

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA GÉOMÉTRIE ALAIRE DU GENRE CALOPTERYX (ODONATES) *

Jean Brémond **

Rebut: gener 1976
Acceptat: agost 1978

RESUM

Contribució a l'estudi de la geometria alar del gènere *Calopteryx* (Odonats)

En aquest treball s'ha investigat la funció de la corba alar tenint com a base la utilització dels punts tangents i perpendiculars que coincideixen amb l'anatomia i els àpexs alars.

El contorn alar de *Calopteryx* ha estat comparat amb una el·lipse pròpiament dita. La conclusió que se n'ha tret és que la coincidència és molt feble. Hi ha una certa variabilitat de les corbes en funció del sexe i de les espècies al gènere *Calopteryx*, i el màxim de curvatura correspon a *Calopteryx virgo*. Gràcies també a aquest mètode, s'obté una classificació que permet d'agrupar mascles i femelles de les tres espècies del gènere.

L'interès d'aquestes investigacions està en el fet que es poden aplicar aquestes fórmules a tots els Odonats. Aquest tipus de geometria permet de comparar el desplaçament de l'àpex posterior en la sèrie dels Odonats, el qual desplaçament va molt lligat amb el valor funcional propi de cada espècie. L'estudi de la morfologia sota aquest punt de vista permet de posar en evidència els fenòmens d'eixamplament, aprimament, rectangularització i triangularització alar.

A través de les diverses famílies de Zigòpters és possible de constatar una clara orientació cap a la rectangularització, cosa que és particularment visible en el cas de *Lestes* i *Agron*.

En el cas dels Anisòpters, trobem a l'ala anterior una rectangularització que és reflex d'una adaptació a un vol extremadament ràpid. En el cas de l'ala posterior, hi ha una tendència a la triangularització. En els Anisozigòpters es dona una posició geomètrica intermèdia.

En el pla sistemàtic, els caràcters compostos coincideixen amb els de la geometria alar, tal com evidenciem en els anisòpters *Gomphidae* i *Chlorogomphidae*.

SÉLYS-LONGCHAMPS (1889) considerava *Palaeophlebia superstes* un *Calopterygidae*, la qual cosa confirma els valors geomètrics trobats i remarca una certa unitat entre tots dos subordres. S'ha assenyalat també l'arcaisme als *Gomphidae*, i la geometria alar torna a accentuar les opinions precedents. Gràcies a aquests caràcters, podem donar una interpretació de les relacions entre els Odonats. L'arquitectura alar que varia des dels Zigòpters als Anisòpters, i que conserva certs caràcters intermedis dels Anisozigòpters i els Gònfids, denota una tendència evolutiva morfològica en estreta relació amb el valor funcional de les ales.

* Seconde partie d'une thèse de Doctorat d'Université présentée à la Faculté des Sciences de Paris le 13-XII-1971, sous le titre «Contribution à l'étude de la nervation et de la géométrie alaire du genre *Calopteryx* (Odonates)».

** Laboratoire d'Anatomie Comparée. Muséum National d'Histoire Naturelle. 75005. Paris.

Les ailes que bateguen lentament són del tipus de nansa i caracteritzen els insectes més arcaics. Els Anisòpters tenen una certa tendència a la triangularització i són adaptats a la velocitat. La presència d'una arquitectura de tipus arcaic en certs neuròpters (**Myrmeleo**, **Ascalaphus**, **Hemerobius**) i protomecòpters (**Notiothaumidae**) prova les relacions evidents entre l'activitat funcional i la morfologia alar.

Els **Calopterygidae** representen, per a nosaltres, el grup que conté els valors morfològics més generals als Odonats, que es palesen particularment per la geometria alar.

Els punts capitals que acabem d'examinar posen l'accent sobre la importància d'una «geometria comparada» que ens doni alguns mitjans eficaços de mesures morfològiques i funcionals.

INTRODUCTION

Par la présente étude nous avons pénétré dans un domaine jusqu'à présent peu connu chez les Insectes, et semble-t-il, ignoré dans l'Ordre qui nous intéresse: celui de la géométrie alaire.

J. LOUIS (1965-66, 1969) avait abordé l'étude de la géométrie alaire chez les Hyménoptères Mellifères et chez l'abeille en particulier en faisant porter surtout ses efforts sur la «cohérence» existant entre les nervations longitudinales et transversales.

Nous ne connaissons pas d'autres auteurs ayant consacré leurs recherches à ce sujet.

Personnellement nous avons orienté nos recherches en partant d'un point de vue différent, c'est-à-dire en axant toute notre attention sur le contour alaire et les grandes lignes des aires et champs qu'il limite.

Nous avons ensuite appliqué ces méthodes, après les avoir expérimentées sur les *Calopterygidae*, aux autres odonates.

Les observations et les conclusions d'ordre géométrique, systématique et phylogénique qui en résultent, nous ont paru d'un intérêt suffisant pour être rapportées

MATÉRIEL ET TECHNIQUES

Comme pour l'étude de la nervation alaire du genre *Calopteryx* qui constitue la première partie de ce travail (BRÉMOND, 1971), le matériel utilisé a quatre origines:

— Collections du Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, pour la mise au point du genre *Calopteryx*.

— Collection personnelle pour la grande majorité des *Calopteryx*, *Lestes*, *Agrion*, *Orithetrum* et *Anax*.

— Les documents que nous avons emprunté à l'ouvrage de FRASER (1957) pour les figures représentant les exemplaires qui nous manquaient.

— La reproduction donnée par SÉLYS-LONGCHAMPS pour *Epiophlebia superstes* (1888).

Nous avons utilisé pour désigner l'origine du matériel des abréviations qui figurent dans le tableau de la systématique des Odonates.

C.P.=Collection personnelle.

C.M.=Collection entomologique du Muséum.

Fr.=Ouvrage de FRASER.

S.L.=Étude de SÉLYS-LONGCHAMPS.

Les techniques utilisées ont nécessité l'usage des appareils suivants:

— La loupe binoculaire ($\times 40$) pour l'étude de la nervation et de la topographie alaire.

— Le microscope ($\times 150$) pour l'étude des rapports morphologiques entre les différents groupes de nervures.

— L'agrandisseur photographique, qui grâce à la transparence des ailes permet une projection exacte, soit sur papier dessin soit sur papier photographique. Dans le dernier cas, après passage au révélateur ordinaire, on obtient une image précise permettant des mesures aussi exactes que possible.

Nous avons tenu à présenter, dans un ordre systématique, la liste des exemplaires étudiés; c'est cet ordre qui a été suivi particulièrement dans le chapitre consacré à l'application de ces méthodes aux autres odonates.

La systématique adoptée dans ce travail est celle indiquée dans le «Traité de Zoologie» de P. P. GRASSÉ, *Insectes*, T. IX, 1949, dans l'article de L. CHOPARD sur les Odonates.

LISTE DES ESPÈCES ETUDIÉES. (ORDRE DES ODONATES Fabricius 1792).

SOUS ORDRE DES ANISOZYGOPTÈRES Handlirsch, 1903.

- *Heterophlebia buckmani* (Brodéé) (Fr.)
- *Epiophlebia superstes* Sélys (S.L.)

SOUS ORDRE DES ZYGOPTÈRES Sélys, 1840. Super Famille HEMIPHLEBIOIDEA Tillyard, 1926.

- *Hemiphlebia mirabilis* Sélys (Fr.)
- Super Famille COENAGRIOIDEA Tillyard, 1926.

Famille des *Synlestidae* Tillyard, 1926.

- *Synlestes weyersi* Sélys (Fr.)
- Famille des *Lestidae* Sélys 1840.
- *Lestes viridis* (C.P.)

Famille des *Megapodagriidae* Tillyard, 1926.

- *Argiolestes icteromelas* Sélys (Fr.)
- Famille des
- Platystictidae*
- Fraser.

- *Platysticta deccanensis* Laidlaw (Fr.)
- Famille des
- Protoneuridae*
- Tillyard, 1926.

- *Isosticta banksi* (Fr.)
- Famille des
- Coenagriidae*
- Tillyard, 1926.

- *Agrion mercuriale* (C.P.)
- Super Famille des AGRIOIDEA Tillyard,

=CALOPTERYGOIDEA auct.

Famille des *Amphipterygidae*.

- *Diphlebia lestoides* (Sélys) (Fr.)
- Famille des
- Chlorocyphidae*
- .

- *Chlorocypha* Fraser (Fr.)
- Famille des
- Heliocharitidae*
- .

- *Heliocharis* Sélys (Fr.)
- Famille des
- Polythoridae*
- .

- *Polythore derivata* Mac Lachlan (Fr.)
- Famille des
- Epallagidae*
- .

- *Epallage fatima* Charp. (Fr.)
- Famille des
- Agriidae*
- Tillyard, 1926.

- =*Calopterygidae* (Buchecker).

Collection personnelle

Calopteryx haemorrhoidalis, France (♂ et ♀).

Id. *splendens xanthostoma*, France (♂).

