiidés	20-28°C	70-90%
Dermeestidés	18-25°C	70%
Bactéries	20-35°C	90-100%
Champignons	24-30°C	65-100%

Prenant en considération les données ci-dessus relatives aux facteurs ambiants, il est évident que pour prévenir, dans une grande mesure, l'apparition des infections et des infestations il est nécessaire de conserver les matériaux de bibliothèques dans des locaux suffisamment aérés, rationnellement éclairés et dans lesquels les niveaux thermo-hygrométriques se maintiennent dans les limites suivantes:

Température	:	16 - 18°C
H.R.	:	40 - 60%

Bien que ces conditions limitent dans une grande mesure les risques d'infection et d'infestation, il convient toutefois d'effectuer des contrôles réguliers de l'état de conservation des matériaux.

Matériaux employés pour la fabrication et la restauration des livres

Le choix de ces matériaux doit être réalisé en évaluant soigneusement leurs caractéristiques physiques et chimiques car il existe une corrélation étroite entre ces caractéristiques et la sensibilité à l'attaque des agents biologiques.

Les matériaux d'origine animale et végétale sont beaucoup plus facilement dégradés par ces agents que les matériaux synthétiques et, parmi ces derniers, il existe des différences sensibles entre les composés chimiques appartenant à la même classe. Par exemple, les dérivés de la cellulose ayant un degré élevé de substitution sont plus résistants aux champignons et aux bactéries que ceux dont le degré de substitution est bas. En outre, les additifs introduits dans les matériaux naturels ou synthétiques pour leur donner des caractéristiques déterminées (tels que, par exemple, les huiles et les graisses employées pour rendre le cuir souple, les plastifiants introduits dans les polymères synthétiques, etc.) peuvent constituer une source d'aliments pour certains agents biologiques.

Mobilier

Un mobilier irrationnel et ne correspondant pas à des caractéristiques déterminées peut favoriser le développement des insectes et des micro-organismes dans les matériaux de bibliothèques.

En règle générale, il vaut mieux préférer les meubles métalliques aux meubles en bois car certains insectes xylophages, parmi lesquels les termites et les anobiidés, sont fréquemment à l'origine de dégradations de papiers et de parchemins. On trouve souvent dans les bibliothèques des cas d'infestations qui se transmettent des étagères aux livres.

Les meubles métalliques eux-mêmes peuvent présenter des inconvénients du point de vue biologique. En effet le métal est une surface froide sur laquelle, dans des conditions ambiantes particulières, ont lieu des processus de condensation favorisant l'apparition d'infections sur les volumes.

Les étagères, tant de bois que de métal, doivent être ouvertes et, si elles sont en métal, il est souhaitable qu'elles soient à claire-voie afin de réduire au maximum les surfaces froides; en outre les tablettes et les montants ne doivent pas être pleins. Ces caractéristiques permettant la circulation de l'air entre les livres atténuent ou évitent les dégâts provoqués par les processus de condensation.

ANNEXE I

Classification des agents biologiques

Ordre = groupement de familles voisines.

Famille = groupement de genres ayant un bon nombre de caractéristiques morphologiques en commun. L'ensemble de plusieurs familles voisines constituent un ordre.

Genre = sous division d'une famille regroupant des espèces voisines et présentant des caractéristiques morphologiques et souvent même physiologiques communes.

Nom du genre = toujours un substantif, obtenu soit en utilisant l'ancien nom latin ou grec, soit en créant un nouveau nom mais en le faisant dériver d'une langue ancienne, soit en utilisant un nom propre.

Nom de l'espèce = presque toujours un adjectif qui exprime un caractère saillant du micro-organisme ou de l'insecte; dans certains cas c'est un adjectif substantivé.

Le nom du genre et de l'espèce est suivi d'initiales ou d'un nom indiquant l'auteur, c'est-à-dire le chercheur qui a donné son nom à l'insecte ou au micro-organisme.

