

Extrait des *Annales de la Société Royale Zoologique de Belgique*,
 1968, tome 98, fasc. 2, pp. 87 à 99.

(Communication présentée le 17 décembre 1966..)

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES COMPARÉES DES ÉLYTRES DE COLÉOPTÈRES

par S. KRZELJ (*) et Ch. JEUNIAUX.

Université de Liège, Institut Ed. Van Beneden,
 Laboratoire de Morphologie, Systématique et Ecologie animales.

Résumé. — Une méthode permettant de mesurer la rigidité flexionnelle et de calculer le Module de Young de pièces cuticulaires a été appliquée à l'étude comparée des élytres de 35 espèces de Coléoptères.

Les valeurs de la rigidité flexionnelle pour les espèces appartenant aux genres *Malachius*, *Phausis*, *Cantharis*, *Rhagonycha* et *Pyrochroa* sont comprises entre 20 et 200 mg.mm² pour une flèche de 15°, tandis que celles observées pour les élytres des autres Coléoptères sont très variables, mais au moins dix fois supérieures (entre 1.700 et 357.000 mg.mm²). Cette observation confirme qu'il existe, entre les « Malacodermes » au sens de LATREILLE et les autres Coléoptères, une profonde différence de rigidité au niveau du tégument, susceptible d'être exprimée quantitativement.

Au contraire, le calcul du Module de Young conduit à un ensemble de valeurs assez voisines pour les élytres de tous les Coléoptères étudiés (entre 500 et 1.300 kg/mm²), à l'exception de *Malachius bipustulatus*. Il semble donc que, à cette dernière exception près, les élytres des Coléoptères étudiés sont constitués au moyen du même matériau organique, et que la faible rigidité des élytres des « Malacodermes » n'est imputable qu'à une différence d'épaisseur du tégument élytral.

INTRODUCTION.

On sait que certains Coléoptères, contrairement à l'immense majorité des autres espèces de cet ordre, présentent des téguments relativement souples. En se basant principalement sur ce caractère, LATREILLE a établi au sein de l'ordre des Coléoptères un vaste groupe qu'il nomma Malacodermes. Ce groupe devait rassembler à peu près tous les Coléoptères à téguments « mous ».

(*) Adresse actuelle : Centre National d'Ecologie Générale, Zoologie, Faculté des Sciences Agronomiques, Gembloux.

A la suite de LATREILLE, les entomologistes ont plus ou moins remanié la composition du groupe des Malacodermes en y introduisant ou en retirant certains genres ou même certaines familles.

Le but du présent travail est de tenter de donner une dimension chiffrée à la notion restée jusqu'ici éminemment subjective de « tégument mou » et de « tégument dur ». Nous nous proposons d'étudier l'élasticité des téguments des Coléoptères, et en particulier celle des élytres, en procédant comme le font les ingénieurs lorsqu'ils veulent caractériser les propriétés mécaniques des matériaux. Rappelons que les propriétés mécaniques des cuticules de certains Insectes ont été analysées occasionnellement par divers auteurs, et ont été comparées à celles d'autres matériaux squelettiques et à des matériaux inorganiques ou synthétiques par LOCKE (1964); on ne possède toutefois, à notre connaissance, aucune donnée précise concernant les Coléoptères.

1. Principe.

On sait (MASSONET, 1960) que les matériaux peuvent être caractérisés par leur Module de YOUNG et par leur rigidité flexionnelle, qui peuvent être mesurés à partir d'essais de flexion.

Pour des flexions d'amplitude limitée, le Module de YOUNG est une constante qui ne dépend que de la nature du matériau, tandis que la rigidité flexionnelle dépend en plus de l'épaisseur et de la largeur de la poutre soumise à l'essai.

On dispose donc, pour mesurer l'élasticité de flexion, des deux formules suivantes :

$$\varphi = \frac{Pl^2}{2EI} \text{ et } \gamma = \frac{Pl^3}{3EI}$$

où φ est la flèche, et γ la dénivellation subie par l'extrémité libre de la poutre après application d'une force P : l est la longueur de la poutre et E son Module de Young.

I représente le moment d'inertie qui, pour une poutre rectangulaire, est égal au douzième du produit de la largeur par le cube de l'épaisseur.

Au moyen de la seconde formule, il est possible de calculer la rigidité flexionnelle qui s'exprime en $\text{mg}\cdot\text{mm}^2$ et le Module de Young qui s'exprime en kg/mm^2 .

A. — L'appareil de mesure

Pour déterminer l'élasticité des téguments des Coléoptères, les méthodes classiques nécessitent l'emploi d'un appareil donc indispensable de concevoir un dispositif d'effectuer les mesures sur des élytres de 3 cm et de résoudre la question de la préparation et la fixation de ces élytres.

1) Préparation des élytres

Grâce à sa surface assez lisse, la détermination des propriétés mécaniques de flexion.

On découpe dans des élytres, de telle sorte qu'il reste une languette. Nous perçons dans cette languette un orifice. Cet orifice servira à la fixation de la languette.

2) Préparation et fixation

Des crochets en verre

Les crochets en fil de fer sont trop lourds, légers (0,3 mg) et de section réduite peuvent supporter des poids importants sans se déformer.

Par contre, les crochets en cuivre sont plus importants (20 mg) et sont inutilisables pour des expériences de flexion.

Ces crochets en verre de section réduite de verre pyrex est étiré jusqu'à la limite de ses extrémités. Par l'extrémité libre de ces crochets, l'emprisonnons en transformant l'extrémité d'un microbunsen, cette extrémité est à celui de l'orifice percé de la languette.

L'extrémité libre de la languette est fixée à des lamelles de plexiglas, en position horizontale de ne pas fausser l'expérience. L'épaisseur de la languette est de 2 mm.