Id. *splendens xanthostoma*, France (♂).

Id. *splendens* Harris, 1782, France (♂).

Id. *splendens* Harris, 1782, France (♂).

Id. *splendens* Harris, 1782, France (♀).

Id. *virgo* (Linné, 1758), France (♀).

Id. *virgo* (Linné, 1758), France (♂).

Collection du Muséum

Calopteryx haemorrhoidalis V. d. L. Afr. Nord (♂).

Id. *virgo*, race méridionale (♂).

Id. *virgo*, race septentrionale (♂).

Id. *virgo*, anomalie des ailes. Saintes (♂).

Id. *virgo*, Pologne (♀).

Id. *festiva* Brullé, Salonique (♀).

Id. *festiva* Brullé, Salonique (♂).

Id. *exulans*, Algérie (♂).

Id. *exulans*, Algérie (♀).

Id. *splendens ancilla* Sélys, 1853.

SOUS ORDRE DES ANISOPTÈRES Sélys, 1840.

Super Famille des AECHNOIDEA Tillyard, 1926.

Famille des *Gomphidae* Sélys, 1850.

- *Gomphidae* (Fr.)
- Famille des
- Chlorogomphidae*
- Fraser, 1940.

- *Chlorogomphus campioni* (Fr.)
- Famille des
- Petaluridae*
- Tillyard, 1926.

- *Uropetala* (Fr.)
- Famille des
- Cordulegasteridae*
- Fraser, 1940.

- *Cordulegaster boltini* Donovan (Fr.)
- Famille des
- Aechnidae*
- Sélys, 1850.

- *Anax imperator* (C.P.)
- Super Famille des LIBELLULOIDEA Tillyard, 1926.

Famille des *Corduliidae* Tillyard, 1926.

- *Hemicordulia asiatica* Sélys (Fr.)
- Famille des
- Libellulidae*
- Sélys, 1850.

- *Orthetrum brunneum* (C.P.)

Chapitre I. GÉOMÉTRIE ALAIRE

A. Recherche des bases d'une géométrie alaire chez *Calopteryx* et détermination des principaux points fondamentaux.

1. Cadrage d'une aile.

La bordante de l'aile de *Calopteryx* présente deux parties bien distinctes. La première, presque rectiligne, est indiquée par la nervure costale et va de la base alaire jusqu'à l'apex antérieur, point que nous allons définir. La taille, la forme et l'importance de la costale dans la nervation alaire (la plupart des nervures du champ costal étant en effet parallèles à cette ner-

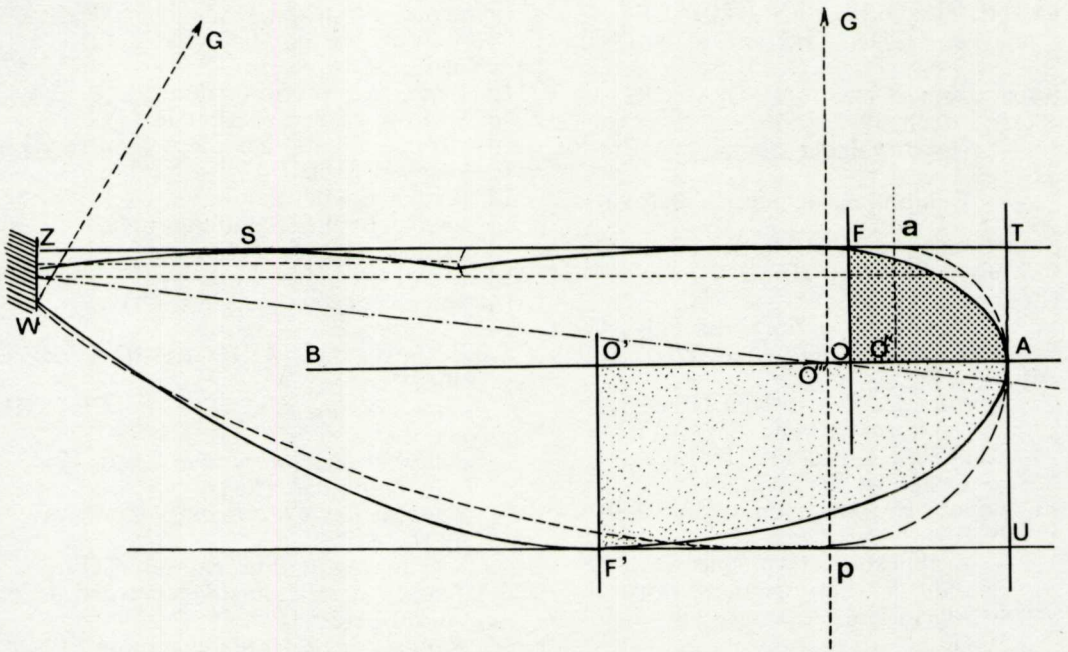


FIG. 1. Cadrage géométrique d'une aile de *Calopteryx*. Ce schéma montre en même temps quelles sont les directrices nécessaires à la construction géométrique simplifiée d'une aile de *Calopteryx* en particulier et d'insecte en général. Ces directrices, qui ont l'avantage de suivre des tracés perpendiculaires et de donner des limites aux régions apicales, donnent aussi les bases architecturales simplifiées d'une aile et sont le point de départ pour la recherche de la valeur d'une courbe inconnue.

vure principale), serviront de base à la construction de notre cadrage.

La deuxième partie de la bordante qui prolonge la costale, correspond à une succession de courbes qui s'accroissent de l'apex antérieur vers l'apex latéral et postérieur dont l'arcature s'atténue vers la base inférieure de l'aile.

La forme allongée de l'aile de *Calopteryx* nous a suggéré l'idée de l'inclure à l'intérieur d'une construction rectangulaire. La nervure costale permettait déjà de connaître, puis de tracer l'un des côtés de ce rectangle. A partir de ce même côté, il devenait alors possible de réaliser le reste de la construction.

La costale se déprime légèrement au niveau du nodus, et une droite étroitement appliquée à la bordante antérieure n'entre en contact avec elle que par deux points tangents, S et F (fig. 1).

Poursuivons le quadrage de l'aile, en traçant une droite perpendiculaire à SF et tangente à la bordante en A, apex latéral. Elle coupe SF en T. Menons ensuite une nouvelle droite perpendiculaire à TA et

tangente à la bordante en F' ou apex postérieur; cette dernière droite parallèle à SF, par construction, coupe TA en U.

Nous avons mis en évidence trois points de contact F, A et F', points tangents géométriques, représentant autant de véritables apex anatomiques. F, apex antérieur; A, apex latéral; F', apex postérieur.

Sachant qu'une seule perpendiculaire peut être abaissée d'un point tangent, menons maintenant de A, une droite AB rigoureusement parallèle à TS, puis de F et de F', deux droites parallèles à TA, qui coupent respectivement AB en O et O'. Par ce système de droites il est possible d'isoler les portions d'arcs décrits par la bordante périphérique de l'aile et de déterminer les principaux axes, nécessaires à leur connaissance géométrique.

Il existe d'importants rapports dans les contours géométriques présentés par les ailes antérieure et postérieure de *Calopteryx* des deux sexes. Aussi, nous estimons que cette régularité morphologique, particulièrement intéressante, doit être signalée et étudiée avec précision.

2. Les apex, points anatomiques et géométriques

Considérons la position des trois apex de l'aile de *Calopteryx*. Ils représentent les points tangents géométriques à trois droites perpendiculaires entre elles, permettant le quadrage de l'aile (fig. 1). Examinons-les successivement:

a) Apex F.

Ce point se situe au maximum de courbure de la costale, nervure qui, la première, entre en contact avec l'air au cours du vol: c'est le bord d'attaque. Elle se trouve renforcée dans cette zone par le rapprochement de la radiale. Le champ costal diminue ainsi vers l'extérieur. Une série successive de renforts transversaux consolide également cette nervure.

b) Apex A.

Ce point obtenu par une tangente à la bordante de l'aile, perpendiculaire à la droite de base accolée à la costale, permet le tracé de l'axe principal AB. Cet axe sépare l'aile en deux régions, antérieure et postérieure, et la bordante en deux courbes AF et AF'. Cet apex peut être matérialisé anatomiquement. Il représente la convergence de la Costale, de la Radiale, de la Médiane 1 et de deux nervures intercalaires de cette dernière. Il semble qu'il y ait nécessité d'un renforcement en ce point.

c) Apex F'.

Il se localise au maximum de convexité de la bordante postérieure de l'aile. Aucune concentration de nervures n'a été relevé en ce point. Bien au contraire, nous assistons à un étalement des nervures intercalaires. Dans la majorité des cas examinés, cet apex se trouve entre la Médiane 5 et la Cubitale (plus précisément au niveau de la quatrième nervure intercalaire, sur les huit existantes). Ici, l'étalement observé s'oppose à la concentration correspondant à l'apex A. Ceci ne peut être mis en relation qu'avec un éventuel rôle mécanique, car l'apex F' se rapproche du Vanus, partie la plus passive de l'aile.