TABLEAU 25. EXEMPLES DE CLASSIFICATION

Insecte	Thysanura	Lepismatidae	Lepisma	saccharina	L.
↑	↑	↑	↑	↑	↑
CLASSIFI- CATION	ORDRE	FAMILLE	GENRE	ESPECE	NOM DE L'AUTEUR
↓	↓	↓	↓	↓	↓
Micro- organisme	Sphaeriales	Chaetomiaceae	Chaetomium	indicum	Corda

ANNEXE II

Critères à appliquer dans la lutte contre les agents biologiques de détérioration des documents graphiques

L'adoption des mesures indiquées dans le précédent paragraphe permet de prévenir, dans une grande mesure, les attaques des insectes et des micro-organismes.

Si on n'a pas adopté ces mesures ou qu'elles s'avèrent inefficaces et que des infections ou des infestations se produisent il est nécessaire d'intervenir avec les méthodes de lutte appropriées. Ces interventions, que l'on doit entreprendre à temps afin d'éviter que les dégâts causés par les agents biologiques ne s'étendent ou ne deviennent irréparables, sont effectuées, presque exclusivement, avec des moyens chimiques choisis et utilisés en tenant compte des facteurs suivants:

- 1) l'efficacité sur les espèces biologiques à combattre. Ceci suppose l'identification préalable des insectes ou des micro-organismes ayant provoqué les dégâts et, par là-même, la connaissance du cycle de vie des insectes.
- 2) l'action que le composé chimique peut exercer sur les documents. Effets immédiats ou résiduels ou effets dus aux produits de réaction.
- 3) la toxicité pour l'homme des composés chimiques que l'on veut utiliser. Effets immédiats ou résiduels ou effets dus aux produits de réaction.

Un nombre limité de produits chimiques répond à toutes les qualités requises permettant leur emploi comme désinfectants et désinfestants des livres et des documents. Parmi eux, ceux qui, à l'état solide, liquide ou gazeux, sont le plus généralement

utilisés dans la lutte contre les agents biologiques endommageant les bibliothèques et les archives, sont indiqués dans l'annexe III.

Il convient de souligner que les traitements doivent être effectués uniquement quand il existe des foyers actifs d'infection ou d'infestation. En effet les composés chimiques exercent toujours, dans une plus ou moins grande mesure, une action dégradante sur les matériaux avec lesquels ils entrent en contact et, par conséquent, leur emploi doit être limité aux cas de nécessité absolue.

ANNEXE III

LES DESINFESTANTS ET LES DESINFECTANTS

Méthodes de lutte	Composés chimiques	Modalités d'emploi	Agents biologiques sur lesquels ils agissent
Insecticides à l'état solide	Gammexane, Aérogel de silice Pyrèthre, DDT Propoxur	Appliquer sur les étagères, <u>jamais sur les livres</u> " " " " " "	Lépismatidés " , Blattidés Blattidés
Insecticides à l'état liquide	Pyrèthre, DDT Propoxur	Badigeonner les surfaces sur lesquelles passent les blattes, <u>jamais sur les livres.</u>	Blattidés
	Pentachlorophénol, Pentachlorophénate de soude, DDT, Gammexane	Appliquer sur les structures de bois. Appliquer à la base des murs ou sur le sol pour créer une barrière chimique apte à protéger les édifices des infestations. <u>Jamais sur les livres.</u>	Termites
	Pentachlorophénol, Gammexane	Injecter dans les bois des étagères infestées. <u>Jamais sur les livres.</u>	Anobiidés
Insecticides, bactéricides, fongicides à l'état gazeux	Oxyde d'éthylène	<u>En autoclave</u> pour le traitement des livres.	Lepismatidés, Psocidés, Blattidés, Termites, Anobiidés, Dermestidés, Bactéries et Champignons
	Bromure de méthyle	Pour le traitement des édifices infestés. <u>En autoclave</u> pour le traitement des livres. <u>Dans l'air ambiant</u> pour le traitement des étagères et des livres.	Termites Anobiidés, Lepismatidés
	Aldéhyde formique	<u>Dans l'air ambiant et en autoclave</u> pour le traitement des livres.	Bactéries, Champignons

Notes:

- Les mesures de précaution à adopter pour l'emploi des produits commerciaux à l'état solide ou liquide, contenant les composés chimiques désignés dans cette annexe et les données sur leur toxicité devront être demandées aux maisons de production et aux autorités sanitaires locales.
- Sauf cas particuliers, il convient d'éviter, dans des locaux confinés ou l'on travaille, l'utilisation d'insecticides à l'état solide ou liquide, à action longue et persistante, libérant des vapeurs qui peuvent polluer l'air. Ces émanations peuvent provoquer dans les locaux soit des concentrations de produits toxiques pour l'homme, soit une libération prolongée de petites quantités de vapeurs dont l'effet sur l'organisme humain n'est pas connu.
- Les composés chimiques à l'état gazeux ont un large spectre d'action, un grand pouvoir de pénétration et une faible action résiduelle, caractéristiques qui permettent d'effectuer des traitements rapides et efficaces. L'utilisation de ces gaz, soumise dans plusieurs pays à une législation précise et sévère, doit être confiée à un personnel hautement qualifié autant pour d'éviter les risques provenant de leur toxicité élevée que pour obtenir des résultats satisfaisants.
L'aldéhyde formique endommage les matériaux protéiques (cuir, parchemin). Certains types de cuir et de parchemin prennent une odeur désagréable lorsqu'ils sont désinfectés avec du bromure de méthyle. L'utilisation de ces deux gaz pour le traitement de ces matériaux est donc à déconseiller.

ANNEXE IV

Pour évaluer les possibilités de développement d'infections dans les livres, on doit tenir compte d'un troisième facteur déterminant: la teneur en eau des livres et documents, qui varie selon l'H.R. de l'air (Tab. 26). Ces matériaux ont une hygroscopicité différente c'est pourquoi, avec un même taux d'H.R. (Tab. 27), le papier, le cuir, le parchemin et les adhésifs ont de façon évidente une teneur en eau différente; c'est elle qui, lorsqu'elle dépasse 8-10%, détermine la germination des spores microbiennes. Ce niveau est atteint par presque tous les matériaux de bibliothèque quand l'H.R. de l'air dépasse 60%.

TABLEAU 26. LE CONTENU D'HUMIDITE DU PAPIER
DANS UNE H.R. ELEVEE

Type de papier	Température	H.R.	Teneur en eau
Cellulose pure	20°C	100% 63%	16,13% 7,9%
Journal avec 30% de pâte mécanique	20°C	100% 63%	20,72% 10,96%
Journal avec 75% de pâte mécanique	20°C	100% 63%	20,17% 10,10%

TABLEAU 27. LE CONTENU D'HUMIDITE DES MATERIAUX
DANS UNE H.R. ELEVEE

H.R.	Type de matériel	Teneur en eau
80%	Papier	9-14%
"	Colle de farine	15%
"	Colle d'os	11,5%
"	Colle d'amidon	10-11%
"	Différents types de cuir	18-28%

GLOSSAIRE

Bactéries: organismes végétaux, microscopiques, unicellulaires.

Champignons: organismes végétaux dont l'appareil végétatif, ou thalle, est formé par une ou plusieurs cellules de forme tubulaire, dites hyphes, constituant ensemble le mycélium.

Conditions optimales: voir Température, humidité optimales.

Cycle de vie: laps de temps s'écoulant entre le moment où l'oeuf est pondu et le moment où l'individu produit par l'oeuf pond lui-même des oeufs.

Développement embryonnaire: voir embryon.

Embryon: l'insecte pendant son développement dans l'oeuf.

Enzymes: catalyseurs d'origine biologique. Les enzymes sont des protéines à poids moléculaire élevé. Ils catalysent des réactions spécifiques.

Exuvie: cuticule de la larve ou de la nymphe abandonnée après chaque mue.

Levures: terme commun pour désigner un vaste groupe de micro-organismes fongiques. La majeure partie des levures sont unicellulaires.

Matériaux hygroscopiques: matériaux dont la teneur en eau dépend de celle du milieu.

Organismes symbiotes: voir symbiose.