Au crochet terminal de la languette, un fil d'acier ou en cuivre, préalablement trempé, est voquées par ces charges de flexion de 2 g.

logistes ont plus ou moins Malacodermes en y introduisant des Coléoptères, et en utilisant comme le font les insectes les propriétés mécaniques des Malacodermes comparées à celles d'autres matériaux inorganiques ou synthétiques, à notre connaissance les Coléoptères.

ter de donner une dimension qui éminemment subjective est « dur ». Nous nous proposons de caractériser les propriétés mécaniques des Malacodermes comparées à celles d'autres matériaux inorganiques ou synthétiques, à notre connaissance les Coléoptères.

Matériaux peuvent être caractérisés par leur rigidité flexionnelle, leur module de flexion. Pour caractériser la rigidité, le Module de YOUNG est une fonction de la nature du matériau, de la longueur et de l'épaisseur de la poutre à l'essai.

La rigidité de flexion, des deux

$$\frac{Pl^3}{3EI}$$

subie par l'extrémité libre sous une force P ; l est la longueur de la poutre.

Si, pour une poutre rectangulaire, on exprime la rigidité de la largeur par le cube

il est possible de calculer la rigidité en $\text{mg} \cdot \text{mm}^2$ et le Module de

TECHNIQUES ET MATÉRIEL.

A. — L'appareil de mesure.

Pour déterminer l'élasticité des matériaux, les dispositifs techniques classiques nécessitent l'emploi de poutres de plusieurs mètres. Il était donc indispensable de concevoir un appareillage nouveau permettant d'effectuer les mesures sur des languettes élytrales longues tout au plus de 3 cm et de résoudre plusieurs problèmes techniques tels que la préparation et la fixation des languettes élytrales.

1) Préparation des élytres.

Grâce à sa surface assez plane, l'élytre est un matériel idéal pour la détermination des propriétés d'élasticité des cuticules par des essais de flexion.

On découpe dans des élytres des languettes aussi rectangulaires que possible, de telle sorte que les stries soient parallèles à la longueur de la languette. Nous perçons délicatement une des extrémités de la languette. Cet orifice servira à la fixation du crochet qui soutiendra les poids.

2) Préparation et fixation des poids et des crochets.

Des crochets en verre et en platine ont été fabriqués.

Les crochets en fil de platine présentent l'avantage d'être très maniables, légers (0,3 mg) et de diamètre très petit. Malheureusement, ils ne peuvent supporter des poids excédant 500 mg, ce qui a limité leur utilisation.

Par contre, les crochets en verre peuvent supporter des charges beaucoup plus importantes (20 à 200 g) mais ils ont des diamètres nettement supérieurs (50 μ) et sont plus lourds (1 à 2 mg); ils sont, de ce fait, inutilisables pour des expériences de flexion sur des élytres très flexibles.

Ces crochets en verre ont été fabriqués de la façon suivante : un tube de verre pyrex est étiré jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de $\pm 50 \mu$. Au moyen d'une microforge, nous façonnons un crochet à une de ses extrémités. Par l'extrémité restée libre, nous enfilons la languette et l'emprisonnons en transformant, par fusion du pyrex à l'aide de la flamme d'un microbunsen, cette extrémité en une sphère d'un diamètre supérieur à celui de l'orifice percé dans la languette élytrale.

L'extrémité libre de la languette élytrale est ensuite pincée entre deux lamelles de plexiglas, en prenant bien soin de ne pas serrer trop fort afin de ne pas fausser l'expérience de flexion par une diminution locale de l'épaisseur de la languette. La pince est ensuite fixée à une potence.

Au crochet terminal de l'élytre, nous suspendons d'autres crochets en acier ou en cuivre, préalablement pesés (fig. 1). Les dénivellations provoquées par ces charges sont mesurées au cathétomètre avec une précision de 2 μ .

3) Description de la potence.

Deux montants verticaux supportent une barre transversale et reposent sur un support rectangulaire. Un cylindre en plexiglas est vissé solidement à la barre transversale par sa partie supérieure et porte à sa partie inférieure deux filets où viendra se visser la pince portant l'élytre. Un poids de 250 g suspendu à l'extrémité de la pince ne provoque qu'une dénivellation de 20 μ . Comme nous n'avons jamais eu à utiliser de poids supérieurs à 20 g, nous pouvons donc considérer que l'erreur introduite par le déplacement de la pince lors des essais de flexion est tout à fait négligeable.

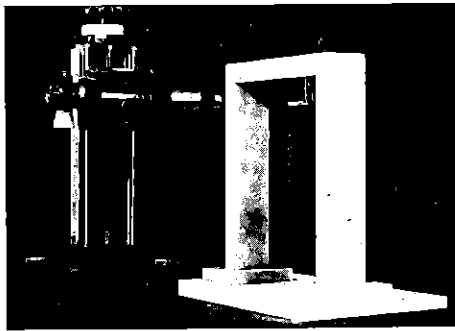


FIG. 1. — Système d'accrochage des élytres à la potence.

B. — Matériel biologique.

Tous les Coléoptères étudiés font partie de la faune belge. Les insectes capturés ont été soit soumis directement à l'expérience, soit congelés et conservés à une température de moins dix degrés, en flacons soigneusement bouchés, afin d'éviter toute dessiccation avant le moment de l'expérience. Nous avons en effet observé que les élytres secs, même réhydratés, fournissaient des résultats sensiblement différents de ceux obtenus au moyen de matériel frais ou congelé.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX.

A. — Essais préliminaires.

Avant de procéder à un échantillonnage étendu d'espèces différentes, il fallait d'abord déterminer l'amplitude de la variabilité individuelle des caractères étudiés. Dans ce but, nous avons effectué des mesures sur des élytres de plusieurs spécimens d'une même espèce, recueillis simultanément.

Nous avons comparé les élytres de quatre individus d'une espèce à téguments « mous » : *Rhagonicha fulva* Scop., et ceux

de trois individus d'une espèce *molitor* L.

Les résultats sont présentés en courbes (voir les traits fins).