Ces trois points tangents correspondent donc à des repères anatomiques importants.

3. Construction géométrique simplifiée de l'aile de *Calopteryx*

Sur la figure 1 nous avons cherché également à ramener les contours complexes de l'aile de *Calopteryx* à des lignes géo-

métriques simples. La costale est indiquée par une droite, la bordante latérale, d'allure ellipsoïdale, par deux demies circonférences et la bordante postérieure par un arc de cercle.

A partir du point a ($a T=TA$) pris sur le prolongement de la costale, menons une droite perpendiculaire à ZT. Sur celle-ci, prenons la longueur FO, demi largeur antérieure de l'aile de *Calopteryx*, et traçons le 1/4 de cercle $O'' aA$, perpendiculaire à aO'' en O'' , puis du point O''' ($O'''A=AU$) traçons 1/4 de cercle ayant pour rayon $O'F'$. La droite $F'U$ coupe ce cercle en p. Vers l'intérieur la base alaire sera figurée par un segment ZW perpendiculaire à la costale en Z. p et W sont les extrémités d'un arc dont le centre G se trouve sur la droite pO''' et dont le rayon est pG ou WG. Nous obtenons un contour alaire approché.

C'est la représentation la plus simple avant d'aborder des constructions plus complexes et une recherche plus minutieuse des contours exacts de l'aile.

B. Recherche des schémas théoriques correspondant aux différentes courbures de la bordante de l'aile.

1. Essai de coïncidence avec les arcs de fausses ellipses.

Examinons de nouveau la figure 1.

En première approximation, le segment FO perpendiculaire à la demi corde OA, peut être considéré comme une flèche; de même pour le segment $F'O'$, perpendiculaire à la demie corde AO' , qui sous-tend le demi arc postérieur AF'. Ces flèches de sens opposé par rapport à AB sont inégales, la première étant moins élevée que la seconde.

Les courbures FA et AF', dont la différence est accusée notamment par la hauteur de flèche, n'en demeurent pas moins des constructions géométriques apparemment semblables. Chacune d'elles semble correspondre au quart d'une fausse ellipse ou ovale. Aussi, pour trouver les caractéristiques géométriques particulières aux différentes courbures de la bordante de l'aile de *Calopteryx*, nous allons examiner la succession de fausses ellipses qui séparent l'arc de cercle de l'anse surbaissée. Donc, en prenant comme base l'axe AB, les centres O et O' et les points de flèche

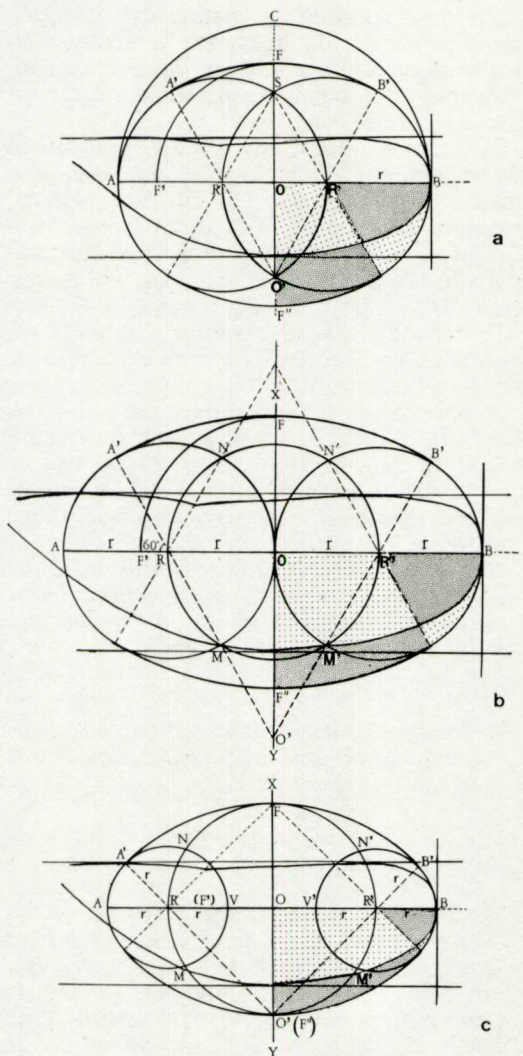


FIG. 2. a) Construction classique d'une fausse-ellipse dite au tiers point.

$$\frac{AB}{2} = r + \frac{r}{3}, OF \uparrow, FO > RO$$

$$\frac{AB}{2} < 2r, OF = OF' > OR$$

b) Construction d'une fausse-ellipse par cercles tangents.

$$\frac{AB}{2} = 2r, OF > OR, OF \uparrow$$

c) Construction d'une fausse-ellipse par petits cercles opposés.

$$\frac{AB}{2} > 2r, OF = OR, FO \rightarrow$$

ches F et F', nous allons tracer des constructions classiques de fausses ellipses, dans le cas où la longueur relative de l'axe AB croît, et où la hauteur des flèches OF et O'F' régresse par rapport aux constructions effectuées. Pour des raisons évidentes, la silhouette de l'aile de *Calopteryx* apparaît toujours en fond de croquis.

a) Étude de l'arc de la fausse-ellipse au tiers point (fig. 2a).

Construisons un demi-cercle de centre O et de rayon OA. La perpendiculaire abaissée du milieu C de l'arc, sur le diamètre AB qui le sous-tend, correspond à une flèche de valeur maximum. Divisons maintenant AB en trois segments égaux. Les points R et R' obtenus, vont servir de centres à deux cercles qui se coupent en O' et S. Si nous prolongeons O'R jusqu'en A et O'R' jusqu'en B', nous pouvons tracer un arc A'B' ayant le même axe de symétrie que l'arc AB. La hauteur de la flèche OC diminue jusqu'en OF, l'arc se rapproche de AB, et la courbure FB (F''B) obtenue par construction tend à se rapprocher de celle de la bordante postérieure de l'aile. La correspondance n'est pas obtenue.

b) Étude de l'arc de fausse-ellipse par cercles tangents (fig. 2b).

Nous avons précédemment envisagé la construction d'une fausse-ellipse où le demi-grand axe $\left(\frac{AB}{2}\right)$ était plus petit

que deux fois la valeur du rayon (r) de chacun des petits cercles; envisageons maintenant le cas où le demi-grand axe est égal à deux fois le rayon (r).

Traçons deux cercles centrés sur R et R' et tangents extérieurement en O, puis un troisième cercle centré sur O, identique aux précédents et qui les recouvre en M et M', N et N'. Les droites RM et R'M' coupent la perpendiculaire à AB, au point O' et les deux cercles extérieurs en A' et B'.

Traçons maintenant un arc de cercle centré sur O' et de rayon O'A' égal à O'B'. Cet arc se raccorde de chaque côté aux arcs AA' et BB'. La perpendiculaire à AB en O, coupe l'arc A'B' en F et représente la flèche de la demi-fausse ellipse AFB.

Nous avons $\frac{AB}{2} = 2r$ et $R = 60^\circ$. La pro-

jection de OF sur AB, nous permet d'énoncer que $OF = >OR$, valeur qui décroît (F↓) par rapport à la figure précédente (fig. 2a). La hauteur de la flèche OF at-

teint un maximum lorsque les deux petits cercles ne sont plus tangents qu'extérieurement.

c) Étude de l'arc de fausse-ellipse par petits cercles opposés (fig. 2c).

Nous présentons une fausse-ellipse dont le demi-grand axe $\left(\frac{AB}{2}\right)$ est supérieur à deux fois le rayon (r).

Construisons un grand cercle de centre O et de diamètre RR', puis une perpendiculaire x y à ce diamètre en O. Elle coupe le cercle en F et en O'. Menons ensuite de O' une première droite passant par R, et une seconde droite passant par R'. Traçons un arc de cercle de rayon O'F, qui coïncide avec la droite RO' en A' et avec la droite R'O' en B'; enfin un petit cercle de rayon RA' et de centre R. La droite RR' rencontre ce petit cercle en A et un second de construction identique en B. Nous obtenons ainsi le grand axe AB de la fausse-ellipse, et trois arcs AA', A'B', et B'B qui se raccordent parfaitement, dessinant la fausse-ellipse. Si sur cette construction nous projetons la flèche OF sur le demi-grand axe RO, nous constatons que le point F' coïncide exactement avec les points R, centres des petits cercles.

Notons que $\frac{AB}{2}$ est supérieur à 2r et que FO est égal à OR, par rapport au deuxième cas décrit (fig. 2b), le point F' s'est déplacé sur AB en direction du centre O, ceci en relation avec la réduction de la flèche. Le point F se rapproche de AB.

d) Étude de l'arc d'une anse en 7 points (fig. 3).

Dans ce dernier cas, le demi-grand axe $\left(\frac{AB}{2}\right)$ est supérieur à 2r, et peut être égal ou plus grand que trois fois le rayon r.