Pigments: produits du métabolisme microbien.

Spore: Corps menu et résistant, ayant une paroi épaisse, se formant à l'intérieur des cellules bactériennes et considéré comme un stade enkysté et résistant. Cellule reproductrice des champignons, capable d'engendrer directement un nouvel organisme.

Symbiose: deux organismes vivant ensemble, chacun tirant avantage de la relation.

Température, humidité optimales: parmi les valeurs thermiques et hygrométriques compatibles avec la vie d'une espèce, celles qui sont le plus favorables à leur développement.

BIBLIOGRAPHIE

BELYAKOVA, L.A. "The Mold Species and Their Injurious Effect on Various Book Materials." Collections of Materials on the Preservation of Library Resources, p. 183-194. Londres: Oldbourne Press, 1964.

Recherche effectuée sur quelques centaines de volumes de la Lenin Library pour identifier les espèces de champignons causant des dégâts aux livres et documents d'archives.

BUSVINE, J.R. Insects and Hygiene. Londres, New York: Chapman and Hall, 1980. 568 p.

Quelques chapitres de cet ouvrage sont consacrés aux insectes qui causent des dégâts aux matériaux d'origine animale et végétale. Parmi eux nombreux sont les insectes qui infestent les bibliothèques et les archives.

CZERWINSKA, E., and R. KOWALIK. "Microbiodeterioration of Audiovisual Collections. Part I Protection of Audio-visual Records against Destructive Micro-flora; Part II Microbial Problems in Photographic Print Collections." Restaurator, 3 (1979), p. 63-80.

Recherche sur les agents microbiens endommageant les rubans magnétiques et les photographies.

EDWARDS, S.R., B.M. BELL, and M.E. KING. Pest Control in Museums: A Status Report 1980. Association of Systematics Collections, 1981.

Dans ce document sont traités les problèmes relatifs aux insecticides utilisés dans la lutte contre les insectes qui infestent les musées. Un appendice de 20 pages est consacré à ces insectes, dont un grand nombre détruisent également les livres et les documents.

EWALD, G. "Mikroorganismen als Schädlinge in Bibliotheken und Archiven." Bibliothek und Wissenschaft, Bd 3 (1966), p. 13-112.

Vaste étude sur les micro-organismes qui endommagent les livres et les documents d'archives, sur les facteurs qui favorisent leur développement et sur les méthodes de lutte.

FLIEDER, F. La conservation des documents graphiques. Paris: Recherches expérimentales Eyrolles, 1969. 288 p.

Les premiers chapitres traitent des agents destructeurs des livres et des documents d'archives. Ensuite, l'auteur décrit les résultats de ses recherches sur la désinfection, la désinfestation et les méthodes d'enlèvement des taches des documents graphiques.

GALLO, F., and P. GALLO. "Bromuro di Metile, Ossido di Etilene, Formaldeide: problemi biologici, tossicologici e problemi correlati al trattamento dei materiali librari." Nuovi Annali di Igiene e Microbiologia, XXIX, N°1 (1978), p. 51-82; XXIX, N°2 (1978), p. 131-67.

Etude sur les composés chimiques à l'état gazeux les plus largement utilisés dans la lutte contre les agents biologiques endommageant les livres et documents d'archives.

----- . "Bücherfeindliche Insekten und Mikro-organismen." Papier Geschichte, 16, N°3/4 (1966), p. 7-28.

- Re-publié en Italien: Boll. Ist. Pat. Libro, XXVI, N°3-4 (1967) p. 143-190.

- Re-publié en Japonais: par les soins de la Japanese Association of Museums. 66 p.

Les insectes et les micro-organismes endommageant le matériel de bibliothèque. Les mesures propres à prévenir les altérations entomologiques et microbiennes des livres et les méthodes de lutte pour arrêter les infections et les infestations.

GALLO, P. "Considerazioni sui rapporti tra i funghi ospiti della carta e le micosi umane." Boll. Ist. Pat. Libro, XII (1953) N°3-4, p. 77-89.

Champignons pathogènes pour l'homme, se développant sur les livres et les documents d'archives.