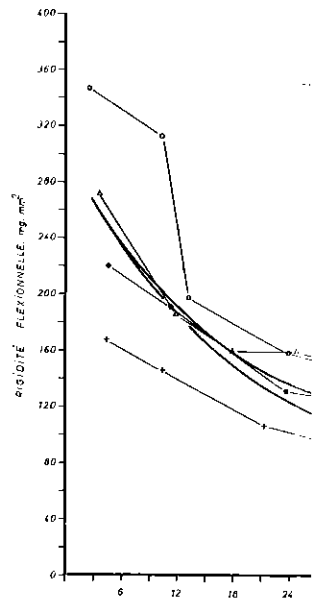


FIG. 2. — Courbe des variations de la rigidité flexionnelle en fonction des flèches, chez *Rhagonicha fulva* Scop. o---o : premier individu o----o : deuxième individu Δ----Δ : troisième individu +----+ : quatrième individu = = = : Cm Courbe des valeurs de contrôle Cmc Courbe des valeurs de contrôle

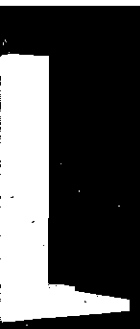
1. Description et interprétation.

Chaque courbe en trait fin représente la rigidité flexionnelle d'une languette élytrale obtenue pour des élytres d'une espèce donnée.

Nous remarquons que la rigidité flexionnelle diminue sensiblement au cours de l'expérience, en fonction de la durée de l'expérience.

Il semblerait donc que la rigidité flexionnelle diminue en fin d'expérience. Il n'en

barre transversale et repose en plexiglas est vissé solidement supérieure et porte à passer la pince portant l'élytre. Le fait que la pince ne provoque de dommages n'avons jamais eu à utiliser donc considérer que l'erreur lors des essais de flexion est



Élytres à la potence.

de la faune belge. Les résultats obtenus à l'expérience, à une température de moins dix degrés, afin d'éviter toute déshydratation. Nous avons en outre réhydratés, fournissaient des résultats obtenus au moyen

EXPERIMENTAUX.

un échantillon étendu d'espèces différentes. Dans ce but, nous avons expérimentés plusieurs spécimens d'une espèce donnée. Les quatre individus d'une espèce donnée (*Rhagonycha fulva Scop.*, et ceux

de trois individus d'une espèce à téguments « durs » : *Tenebrio molitor L.*

Les résultats sont présentés dans les figures 2 et 3 (courbes en traits fins).

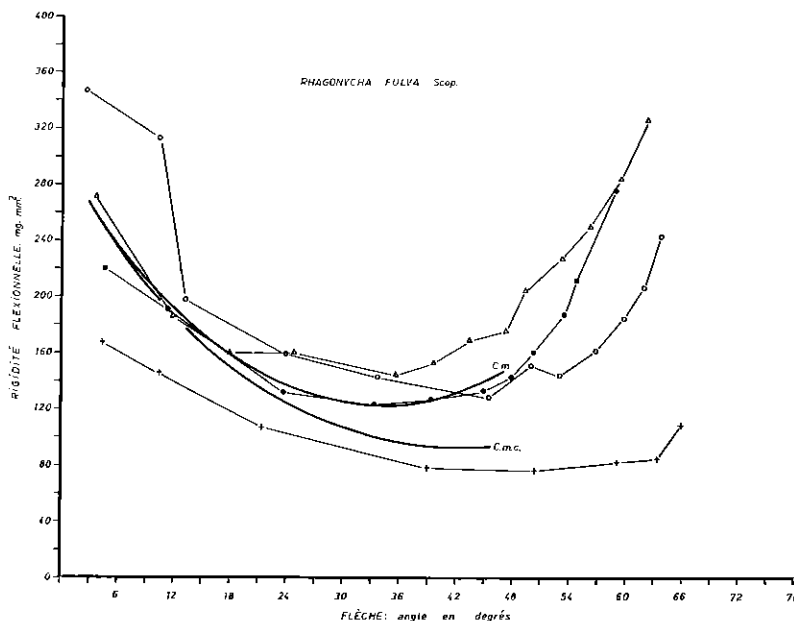


FIG. 2. — Courbe des variations des rigidités flexionnelles des élytres en fonction des flèches, chez *Rhagonycha fulva* SCOP.

- : premier individu
- : deuxième individu
- △---△ : troisième individu
- +---+ : quatrième individu
- == : Cm Courbe des valeurs moyennes
- == : Cmc Courbe des valeurs moyennes, corrigée.

1. Description et interprétation des courbes.

Chaque courbe en trait fin représente les variations de rigidité flexionnelle d'une languette élytrale en fonction de sa flèche. L'allure des courbes obtenues pour des élytres d'individus différents est semblable pour une espèce donnée.

Nous remarquons que la rigidité flexionnelle diminue, qu'elle se stabilise ensuite à une certaine valeur et qu'enfin elle augmente en fin d'expérience, en fonction de l'augmentation de la force de flexion appliquée.

Il semblerait donc que la rigidité flexionnelle soit beaucoup plus forte en fin d'expérience. Il n'en est cependant rien (voir fig. 4).