Traçons un demi-cercle de diamètre AB et de centre O, puis élevons la perpendiculaire à AB en O. Elle coupe la demi-circconférence en C'. Choisissons maintenant un point F' sur OC', relativement proche du centre O (car nous recherchons le tracé d'une anse surbaissée). Les points C et D sont obtenus, en reportant trois fois le segment OA sur le demi-cercle AB. Joignons AC, CD et DB, puis OC, OD, et CC'. Du point F', menons une parallèle à CC' qui coupe AC en I. De même du point I,

menons une parallèle à CO qui coupe l'axe x y en O'. IO' rencontre AB en R. Nous pouvons réaliser un petit cercle centré sur R, de rayon RA et RI. Du point O', un arc de cercle de rayon O'I et O'F' joint I à F'. Les arcs AI et IF' se raccordent parfaitement reproduisant les limites du quart d'une anse surbaissée.

Notons que $\frac{AB}{2}$ est ici supérieur à 2 fois le rayon (r) et que $F'O < OR$. Si nous projetons F' sur OA, nous constatons que F'' s'est de nouveau déplacé vers le centre O.

e) Remarques

Les constructions géométriques présentées dans les figures 2 et 3, montrent une succession de courbes comprises entre le cercle et l'anse surbaissée. Sur les trois cas fondamentaux de fausses ellipses (fig. 2 a, b, c), le point F, projection de l'extrémité de la flèche OF, se rapproche du centre O. Sur la fausse-ellipse dite «au tiers-point» (fig. 2a) il est en avant de R ($OF = OF' > OR$); $\frac{AB}{2} < 2r$; lorsque les petits cercles sont tangents extérieurement (fig. 2 b),

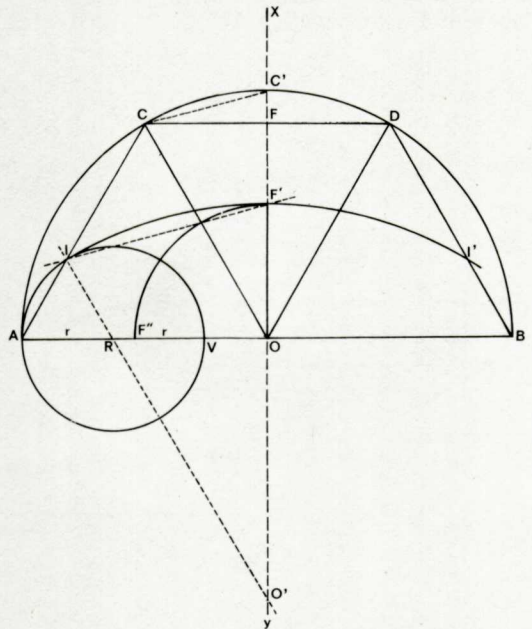


Fig. 3. Construction classique d'une anse en 7 points.

$$\frac{AB}{2} > 2r \text{ ou } = 3r. FO < RO, OF \downarrow$$

il se rapproche de R ($OF=OF' > OR$, mais $\frac{AB}{2}=2r$); s'ils ne sont plus tangents extérieurement (fig. 2c), il coïncide toujours par construction avec R ($OF=OF' = OR$; $\frac{AB}{2} > 2r$); enfin pour l'anse surbaissée (fig. 3), il se trouve en deça de R par rapport à O ($OF'=OF'' < OR$; $\frac{AB}{2} > 2r =$ ou $> 3r$. $OF' < OR$ est la valeur limite amorçant la décroissance de flèche OF ; c'est à partir de $OF < OR$ que nous aborderons la recherche de la coïncidence avec la bordante par la méthode de construction des anses surbaissées ($OF \downarrow$).

2. Recherche de la valeur géométrique de l'arc AF' de la bordante postérieure de l'aile de *Calopteryx*.

Lors du cadrage géométrique de l'aile de *Calopteryx* (fig. 1), nous avons mis en évidence les arcs AF et AF' . Comparons maintenant leur courbure à celle des arcs théoriques obtenus par les constructions précédentes. C'est-à-dire que nous recherchons à quelle famille de courbes se rapportent les arcs AF et AF' de la bordante.

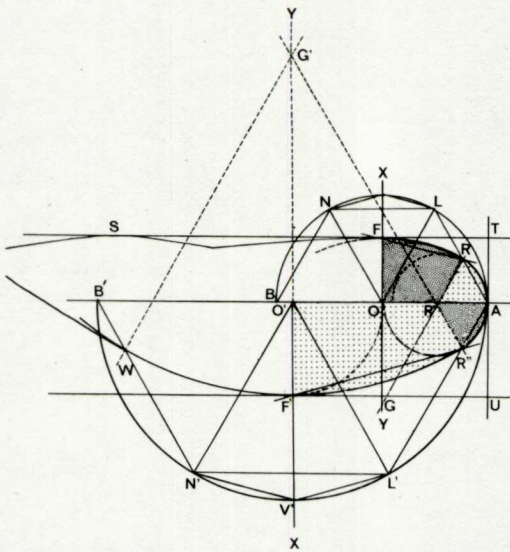


FIG. 4. Construction d'une grande anse sur la bordante postérieure de l'aile de *Calopteryx haemorrhoidalis* ♀ (aile antérieure). Construction classique d'une petite anse sur la bordante antérieure de l'aile de *Calopteryx haemorrhoidalis* ♀ (aile antérieure).

Nous voyons aisément que ceux-ci se rapprochent du tracé d'une anse, car les flèches OF et OF' sont peu élevées de part et d'autre de l'axe AB . Nous nous intéresserons plus particulièrement à l'arc AF , permettant une construction (fig. 4) plus nette et plus grande.

Partant du cadrage de l'aile établi sur la première figure, traçons un demi-cercle AB' centré sur O , et de rayon $O'A$. Si nous reportons trois fois ce rayon sur la demi-circconférence, nous obtenons les points N' et L' . Joignons ensuite BN' , $N'L'$, $L'A$, puis N' et L' à O' . Indiquons l'axe $x y$, passant par le segment $O'F'$. Il coupe AB' au point V' , qui sépare l'arc $L'N'$ en deux arcs égaux. Joignons L' à V' et V' à N' . Menons à partir de F' une parallèle à $V'L'$ qui rencontre la bordante postérieure de l'aile de *Calopteryx* en deux points F' et R'' . De même, à partir du point R'' obtenu, menons une parallèle à $O'L'$ qui rencontre AB' en R' et l'axe $x y$ en G' . Nous pouvons dès maintenant construire deux arcs, l'un AR'' avec R' comme centre et $R'A$ comme rayon, l'autre $R''F'$ avec G' comme centre et $G'R''$ comme rayon. Ces deux arcs se raccordent en R'' et coïncident parfaitement avec la courbure dessinée par la bordante postérieure de l'aile de *Calopteryx*.

Si nous considérons l'arc AF de la bordante antérieure de l'aile, à laquelle nous appliquons une semblable construction (fig. 4), quelques différences apparaissent. La flèche OF est relativement plus élevée sur AB que $O'F'$, et le centre G est plus proche de AB que le centre G' .

Conclusion:

On peut considérer que les arcs AF et AF' de la bordante de l'aile de *Calopteryx* correspondent bien à des figures géométriques théoriques. L'arc antérieur est une petite anse et l'arc postérieur une grande anse.

Nous pouvons donc en examinant les figures 3 a, b, c et 4, constater qu'il se manifeste pour l'arc des fausses-ellipses, un abaissement progressif de la flèche et diminution de l'espace séparant l'arc des fausses-ellipses de l'arc de la bordante. Dans le troisième cas, le rapprochement est net, et ce n'est que l'application d'une anse en sept points qui permet la superposition d'un arc géométrique à l'arc alaire dans des limites presque parfaites.

Une progression morphologique géométrique permet non seulement d'effectuer un classement de la bordante, mais d'obte-

Tableau résumant les valeurs géométriques progressives, les constructions de l'arc de cercle à l'anse en passant par la fausse-ellipse; cette série de mesures est nécessaire à l'identification des courbes antérieures et postérieures de l'aile de *Calopteryx*.

1/2 Grand axe	Flèche et distance du centre R	Hauteur de la flèche par rapport à R et à AB/2
1er cas, fausse-ellipse au 1/3 point: $\frac{AB}{2} = r + \frac{r}{3}$ ou $< 2r$	$OF > OR$ d°	$OF \uparrow$
2e cas, fausse-ellipse par cercles tangents $\frac{AB}{2} = 2r$	$OF > OR$	$OF \uparrow$
3e cas, fausse-ellipse par petits cercles opposés $\frac{AB}{2} > 2r$	$OF = OR$	$OF \leftrightarrow$
Anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r = \text{ou} > 3r$ ou $> 3, 4, 6, 12 r$	$OF > OR$ d°	$OF \downarrow$ $OF \downarrow$

nir la gradation des valeurs supérieures ou inférieures à la flèche OR par rapport à $\frac{AB}{2}$.