HICKIN, N.E. The Insect Factor in Wood Decay. Londres: Hutchinson and Co. Ltd., 1963. 336 p.

Quelques chapitres de cet ouvrage sont consacrés aux Anobiidés et aux termites qui peuvent endommager les livres et les documents d'archives.

-----, Household Insect Pests. The Rentokil Library. Hutchinson of London Publ. Ltd., 1964. 172 p.

Les insectes qui infestent les habitations. Bon nombre d'entre eux causent des dommages aux livres et documents.

KOWALIK, R. "Paper and Parchment Deteriorating Fungi Pathogenic to Man." Wolfenbütteler Forschungen Herausgegeben Von der Herzog August Bibliothek, Band 1 (1977), p. 85-90.

Etudes sur les champignons pathogènes pour l'homme, se développant sur les livres et les documents d'archives.

-----, "Microbiodeterioration of Library Materials." Restaurator, 4 (1980), p. 99-114.

Conditions thermo-hygrométriques du milieu et teneur en eau des matériaux de bibliothèque, permettant la germination des spores microbiennes.

-----, I. SADURSKA, and E. CZERWINSKA. "Microbiological Deterioration of Old Books and Manuscripts - Remedies." Boll. Ist. Pat. Libro, XXI, N°3-4 (1962).

Les agents microbiens qui dégradent les livres et matériaux d'archives et les moyens de les détruire.

KRAEMER KOELLER, G. Tratado de la Previsión del Papel y de la Conservación de Bibliotecas y Archivos. Madrid: Dirección General de Archivos y Bibliotecas, 1973. Vol I, 838 p.; vol II, 208 p.

Cet ouvrage traite des problèmes d'ordres physique, chimique et biologique liés à la conservation des livres et des documents.

KRISHNA, K., and F.M. WEESNER. Biology of Termites. New York, Londres, Academic Press. Vol I, 1969, 598 p.; vol. II, 1970, 643 p.

Traité sur la biologie des termites, leur diffusion dans le monde, l'influence sur eux des conditions climatiques et les méthodes pour prévenir et arrêter les infestations.

NYUKSHA, J.P. "Biological Principles of Book Keeping Conditions." Restaurator, 3 (1979) p. 101-108.

Recherche sur les rapports existant entre l'humidité relative de l'air, la teneur en eau du papier et le développement des micro-organismes.

-----, "Developing Communities of Paper-Inhabiting Fungi." Mycologiya i Phytopathologiya, 8, N°6 (1974), p. 478-82.

L'activité enzymatique et la vitalité des champignons qui détériorent le papier et les conditions climatiques favorisant leur développement.

-----, "Mycoflora of Books and Papers." Botanicheskii Zhurnal, 41 N°6 (1956), p. 797-809. Trans. S.A. Sinclair. Ottawa: Nat. Res. Council of Canada, 1958.

Etude sur les champignons endommageant les livres et les documents graphiques.

-----". "Paper-Inhabiting Fungi." Mycologiya i Phytopatho-
logiya, 8, N°4 (1974) p. 306-311.

Recherche effectuée sur les papiers de différentes bibliothèques de l'Union soviétique, où 308 espèces de champignons ont été isolées.

Préservation du bois dans la construction. Norme française
N F X N°40-500.

Cette norme explique l'utilisation des méthodes chimiques pour la protection du bois contre les insectes.

Protection des constructions contre les termites en France.
Norme française F D X N°40-501.

Cette norme contient les mesures à prendre pour protéger les bâtiments contre l'attaque des termites.

TURNER, J.N. The Microbiology of Fabricated Materials.
Londres: J. and A. Churchill, 1967. 296 p.

Quelques chapitres de ce volume sont consacrés aux altérations d'origine microbienne du papier, du cuir, des tissus et des matériaux synthétiques.

WILLIAMS, M.C. "The Ecology and Physiology of Structural Wood Destroying Isoptera." Material und Organismen, 12, N°2 (1977), p. 111-140.

Monographie sur les termites causant des dégâts aux édifices.