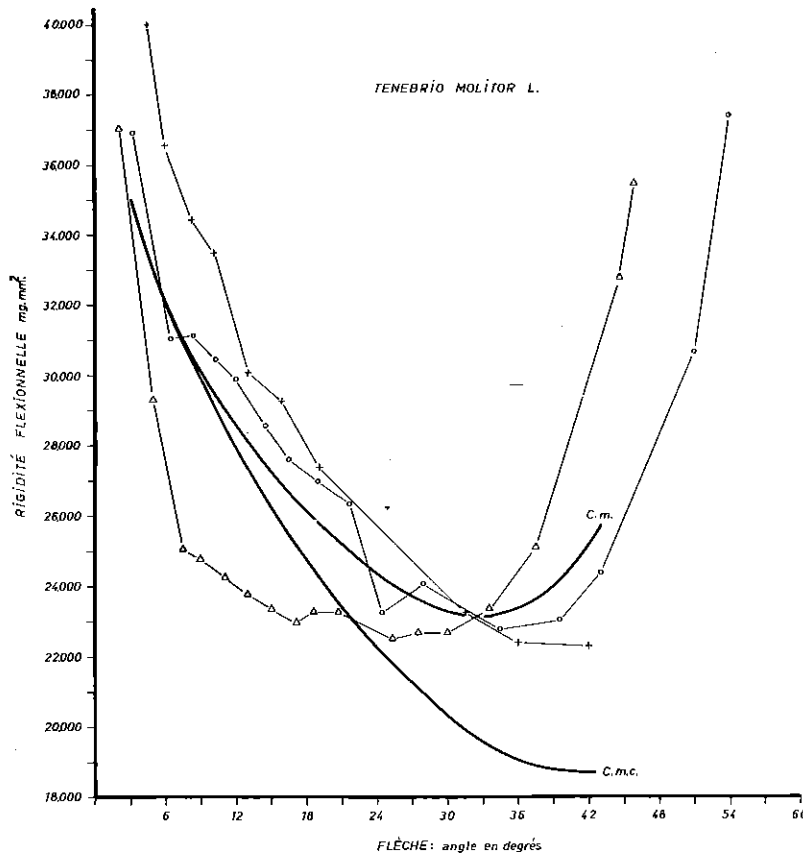


FIG. 3. — Courbe des variations des rigidités flexionnelles des élytres en fonction des flèches, chez *Tenebrio molitor* L.

o—o : premier individu
 o—o : deuxième individu
 Δ—Δ : troisième individu
 = = = : C.m. courbe des valeurs moyennes
 - - - : C.m.c. courbe des valeurs moyennes, corrigée.

La force qui soumet l'élytre à la flexion est la force perpendiculaire à la surface de la languette. Or, cette force est égale à celle que nous suspendons à l'extrémité de la languette uniquement lorsque celle-ci n'accuse pas de flèche (P). Dès que l'extrémité de la languette s'est déplacée, la force suspendue (P) se décompose en deux autres forces, l'une perpendiculaire à la languette qui est la force agissante dans les essais de flexion (N), et l'autre parallèle à la languette, qui soumet celle-ci à une force de traction (T) (fig. 4).

La nouvelle force de flexion (N) est donc égale à la force suspendue multipliée par le cosinus de l'angle de la flèche



$$N = P \cos \varphi.$$

Nous avons corrigé nos courbes (fig. 3, trait gras C.m.c.).

Nous constatons dès lors que la rigidité flexionnelle en fonction de la flèche

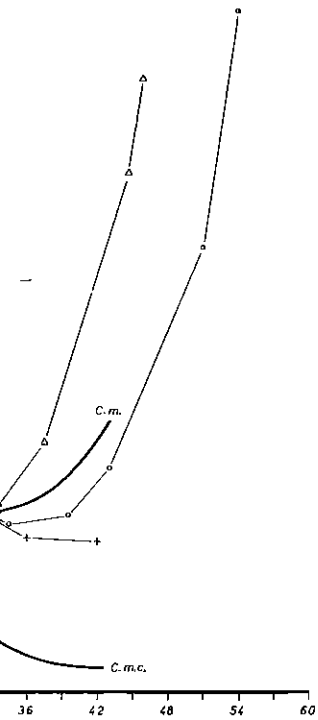
2. Comparaison des valeurs de rigidité flexionnelle à un angle donné.

De l'analyse des courbes on voit que les valeurs des rigidités flexionnelles pour des angles de 10° à 20° sont les plus faibles, c'est dans cette partie de la courbe que les valeurs obtenues pour des angles de 10° à 20° sont les plus petites et que les forces de tractions nécessaires pour cet angle, est plus grande. Il reprend exactement sa valeur initiale. Il suit donc parfaitement la loi de la force. Il suit donc parfaitement la loi de la force.

Les valeurs des rigidités flexionnelles inférieures à 10° sont les plus faibles, ces valeurs sont approximativement égales à la rigidité flexionnelle pour représenter la rigidité flexionnelle.

Par conséquent, nous constatons que la rigidité flexionnelle corrigée est plus élevée que la rigidité flexionnelle non corrigée.

Nous observons au sein de la population individuelle de la rigidité flexionnelle des languettes élytrales. Nous constatons un écart maximum à la moyenne. L'écart est de 12 % chez



rités flexionnelles des élytres
OR L.

corrigée.

est la force perpendiculaire à
st égale à celle que nous sus-
uement lorsque celle-ci n'ac-
de la languette s'est déplacée,
x autres forces, l'une perpen-
ante dans les essais de flexion
soumet celle-ci à une force

c égale à la force suspendue
èche

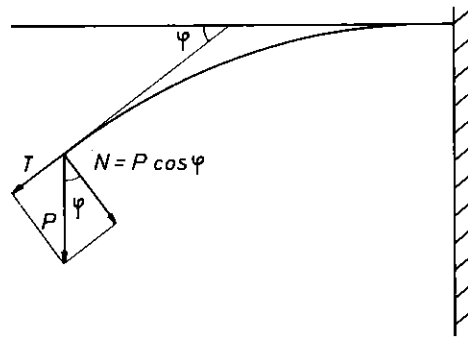


FIG. 4.

$$N = P \cos \varphi.$$

Nous avons corrigé nos courbes en appliquant cette formule (fig. 2 et 3, trait gras Cmc).

Nous constatons dès lors une diminution régulière de la rigidité flexionnelle en fonction de la flèche, du début jusqu'à la fin de l'expérience.