3. *Examen complémentaire de la construction d'une anse selon la méthode de Bossut*

a) Construction d'une anse selon Bossut (fig. 5).

Soit deux droites xy et x'y', se coupant perpendiculairement en O et deux points A et F', pris sur chacune de ces droites, de manière à ce que OA soit supérieur à OF'. Traçons ensuite le segment AF'. Puis indiquons sur ce segment un point D, tel que

la distance F'D soit égale à la différence des longueurs OA et OF' (F'D = OA - OF'). Elevons de H, milieu du segment AD, la perpendiculaire à celui-ci. Elle rencontre x'y' en R' et xy en G'. Du point R' comme centre, avec R'A comme rayon, un arc de cercle partant de A, coupe R'G' en M. Du point G' comme centre, avec G'F' comme rayon, un second arc de cercle, se raccorde au précédent et joint M et F'. Les arcs AM et MF' obtenus, dessinent le quart d'une anse dont les segments OF' et OA représentent les demi-axes.

b) Application de cette construction à l'aile de *Calopteryx* (fig. 5).

Sur une aile de *Calopteryx* nous allons superposer la construction de l'anse classique et celle de Bossut.

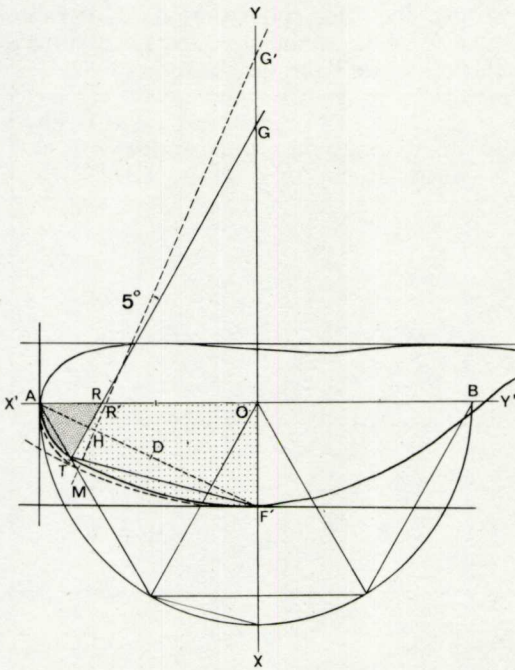


FIG. 5. Tracé d'une anse par la méthode de Bossut, dont les valeurs permettent une comparaison avec le tracé d'une anse obtenue en 7 points. Application de la solution de Bossut à l'aile de *Calopteryx haemorrhoidalis* ♀ (aile postérieure).

Sur la figure 5 on y trace le segment AF, et l'on indique un point D sur ce segment, de telle façon que $F'D = OA - OF'$. De H, milieu de AD, nous élevons la perpendiculaire à ce segment, qui coupe AB en R' et x y en G'. Avec R'A comme rayon, traçons un arc de cercle centré sur R', qui rencontre R'G' en M, puis avec G'F' comme rayon, traçons un second arc de cercle, centré sur G' qui joint M à F'.

L'anse obtenue selon la méthode de Bossut ne coïncide ni avec l'anse classique dont la construction a été envisagée dans le paragraphe précédent, ni avec la courbure de la bordante postérieure de l'aile de *Calopteryx*.

La différence entre les deux anses peut être mesurée par un angle de cinq degrés existant entre les droites RG (de la construction classique) et R'G' (de la construction de Bossut).

4. Variation des grande et petite anses en fonction des sexes.

Chez le mâle comme chez la femelle de *Calopteryx*, nous pouvons réaliser des constructions de petites et de grandes anses qui reproduisent le dessin de la bordante de l'aile. Les flèches OF' (pour la grande anse) ont sensiblement la même longueur dans les deux sexes. Les distances OA restent égales. Donc les quarts d'anses postérieures des ailes antérieures et postérieures de *Calopteryx* ♂ et ♀ sont à très peu près identiques. L'inégalité n'apparaît faiblement que pour la grande anse postérieure de l'aile postérieure et antérieure ♂. Nous reviendrons sur cette question dans le chapitre consacré aux particularités de la bordante postérieure.

C. Définition de quelques propriétés particulières des schémas fondamentaux

1. Étude de la mobilité du point G sur l'axe x y lorsque les segments OR et RA restent fixes (fig. 6b).

Si l'on se replace dans les conditions de la fig. 2c, où $OF = OR$, sur la fig. 6b, les points G', A₂ et F₂ correspondent respectivement aux points O', A' et F du schéma théorique (troisième cas). Supposons que le segment OR de cette fausse-ellipse reste fixe et le rayon RA constant. Déplaçons le centre G', à l'origine de l'arc A₂F₂ en G. La droite GR coupe le petit cercle en A₁. Et, l'arc A₁F₁ obtenu, avec G comme centre et GA₁ comme rayon, se raccorde parfaitement à l'arc AA₁. Donc, lorsque le centre du grand arc se situe sur x y, à l'intérieur du grand cercle, la flèche OF tend à être maximum. Déplaçons maintenant le centre G' en G''. La droite G''R coupe le petit cercle en A₃. Et, l'arc A₃F₃ obtenu, avec G'' comme centre et G''A₃ comme rayon, se raccorde parfaitement à l'arc AA₃. Donc, lorsque le centre du grand arc se situe sur xy, à l'extérieur du grand cercle, la flèche OF tend à être minimum. Elle se rapproche d'ailleurs de la flèche d'une anse, sans être strictement comparable à l'anse typique dessinée par la bordante de l'aile de *Calopteryx*.

Nous venons de voir que la hauteur de la flèche est étroitement liée à la position du point G sur la droite x y. Car, si G' s'éloigne de O (en G' par exemple) F₁ s'en ap-

proche (en F_2 par exemple) et l'angle compris entre les droites A_1G et AO augmente ($ARA_3 > ARA_1$). Ainsi lorsque G' s'éloignera indéfiniment de O sur l'axe $x y$, le point A_3 se déplacera sur l'arc AS du petit cercle et se rapprochera indéfiniment d'une droite SR parallèle à $x y$ et perpendiculaire à OA en R . Le point G' tendant vers l'infini, A_1 ne rencontrera jamais S .

Ces possibilités de déplacements, appliquées ici à une fausse-ellipse (pour simplifier), se retrouvent également pour une anse. Nous pouvons noter de très faibles variations individuelles de cet ordre pour la bordante de l'aile de Calopteryx, les points G, G' et A_1 se déplaçant très légèrement.

Asymptote contenue dans la fausse-ellipse et dans la variation d'anse

Reprenons la figure 6b:

Nous avons constaté que le point A_1 se rapprochant de S ne pourra jamais l'atteindre, même si le point G est éloigné à l'infini. Cette particularité du rapprochement constant et infini est apparentée à une véritable asymptote, du moins en est une résultante par opposition ou projection sur ces mêmes droites.

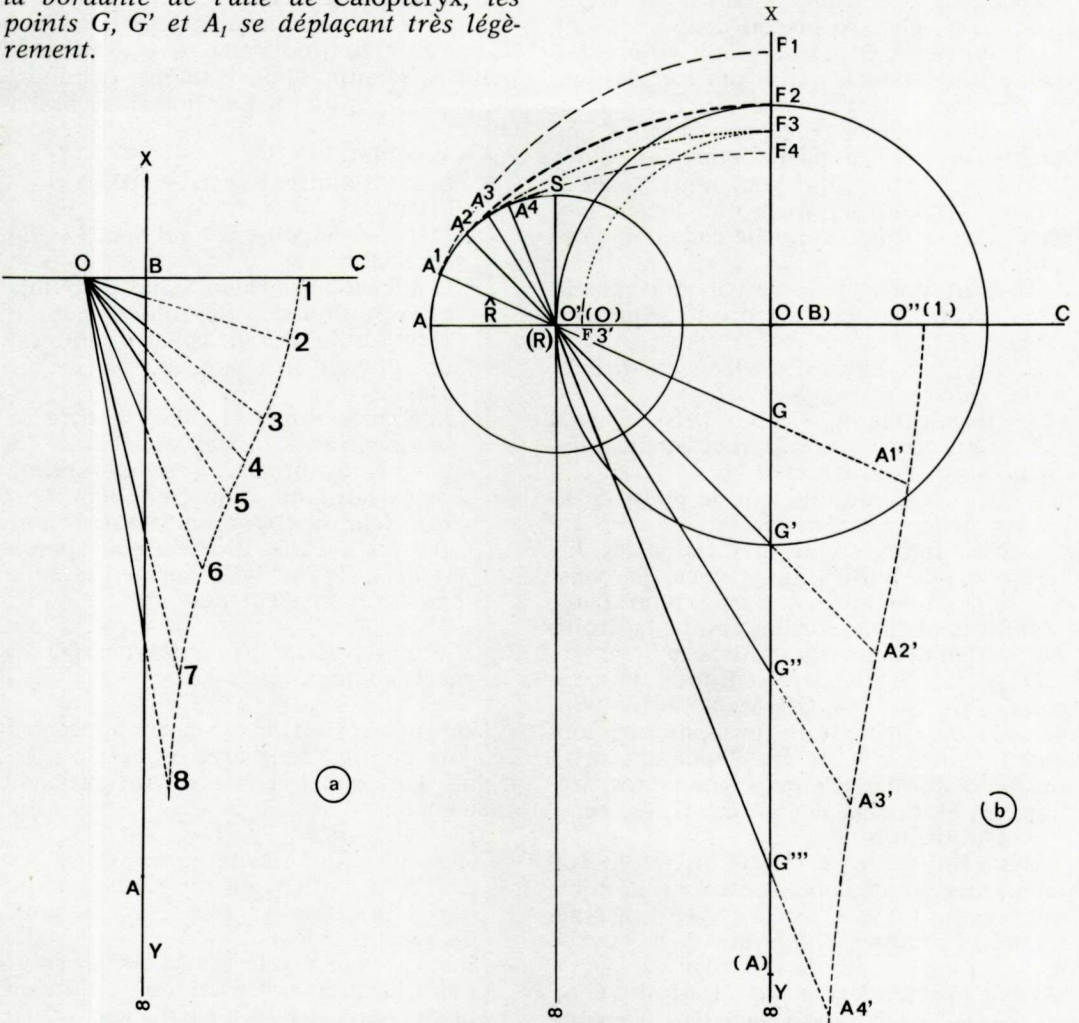


FIG. 6. Mobilité du point G sur l'axe $x y$, lorsque les segments OR et RA restent fixes. Variabilité du point G.
 a. Conchoïde de Nicomède et son asymptote.
 b. Correspondance de cette asymptote dans une fausse ellipse par mobilité du point G.

Définition

«Une asymptote est une ligne droite dont les différents points d'une courbe se rapprochent de plus en plus, à mesure que le point de la courbe s'éloigne à l'infini.»

Comme exemple se rapprochant le plus du mouvement de A_1 par rapport à un centre, avec déplacement d'un point mobile articulant cet axe, nous considérons que l'asymptote connue sous le nom de «conchoïde» de Nicomède, est celle qui correspond à notre construction.

MOUREUX (1939) donne l'une des meilleures définitions de cette figure:

«Traçons avec une équerre un angle droit ABC; choisissons en dehors de cet angle un point O; de ce point, tirons des droites rayonnantes qui seront coupées par un des côtés de l'angle droit. Si maintenant, au-delà de ce côté nous prenons des longueurs égales, nous obtenons des points 1, 2, 3, 4, 5, etc..., qui vont nous servir à tracer une courbe; c'est une conchoïde, parce que sa forme rappelle celle d'une coquille.

Eh bien, il est facile de voir que jamais cette courbe ne pourra rencontrer la droite AB.» (Fig. 6a.)

En bref, il y aurait donc trois conditions pour réaliser une asymptote.

1. Il faut une ligne droite (AB).
2. Une courbe se rapprochant de plus en plus de la droite (1, 2, 3, 4...).
3. Et ceci à mesure que le point de la courbe tend vers l'infini.

Dans la figure 6b qui matérialise les différentes possibilités théoriques de construction d'une anse à partir d'un demi grand axe identique, nous voyons la droite AO perpendiculaire à l'axe x y.

O'Oy est l'équivalent OBA de la conchoïde, fig. 6a. Sur OC de la fausse-ellipse=BC de l'asymptote, prenons une longueur équivalente de B_1 . Reportons cette longueur sur les droites rayonnantes prolongées, et au-delà des points G, G', etc...

Nous obtenons:

OO'', GA₁', G'A₂', G''A₃', G'''A₄', etc... Joignons ces points, nous obtenons la courbe asymptotique O''A₄' de valeur géométrique absolument identique à la courbe 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, de la figure 6a.

Donc, l'articulation de la droite O'A₁' sur le centre O', impose sa valeur d'asymptote à la droite O'A₁ qui la prolonge. En effet, le fait de posséder la droite SO' parallèle à x y, le petit cercle conserve les mêmes fonctions. Le mouvement d'éloi-

gnement de G, G', G'', etc... recouvrant parfaitement les points mobiles de l'asymptote, permet de conclure à leur identité.

Conclusion

Le mouvement de rapprochement du point A₁' (3ème condition) se transmet sur son prolongement selon un arc de cercle A₁A₄. L'asymptote réalisée sur la droite de x y montre, à gauche de cet axe, une courbe A₁A₄ qui se rapprochera de S indéfiniment, sans jamais l'atteindre et sans que se réalise forcément la 3e condition de la conchoïde.

Il semble que la mobilité de G, dans le cas de la fausse-ellipse, nous ait permis de trouver un mouvement, qui pour le point A₁ se situe dans le temps, tributaire du point G ayant sa fonction dans l'espace ∞ .

En résumé:

1. A₁ n'atteindra jamais le point S (Temps).
2. Même si le point G tend vers l'infini (Espace).
3. G a les mêmes valeurs que les points asymptotiques par prolongement.
4. L'ensemble de la construction est étroitement lié aux valeurs de la conchoïde.
5. La fausse-ellipse (fig. 6b), à titre de démonstration, ainsi que l'anse (figure 3), ayant servi à la délimitation de la bordante d'une aile, montrent que leur construction contient toutes les valeurs géométriques précédentes, du fait de la variabilité de la position des centres.

2. Bordante périphérique et cercles de raccordement.

Nous avons vu dans les paragraphes précédents que les deux arcs de cercle à l'origine d'un quart d'anse se raccordaient exactement.

a) Remarques

- On sait qu'une droite et un arc de cercle se raccordent en un point, lorsque la droite est tangente à l'arc au point de raccordement.
- Deux arcs de cercle se raccordent en un point lorsqu'ils ont en ce point la même tangente, la droite joignant leur centre respectif passant obligatoirement par le point de contact des deux cercles.

b) Spiraloïde (fig. 7).

La courbure de la bordante est harmo-

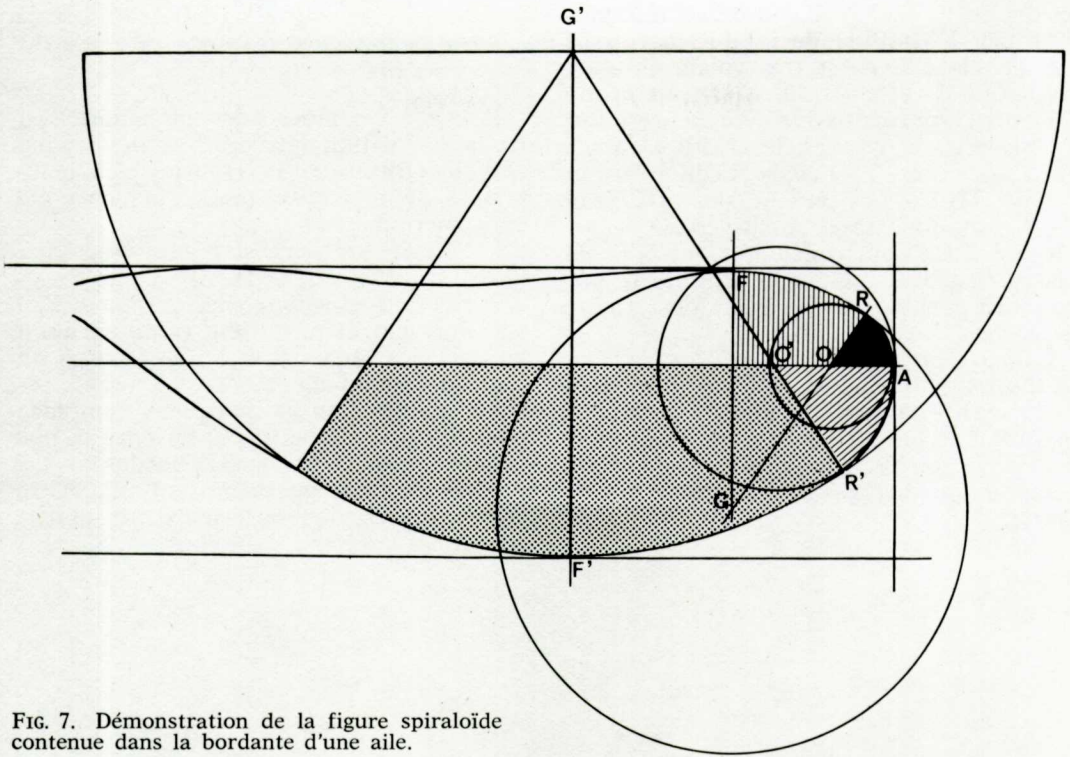


FIG. 7. Démonstration de la figure spiraloïde contenue dans la bordante d'une aile.

nieuse, nous pouvons supposer que les arcs successifs de cette bordante répondent aux théorèmes précédents.