2. Comparaison des valeurs de la rigidité flexionnelle pour un angle donné.

De l'analyse des courbes des figures 2 et 3, nous concluons que les valeurs des rigidités flexionnelles correspondant à des flèches de 10° à 20° sont les valeurs les plus représentatives. En effet, c'est dans cette partie de la courbe que les différences entre les valeurs obtenues pour des élytres d'individus d'une même espèce sont les plus petites et que les corrections à apporter à la suite des forces de tractions sont les plus faibles. De plus, l'élytre, pour cet angle, est parfaitement élastique c'est-à-dire qu'il reprend exactement sa position initiale après suppression de la force. Il suit donc parfaitement la loi de Hooke.

Les valeurs des rigidités flexionnelles pour des angles de flexion inférieurs à 10° sont difficilement mesurables. Dès lors, ces valeurs sont approximatives et ne peuvent être utilisées pour représenter la rigidité flexionnelle de l'élytre.

Par conséquent, nous proposons de choisir la valeur de la rigidité flexionnelle correspondant à une flèche de 15° pour mesurer la rigidité flexionnelle de l'élytre d'une espèce donnée.

Nous observons au sein d'une même espèce une certaine variabilité individuelle de la valeur de la rigidité flexionnelle des languettes élytrales. Nous trouvons chez *Rhagonycha fulva* un écart maximum à la moyenne ($\bar{X} = 170 \text{ mg.mm}^2$) de 25 %; cet écart est de 12 % chez *Tenebrio molitor*. ($\bar{X} = 25,500 \text{ mg.mm}^2$).

3. Constance de la valeur du module de Young.

Pour obtenir le module de Young, il suffit de diviser la valeur de la rigidité flexionnelle par le moment d'inertie qui, dans le cas d'une languette rectangulaire, est égal au douzième du produit de la largeur par le cube de l'épaisseur.

Afin de pouvoir comparer les différents téguments étudiés, nous avons ramené tous les résultats à des languettes d'un millimètre de large. Dès lors, il suffit de diviser la valeur de la rigidité flexionnelle par le douzième du cube de l'épaisseur de l'élytre pour obtenir le module de Young.

Les épaisseurs ont été mesurées sur des coupes histologiques réalisées à partir des languettes qui ont été soumises aux essais de flexion. Nous avons pu remarquer que les épaisseurs des élytres variaient légèrement d'un individu à l'autre au sein d'une même espèce. Ainsi nous avons mesuré des épaisseurs de 11,2 μ , 11 μ et 10,5 μ chez *Rhagonycha fulva* et des épaisseurs de 90 μ , 88,5 et 90 μ chez *Tenebrio molitor*.

Nous observons, au sein d'une même espèce, pour des individus différents, une grande constance de la valeur du module de Young pour une flèche de 15°. Chez *Rhagonycha fulva*, les valeurs mesurées ont été respectivement de 1.480, 1.530, 1.640 et 1.780, soit un écart maximum à la moyenne (1.610) de 10,8 %. Chez *Tenebrio molitor*, nous avons enregistré les valeurs suivantes : 410, 470 et 490, soit un écart maximum à la moyenne (450) de 10,3 %.

Il semble donc que les valeurs mesurées à partir d'un individu pris au hasard dans une population, peuvent être considérées comme représentatives de l'espèce étudiée.

B. — Etude comparée.

1. Rigidité flexionnelle comparée des élytres.

Les résultats obtenus par l'étude de 35 espèces différentes de Coléoptères sont présentés dans le tableau I. Lorsque plusieurs essais ont été réalisés, la valeur de la rigidité flexionnelle indiquée dans le tableau est la moyenne des valeurs obtenues lors des différents essais.

Discussion.

A l'exception des espèces appartenant aux genres *Phausis*, *Cantharis* et *Malachius*, toutes les rigidités flexionnelles ont été mesurées à partir de languettes découpées dans les élytres.

TABLEAU I. — Propriétés physiques des espèces sont classées dans l'ordre

N°	Espèce
<i>Espèces à téguments « souples »</i>	
1.	<i>Phausis splendidula</i> L.
2.	<i>Cantharis livida</i> L.
3.	<i>Cantharis pellucida</i> Fab.
4.	<i>Malachius bipustulatus</i> L.
5.	<i>Rhagonycha fulva</i> Scop.
6.	<i>Pyrochroa coccinea</i> L.
<i>Espèces à téguments « rigides »</i>	
7.	<i>Cicindela germanica</i> L.
8.	<i>Stenopterus rufus</i> L.
9.	<i>Oedemera caerulea</i> L.
10.	<i>Ampedus sanguinoletus</i> Schr.
11.	<i>Anchonemus assimilis</i> Payk.
12.	<i>Stenostoma rostratum</i> F.
13.	<i>Sphaeridium scarabaeoides</i> L.
14.	<i>Trichius rosaceus</i> (Voet)
15.	<i>Creophilus maxillosus</i> L.
16.	<i>Rantus notatus</i> F.
17.	<i>Ophonus pubescens</i> Müll.
18.	<i>Athous longicollis</i> Oliv.
19.	<i>Hister cadaverinus</i> Hoffm.
20.	<i>Athous obscurus</i> Payk.
21.	<i>Rantus bistriatus</i> Bergst.
22.	<i>Silpha sinuata</i> L.
23.	<i>Feronia maura</i> Buft.
24.	<i>Aphodius fossor</i> L.
25.	<i>Tenebrio molitor</i> L.
26.	<i>Agriotes pilosus</i> Panzer.
27.	<i>Amara ovata</i> F.
28.	<i>Hydrobius fuscipes</i> L.
29.	<i>Leptura fulva</i> de G.
30.	<i>Cassida viridis</i> L.
31.	<i>Necrophorus vestigator</i> Herbst.
32.	<i>Silpha sinuata</i> L.
33.	<i>Chrysomela sanguinoleta</i> L.
34.	<i>Procrustes coriaceus</i> L.
35.	<i>Timarcha tenebricosa</i> F.