Considérons sur la figure 7 les arcs FR, RA, AR', et R'F' de la bordante. Les deux premiers forment le quart d'anse antérieure de l'aile et se raccordent parfaitement en R. Le rayon OR de l'arc RA est en effet pris sur le rayon RG de l'arc FR. Les deux arcs FR et RA possèdent une même tangente en R. Les arcs RA et AR' se raccordent aussi et admettent une même tangente en A. Le rayon OA de l'arc RA ($OR=OA$) est compris dans le rayon O'A de l'arc AR'. Les arcs AR' et R'F' se rejoignent et admettent également une même tangente en R', car le rayon O'R' ($O'R'=O'A$) de l'arc AR' est pris sur le rayon GR' de l'arc R'F'.

Il y a une progression tout à tour de l'aile et les arcs se raccordent parfaitement deux à deux, du point F, apex antérieur, au point F', apex postérieur, en passant par A, apex latéral.

c) Conclusion

Les arcs FR, RA, AR' et F'R' sont à l'ori-

gine d'une spiraloïde à quatre centres. C'est une nouvelle particularité de la bordante de l'aile de *Calopteryx*.

Ces arcs sont dits développables, car ils se succèdent à partir d'une génératrice, qui peut être F'G' (si nous procédons de l'arrière vers l'avant) ou FG (si nous allons de l'avant vers l'arrière).

3. Lieu géométrique des points du grand arc de l'anse postérieure en relation avec le champ vannal (fig. 8).

L'arc TF', partie de l'anse postérieure de la construction géométrique, coïncide avec le contour de l'aile. Nous pouvons le prolonger jusqu'en J', mais au-delà, il se sépare de la bordante. Dans la plupart des cas le point J' correspond à l'extrémité de la nervure anale 1 (il y a des variations, mais de toute façon le point J' reste toujours dans le voisinage de l'anale 1), de ce fait le vannus se trouve compris entre J' et P.

Traçons la corde J'P (par rapport au bord de l'aile, P étant la zone axiale), puis

les droites G'J' et G'K', cette dernière passant par K', milieu de J'P. Remarquons que l'angle J'K'G' est très voisin d'un angle droit, il varie de 90° à 95°. La droite G'K' peut approximativement représenter la bissectrice de l'angle J'G'P. L'angle F'G'J' mesure 12°, l'angle J'G'K', 19°, et l'angle TG'F', 28°. Les angles TG'F' et F'G'K' sont donc approximativement égaux, 28° et 31°. On peut considérer que G'F' est bissectrice de l'angle qui delimitte la majeure partie de la bordante postérieure de l'aile.

Conclusion:

Approximativement, le bord postérieur de l'aile de *Calopteryx*, peut être décrit par un grand arc de cercle. Le point G, permettant de le construire, représenterait le lieu géométrique des points constituant la bordante.

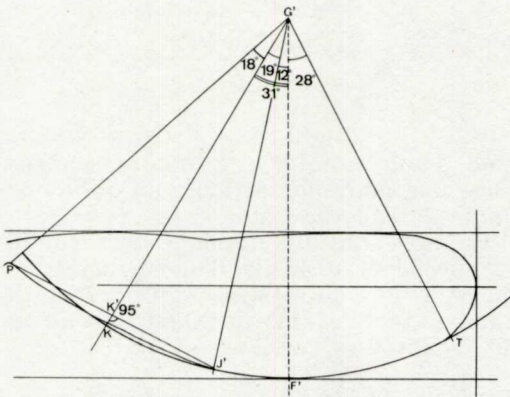


FIG. 8. Lieu géométrique des points du grand arc de l'anse postérieure en relation avec le champ vannal.

FIG. 9. Diverses courbures de la bordante et leur fonction architecturale.

- a) *Calopteryx splendens* ♂ (aile antérieure).
½ anse à fonction de bordantes approximative.
- b) *Calopteryx splendens* ♀ (aile postérieure).
½ anse à fonction de bordante réelle.
- c) *Calopteryx haemorrhoidalis* ♀ (aile postérieure).
½ anse à fonction de bordante nulle.
- d) *Calopteryx virgo* ♀ (aile postérieure).
½ anse à fonction de bordante réelle.

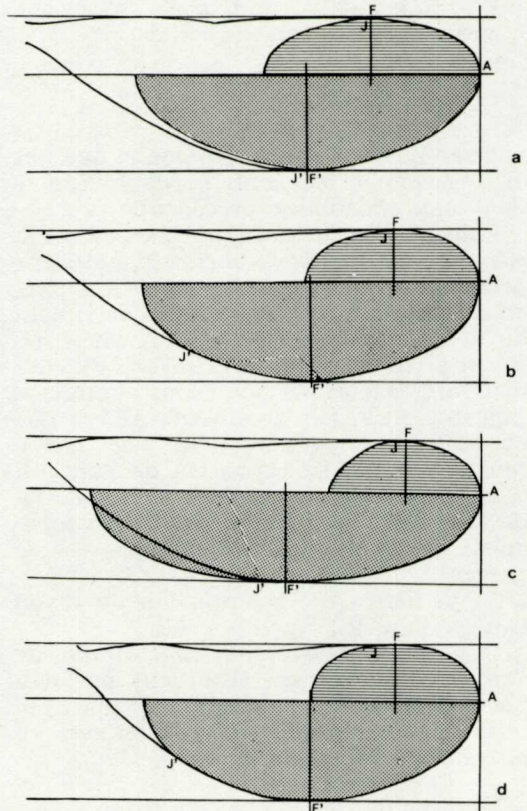
4. Principales régions alaires et correspondances avec les grandes et petites anses (fig. 9a, b, c, d).

Il existe certaines correspondances entre la disposition des nervures, des régions de l'aile (BRÉMOND, 1971) et les principaux repères géométriques mis en évidence par construction.

a) Régions ansées et régions rectangulaires (fig. 9a, b, c, d).

Sur la figure prolongeons les quarts d'anses antérieure et postérieure de la bordante au delà des points F et F', de façon à obtenir des demi-anses.

Les points J et J' marquent l'emplacement où ces demi-anses antérieure et postérieure s'écartent de la bordante. Les droites du cadrage delimitent quatre régions: une région antérieure et interne,



rectangulaire, dans laquelle se trouve le point J; une région antérieure et externe ansée; une région postérieure et externe ansée; une région postérieure et interne, approximativement ansée, dans laquelle se trouve le point J'.

La région antérieure rectangulaire correspond à la partie alaire sous-tendue par les «avant-bras» antérieur et postérieur que nous avons décrit dans la nervation. Dans la région antérieure ansée, nous relevons les nervures: radiale, médiane 1 et une partie de la médiane 2, dans la région postérieure ansée, les nervures: médianes 1, 2, 3, 4, 5 et cubitale.

Rappelons que le point J' de la région postérieure et interne se trouve entre les extrémités de la cubitale et de l'anale 1. Si bien que cette région, approximativement ansée, comprend donc la presque totalité du vannus. L'anale 1 nous semble donc importante et représente l'arc-boutant le plus postérieur de l'aile. Une nervure de soutien, l'anale 2 (A₂), est en grande partie la cause de la rigidité du vannus. Le point J' glisse le long de la bordante postérieure (comme nous pouvons le voir aisément et selon les espèces et les sexes) entre la cubitale et l'anale 1, c'est-à-dire la zone médiane. Le champ médian semble à l'origine présenter une certaine élasticité, entre la rémigung, aire active et motrice, et la zone basale, aire la plus passive de l'aile. Cette zone de glissement qui correspond au vannus, n'est pas en contact direct et brusque avec la partie soumise aux tensions.

La bordante antérieure, presque rectiligne, et l'anse antérieure aplatie, constituent un bord d'attaque. L'anse posté-

rieure, plus large, augmente la surface de pression. Les régions antérieure et postérieure de l'aile possèdent donc des fonctions bien distinctes.

b) Diverses courbures de la bordante (fig. 9a, b, c, d).

Courbures à fonction bordante réelle.

Le type en est l'arc compris entre F, apex antérieur et A, apex latéral et l'arc postérieur compris entre A et F', postérieur.

Courbures à fonction bordante approximative.

Le type en est l'arc allant du point J' jusqu'à l'intersection ou le voisinage de la demi-anse postérieure avec la bordante de l'aile.

Courbures à fonction bordante imparfaite.

C'est précisément le cas du quart d'anse antérieur compris dans la région antérieure et interne. Il décrit une courbe, très éloignée de la bordante de l'aile en sens inverse de l'orientation de l'ensemble des nervures. La fonction mécanique d'une telle courbe est inexistante. Nous avons choisi comme exemple de ces courbes les fonctions les plus caractéristiques (fig. 9a, b, c, d).

Nous constatons en effet dans l'exemple de l'aile antérieure de *Calopteryx splendens* ♂ qu'elle représente une demi-anse à fonction approximative; l'aile postérieure nous montre une coïncidence entre le tracé géométrique et le tracé rect de la bordante (fig. 9a, b).

Quant à *Calopteryx virgo* ♀ l'aile postérieure est un bel exemple de coïncidence géométrique et fonctionnelle, car le point J' remonte très haut vers la base axiale de l'aile (fig. 9d).