(*) Les nombres entre parenthèses r partir de celles obtenues pour des ély

de Young.

suffit de diviser la valeur
ment d'inertie qui, dans le
égal au douzième du pro-
sisseur.

érents téguments étudiés,
des languettes d'un milli-
diviser la valeur de la rigi-
cube de l'épaisseur de
ng.

des coupes histologiques
nt été soumises aux essais
er que les épaisseurs des
idu à l'autre au sein d'une
é des épaisseurs de 11,2 μ,
et des épaisseurs de 90 μ.

ne espèce, pour des indivi-
de la valeur du module de
z *Rhagonycha fulva*, les
ent de 1.480, 1.530, 1.640
oyenne (1.610) de 10,8 %.
enregistré les valeurs sui-
maximum à la moyenne

ées à partir d'un individu
peuvent être considérées
diée.

élytres.

35 espèces différentes de
bleau I. Lorsque plusieurs
rigidité flexionnelle indi-
s valeurs obtenues lors des

nant aux genres *Phausis*,
dités flexionnelles ont été
ées dans les élytres.

TABLEAU I. — Propriétés physiques comparées des élytres de Coléoptères.
Les espèces sont classées dans l'ordre croissant de la rigidité flexionnelle des élytres.

N°	Espèce	Famille	Rigid. flexionnelle (pour une flèche) de 15 % en mg. mm ²		Mod. de Young (même flèche), en Kg/mm ²	
			avec épi- pleures	sans épi- pleures	avec épi- pleures	sans épi- pleures *
<i>Espèces à téguments « souples »</i>						
1.	<i>Phausis splendidula</i> L.	Lampyridae	22	—	2.000	1.336
2.	<i>Cantharis livida</i> L.	Cantharidae	66	—	1.900	(1.270)
3.	<i>Cantharis pellucida</i> Fab.	»	94	—	2.300	(1530)
4.	<i>Malachius bipustulatus</i> L.	Melyridae	100	—	186	(124)
5.	<i>Rhagonycha fulva</i> Scop.	Cantharidae	170	120	1.610	1082
6.	<i>Pyrochroa coccinea</i> L.	Pyrochoidae	—	191	—	889
<i>Espèces à téguments « rigides »</i>						
7.	<i>Cicindela germanica</i> L.	Cicindelidae	—	1.706	—	758
8.	<i>Stenopterus rufus</i> L.	Cerambycidae	—	2.625	—	590
9.	<i>Oedemera caerulea</i> L.	Oedemeridae	—	3.166	—	970
10.	<i>Ampedus sanguinoletus</i> Schr.	Elateridae	—	4.519	—	847
11.	<i>Anchonemus assimilis</i> Payk.	Carabidae	—	5.000	—	1.030
12.	<i>Stenostoma rostratum</i> F.	Oedemeridae	—	5.759	—	1.364
13.	<i>Sphaeridium scarabaeoides</i> L.	Hydrophilidae	—	6.250	—	620
14.	<i>Trichius rosaceus</i> (Voet)	Scarabaeidae	—	8.333	—	458
15.	<i>Creophilus maxillosus</i> L.	Staphylinidae	—	9.083	—	540
16.	<i>Rantus notatus</i> F.	Dystiscidae	—	9.416	—	800
17.	<i>Ophonus pubescens</i> Müll.	Carabidae	—	11.500	—	936
18.	<i>Athous longicollis</i> Oliv.	Elateridae	—	12.541	—	1.205
19.	<i>Hister cadaverinus</i> Hoffm.	Histeridae	—	14.000	—	790
20.	<i>Athous obscurus</i> Payk.	Elateridae	—	15.776	—	1.130
21.	<i>Rantus histriatus</i> Bergst.	Dystiscidae	—	16.250	—	1.110
22.	<i>Silpha sinuata</i> L.	Silphidae	—	16.291	—	960
23.	<i>Feronia maura</i> Buft.	Carabidae	—	16.626	—	1.133
24.	<i>Aphodius fossor</i> L.	Scarabaeidae	—	19.047	—	695
25.	<i>Tenebrio molitor</i> L.	Tenebrionidae	—	26.500	—	450
26.	<i>Agriotes pilosus</i> Panzer.	Elateridae	—	25.416	—	1.222
27.	<i>Amara ovata</i> F.	Carabidae	—	25.666	—	1.120
28.	<i>Hydrobius fuscipes</i> L.	Hydrophilidae	—	27.851	—	1.162
29.	<i>Leptura fulva</i> de G.	Cerambycidae	—	31.833	—	598
30.	<i>Cassida viridis</i> L.	Chrysomelidae	—	36.391	—	1.122
31.	<i>Necrophorus vestigator</i> Herbst.	Silphidae	—	43.400	—	1.234
32.	<i>Silpha sinuata</i> L.	Silphidae	—	44.055	—	1.114
33.	<i>Chrysomela sanguinolenta</i> L.	Chrysomelidae	—	72.500	—	990
34.	<i>Procrustes coriaceus</i> L.	Carabidae	—	222.248	—	651
35.	<i>Timarcha tenebricosa</i> F.	Chrysomelidae	—	357.500	—	740

(*) Les nombres entre parenthèses représentent des valeurs calculées à partir de celles obtenues pour des élytres avec épipleures.

Lorsque nous coupons les épipleures des élytres de *Phausis*, *Rhagonycha*, *Cantharis* et *Malachius*, les languettes se tordent et ne conservent jamais une surface plane. Il nous a, par conséquent, été très malaisé de calculer les rigidités flexionnelles. Nous sommes cependant arrivés à déterminer la valeur de la rigidité flexionnelle sur une languette découpée dans un élytre de *Rhagonycha fulva*. Cette valeur, pour une flèche de 15° , est de 120 mg.mm^2 . Nous avons refait la même expérience, en utilisant un élytre entier, et nous avons mesuré une rigidité flexionnelle de 170 mg.mm^2 . Cela signifie que la présence des épipleures chez *Rhagonycha* n'augmente la rigidité flexionnelle que de 50 mg.mm^2 , soit 42 %, ce qui n'est pas considérable. Nous avons, dès lors, décidé de mesurer également la rigidité flexionnelle chez *Phausis*, *Malachius* et *Cantharis*, à partir d'élytres entiers, en admettant que la rigidité flexionnelle est, en première approximation, augmentée de plus ou moins 50 % par rapport à une languette élytrale sans épipleure.

Bien que, chez certaines espèces, la présence des épipleures augmente la rigidité flexionnelle, nous remarquons que les espèces appartenant aux genres *Phausis*, *Malachius*, *Rhagonycha*, *Cantharis* et *Pyrochroa* forment un groupe bien distinct des autres Coléoptères. Nous y retrouvons précisément les espèces que les anciens systématiseurs avaient réunies sous le nom de Malacodermes, mais aussi *Pyrochroa coccinea* L., Coléoptère hétéromère, totalement différent des Malacodermes par une série d'autres caractères morphologiques.

Cependant, entre ce groupe des Malacodermes et les Coléoptères caractérisés par de très grandes rigidités flexionnelles, tels que *Procrustes coriaceus* L. (222.248 mg.mm^2) et *Timarcha tenebricosa* F. (357.500 mg.mm^2), nous trouvons toute une série d'espèces dont les rigidités flexionnelles vont croissant. La première de ces espèces est *Cicindela germanica* L. qui, avec une rigidité flexionnelle de 1.706 mg.mm^2 , se situe donc assez près du premier groupe.

Conclusion.

Nous pouvons préciser la notion de tégument « mou » et de tégument « dur » en lui donnant une dimension chiffrée. Les espèces considérées comme « Malacodermes » se distinguent en effet nettement des autres Coléoptères par des rigidités flexionnelles comprises entre 20 et 200 mg.mm^2 , pour une flèche de 15° . Les élytres des autres Coléoptères, non Malacodermes, présen-

tent, pour une même flèche, des rigidités flexionnelles variables, allant de 100 à 1000 mg.mm^2 , soit de 10 à 100 fois plus que les Malacodermes, et parfois moins dix fois supérieures.

2. Module de Young

Les résultats de l'étude de la rigidité de la cuticule élytrale de 33 espèces de Coléoptères sont résumés dans le tableau I. Ces résultats sont comparés au module de Young (valeur calculée pour la majorité des Coléoptères) dans cette gamme de rigidités flexionnelles. (JENSEN et WEIS-FOGH, 1954, *Schistocerca gregaria*).

Cependant, en ce qui concerne les genres *Rhagonycha*, *Cantharis*, *Phausis* et *Pyrochroa*, des expériences ont été réalisées pour déterminer la séquence de modification du module de Young. Ces expériences ont été réalisées en présence des épipleures chez *Rhagonycha* dans la mesure où, par le fait même dans ces genres, les épipleures sont présentes.

Nous pouvons donc constater que la grandeur affectée par la présence des épipleures chez *Cantharis*, *Phausis* et *Pyrochroa* est que les valeurs approchées du module de Young des élytres sans épipleures sont de 100 mg.mm^2 , pour *Cantharis*, *Phausis splendidula* et *Pyrochroa bipustulatus* L. de 100 à 1000 mg.mm^2 introduites entre parenthèses.

Discussion.

Les valeurs du module de Young sont comparées chez les différents Coléoptères.

Le module de Young des élytres des autres Coléoptères, à l'exception de *Malachius*, est toujours supérieur à celui des élytres des autres Coléoptères, les valeurs les plus élevées sont celles de *Procrustes coriaceus* L. et *Timarcha tenebricosa* F.

La valeur du module de Young des élytres des autres Coléoptères, non Malacodermes, attire l'attention : elle se situe généralement en dehors des valeurs observées chez les Malacodermes. Nous pouvons donc constater que les élytres des autres Coléoptères, non Malacodermes, présentent des rigidités flexionnelles et des modules de Young supérieurs à ceux des Malacodermes.

des élytres de *Phausis*, les languettes se tordent. Il nous a, par conséquent, des rigidités flexionnelles. Nous avons mesuré la valeur de la rigidité flexionnelle dans un élytre de *Phausis* pour une flèche de 15° , est de 1.336 kg/mm². Cette expérience, en utilisant une rigidité flexionnelle de 1.336 kg/mm², en présence des épipleures, a permis de constater que la rigidité flexionnelle que de *Phausis* n'est pas considérable. Nous avons mesuré la rigidité flexionnelle de *Cantharis*, à partir d'élytres sans épipleures. La rigidité flexionnelle est, en présence ou moins 50 % par rapport à l'élytre sans épipleure.

En présence des épipleures, nous remarquons que les élytres de *Malachius*, *Rhagonycha*, *Phausis* et *Cantharis* forment un groupe bien distinct des élytres sans épipleures. Nous avons mesuré précisément les espèces de *Phausis* réunies sous le nom de *Phausis coccinea* L., Coléoptère Malacoderme par une série

de mesures des rigidités flexionnelles, tels que *Phausis coccinea* L. (1.336 kg/mm²) et *Timarcha tenebrionis* L. (1.270 kg/mm²). Nous avons mesuré toute une série d'espèces de rigidités flexionnelles croissant. La première est *Phausis coccinea* L. qui, avec une rigidité flexionnelle de 1.336 kg/mm², est donc assez près du pre-

mière degré « mou » et de dimension chiffrée. Les Malacodermes se distinguent en présence de rigidités flexionnelles élevées, pour une flèche de 15° . Les Malacodermes, présen-

tent, pour une même flèche, des rigidités flexionnelles très variables, allant de 1.700 à 350.000 mg/mm², mais toujours au moins dix fois supérieures à celles des « Malacodermes ».

2. Module de Young des élytres.

Les résultats de l'étude comparée du module de Young de la cuticule élytrale de 35 espèces différentes sont présentés dans le tableau I. Ces résultats montrent que la valeur du module de Young (valeur calculée sur des élytres sans épipleures) se situe pour la majorité des Coléoptères entre 450 et 1.364 kg/mm². C'est dans cette gamme de valeurs que s'inscrit le résultat obtenu par JENSEN et WEIS-FOGH (1962) pour la cuticule sclérifiée du Criquet *Schistocerca gregaria* ($E = 960/\text{mm}^2$).

Cependant, en ce qui concerne les espèces appartenant aux genres *Rhagonycha*, *Cantharis*, *Phausis* et *Malachius*, les expériences ont été réalisées sur des élytres entiers, ce qui a pour conséquence une modification de la rigidité flexionnelle et du module de Young. Comme nous l'avons vu précédemment, la présence des épipleures a introduit une erreur de 42 % chez *Rhagonycha* dans la détermination de la rigidité flexionnelle et par le fait même dans le module de Young.

Nous pouvons donc supposer que des erreurs du même ordre de grandeur affectent les valeurs du module de Young chez *Cantharis*, *Phausis* et *Malachius*. Cela nous amène à admettre que les valeurs approximatives des modules de Young pour les élytres sans épipleures sont pour *Cantharis livida* L. de 1.270 kg/mm², pour *Cantharis pellucida* Fab. de 1.530 kg/mm², pour *Phausis splendidula* L. de 1.336 kg/mm² et pour *Malachius bipustulatus* L. de 124 kg/mm². Ces valeurs calculées ont été introduites entre parenthèses dans le tableau I.

Discussion.

Les valeurs du module de Young diffèrent relativement peu chez les différents Coléoptères.

Le module de Young des élytres des « Malacodermes », à l'exception de *Malachius*, est très voisin du module de Young des élytres des autres Coléoptères; il se situe même dans la gamme des valeurs les plus élevées.

La valeur du module de Young de *Malachius* attire notre attention : elle se situe anormalement bas et totalement en dehors des valeurs obtenues pour l'ensemble des Coléoptères étudiés. Nous pouvons donc conclure que le matériau constitutif de

l'élytre de *Malachius* est beaucoup moins rigide que celui des autres Coléoptères.

3. Conclusions générales.

1° Nous avons mis au point un dispositif de mesure permettant l'étude de la rigidité flexionnelle et du module de Young des élytres de Coléoptères. Cela nous a permis de confirmer les différences de rigidité flexionnelle existant entre les « Malacodermes » et les autres Coléoptères. Toutefois, *Pyrochroa coccinea* possède des téguments aussi peu rigides que ceux des « Malacodermes ».

2° Le calcul du module de Young, qui ne dépend que de la nature du matériau cuticulaire, nous donne des résultats relativement homogènes. L'étude comparée des modules de Young montre que les téguments des « Malacodermes », à l'exception de *Malachius*, sont composés du même matériau que chez les autres Coléoptères.

3° Il s'ensuit que les variations de rigidité flexionnelle, chez la majorité des Coléoptères étudiés, y compris les Malacodermes, ne sont dues qu'à des différences d'épaisseur des cuticules élytrales.

4. Par contre, la faible rigidité flexionnelle des téguments de *Malachius* est due non pas à une réduction de leur épaisseur, mais bien à une diminution de la rigidité du matériau cuticulaire proprement dit.

5. Ces conclusions sont en bon accord avec les résultats de l'étude comparée de la structure anatomique des élytres des Coléoptères, qui feront l'objet d'une prochaine publication.

SUMMARY.

A method has been improved in order to estimate the flexural rigidity and the Young's Modulus of the elytrae of 35 species of Coleoptera. The data of flexural rigidity obtained in the case of genera belonging to the so called « Malacodermata » (in the meaning of LATREILLE) and of *Pyrochroa* are comprised between 20 and 200 mg.mm², whereas those of other Coleoptera are considerably higher (between 1,700 and 357,000 mg.mm²).

However, the values of the Young's Modulus are nearly always comprised between 500 and 1,300 kg/mm². This observation confirms the opinion that rigidity differences between « Malacodermata » (with soft integuments) and « hard » Coleoptera, only rely upon the relative thickness of the integument. Quite different is the case of *Malachius bipustulatus*, in which the very low Young's Modulus value indicate a peculiar constitution of the elytra.

JENSEN, M. et WEIS-FOGH
Ser. B., 245, 137-169.
LOCKE, M. (1964). — In F
III, 379-470.
MASSONET, Ch. (1960). —
tres, Liège.

BIBLIOGRAPHIE.

- JENSEN, M. et WEIS-FOGH, T. (1962). — *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, Ser. B., 245, 137-169.
- LOCKE, M. (1964). — In Rockstein, M., édit. : *The Physiology of Insecta*, III, 379-470.
- MASSONET, Ch. (1960). — *Résistance des Matériaux*; Ed. Sciences et Lettres, Liège.

NIAUX

oins rigide que celui des

positif de mesure permet-
et du module de Young
permis de confirmer les
stant entre les « Malaco-
cefois, *Pyrochroa coccinea*
s que ceux des « Malaco-

qui ne dépend que de la
onne des résultats relative-
des modules de Young
codermes », à l'exception
e matériau que chez les

idité flexionnelle, chez la
mpriés les Malacodermes,
l'épaisseur des cuticules

onnelle des téguments de
uction de leur épaisseur,
idité du matériau cuticu-

ord avec les résultats de
tomique des élytres des
rochaine publication.

estimate the flexural rigidity
5 species of Coleoptera. The
of genera belonging to the
(of LATREILLE) and of Pyro-
mm², whereas those of other
1,700 and 357,000 mg.mm²).
ulus are nearly always com-
his observation confirms the
malacodermata» (with soft inte-
upon the relative thickness
e of *Malachius bipustulatus*,
ie indicate a peculiar consti-