Chapitre II. APPLICATIONS A L'ÉTUDE DE L'AILE DE CALOPTERYX

A. Mesures d'anses antérieures et postérieures effectuées sur trois espèces de *Calopteryx*: *Calopteryx haemorrhoidalis*, *Calopteryx splendens* et *Calopteryx virgo* (♂ et ♀).

1. Mesures

CALOPTERYX HAEMORRHOIDALIS OCCASI Capra ♀

Antérieure

Petite anse en 7 points

L'anse correspond à la bordante $\frac{AB}{2} > 2r$.

Grande anse en 7 points L'anse correspond à la bordante, $\frac{AB}{2} >$
 $> ou = 3r$

Postérieure

Petite anse en 7 points Correspond à la bordante, $\frac{AB}{2} > 2r$

Grande anse en 7 points

Ne correspond pas entièrement avec la bordante. On note un écart angulaire de 5° avec la solution de Bossut; la nouvelle anse concorde un peu plus avec la bordante sans pour cela la recouvrir, surtout dans la partie extrême gauche du grand cercle. L'anse en 7 points donne pour de tels axes $\frac{AB}{2} > 3r$, se rapprochant beaucoup de 4r.

Remarque: L'aile antérieure est plus large que la postérieure.

Nous avons: Antérieure = $\frac{AB}{2} = ou > 3r$

Postérieure = $\frac{2}{AB} > 4r$ donc FO↓ par rapport à la flèche de l'aile antérieure.

Nous notons dans ce cas un faible élargissement de la bordante par rapport à l'anse en 7 points. La limite interne de cet élargissement semble s'accroître à partir de la bande brune, qui caractérise les ailes postérieures des femelles de *Calopteryx haemorrhoidalis*.

CALOPTERYX SPLENDENS (HARRIS, 1782) ♀

Antérieure

Petite anse en 7 points Correspond à l'anse $\frac{AB}{2} = 3r$

Grande anse en 7 points

Correspond à l'anse, $\frac{AB}{2} > 5r$, mais très faible élargissement de la bordante dans la région des raccordements. Cette particularité est fort comparable à celle notée pour l'aile postérieure de *Calopteryx haemorrhoidalis* femelle. Cette fois le mouvement de bascule s'effectue vers l'arrière comme pour élargir la partie postérieure de l'aile, mais ce mouvement est de faible amplitude pour que l'on puisse parler d'élargissement réel.

Postérieure

Petite anse en 7 points La bordante correspond à l'anse $\frac{AB}{2} > 2r$
 (# = à 3r)

Grande anse en 7 points

La bordante correspond à l'anse $\frac{AB}{2} > 5r$
(# = à 6r)

CALOPTERYX VIRGO ♀

Anterieure

Petite anse en 7 points

Correspond à la bordante $\frac{AB}{2} > 2r$

Grande anse en 7 points

Ne correspond pas à la bordante $\frac{AB}{2} > 3r$
On note pour cette anse un faible débordement. En effet la bordante ne correspond pas mais recouvre les limites d'une anse à 3 centres, différente, dont l'écart angulaire des deux axes directeurs est de 4°. On note une faible bascule de la nouvelle anse vers l'avant, avec une extension de 27° pour le grand arc postérieur.

Posterieure

Petite anse en 7 points

Correspond à la bordante $\frac{AB}{2} > 2r$
(# = 2r)

Grande anse en 7 points

Correspond à la bordante $\frac{AB}{2} > 3r$

CALOPTERYX HAEMORRHODALIS Vd. L ♂

Anterieure

Petite anse en 7 points

Correspond à la bordante $\frac{AB}{2} > 2r$

Grande anse en 7 points

Ne correspond pas à la bordante. On note un faible amincissement de la bordante par rapport à l'anse. Par la construction d'anse nous trouvons $\frac{AB}{2} = 3r$

Remarque: nous développerons plus loin ce cas d'amincissement, avec comme exemple le mâle de *Calopteryx virgo* qui est le modèle montrant l'anse postérieure arquée au maximum; cette anse est construite sur un demi grand axe très court, par rapport à une flèche élevée. Nous verrons que cet amincissement est, en fait, dû au déplacement vers l'avant de tout le grand arc construit sur une infrastructure excentrée.

Posterieure

Petite anse en 7 points

Correspond à la bordante $\frac{AB}{2} > 2r$

Grande anse en 7 points

Ne correspond pas à la bordante.
Même particularité d'amincissement que pour l'aile antérieure.
Avec la construction d'anse nous trouvons

$$\frac{AB}{2} > 2r$$

CALOPTERYX SPLENDENS XANTHOSTOMA ♂

Antérieure

Petite anse en 7 points

Correspond à la bordante $\frac{AB}{2} > 2r$

Grande anse en 7 points

Ne correspond pas à la bordante et montre une légère bascule en avant. Dans ce nouveau cas, $\frac{AB}{2} > 2r$. Les axes directeurs des deux anses on un écart de 3°. Le petit cercle est lui aussi légèrement décentré par rapport au grand axe médian de quadrage de l'aile.

Postérieure

Petite anse en 7 points

Correspond à la bordante $\frac{AB}{2} > 2r$

Grande anse en 7 points

Ne correspond pas à la bordante qui montre une légère bascule en avant. Dans ce nouveau cas $\frac{AB}{2} = 2r$. Les axes directeurs des 2 anses ont un écart de 4°. Le petit cercle est lui aussi légèrement décentré vers l'avant par rapport au grand axe médian du cadrage de l'aile.

Remarque: L'aile antérieure est plus longue que l'aile postérieure pour une flèche OF identique. Nous examinerons plus loins les différences d'excentricités entre espèces, et leur effet sur la bordante en rapport avec le 1/2 grand axe.

CALOPTERYX SPLENDENS (HARRIS 1782) ♂

Antérieure

Petite anse en 7 points

Correspond à la bordante $\frac{AB}{2} > 2r$, mais la petite anse antérieure est plus grande que la postérieure.

Grande anse en 7 points

Ne correspond pas avec la bordante. On note un important amincissement de la bordante.

L'anse donne $\frac{AB}{2} > 2r$

Postérieure

Petite anse en 7 points

Correspond à la bordante $\frac{AB}{2} > 2r$
(# = à 2r)

Grande anse en 7 points

$\frac{AB}{2} > 2r$, mais ne correspond pas avec la bordante. On note aussi un important amincissement de cette dernière. $\frac{AB}{2} > 2r$ est presque = à 2r, donc il y a un raccourcissement de $\frac{AB}{2}$ par rapport à l'antérieure.

CALOPTERYX VIRGO L. ♂

Antérieure

Petite anse en 7 points

Ne correspond pas avec la bordante. On note pour le petit et le grand cercle, une faible excentricité de 6° et 2°. Cet allongement des rayons correspond à un déplacement des centres vers l'arrière. Nous obtenons $\frac{AB}{2} > r$, donc OF↑.

Grande anse en 7 points

Ne correspond pas avec la bordante. On note une bascule en avant pour cette dernière. L'écart entre les deux axes directeurs de grand cercle est de 2°. Le petit cercle montre un léger décalage du rayon par rapport au 1/2 grand axe de construction du quadrage. Ce décalage montre une projection à 90° sur le nouveau rayon du grand cercle, démontrant le mouvement de bascule vers l'avant d'une importante partie de la bordante postérieure.

Postérieure

Petite anse en 7 points

Très faible excentricité du petit cercle
 $\frac{AB}{2} > 2r$

Grande anse en 7 points

La bordante marque un important recul sur l'anse en 7 points. L'écart entre les deux directrices est de 4°. Le mouvement de bascule du grand cercle vers l'avant est important et recouvre un arc de 42°, majeure partie de la bordante. L'excentricité du petit cercle est de 4°, le centre se trouvant à l'intersection de l'axe de quadrage, et du nouvel axe de grande anse. Dans son mouvement vers l'avant la bordante du petit cercle recouvre un arc de 4° de ce dernier dans l'anse antérieure; il y a de ce fait une succession parfaite de raccordement.

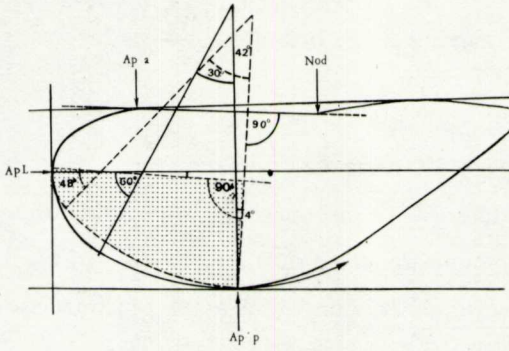


FIG. 10. Mouvement de bascule vers l'avant par rapport à l'axe transverse de la bordante postérieure de l'aile de *Calopteryx virgo* ♂. Ap.=Apex ant.; Ap.l=Apex latéral; Ap.p.=Apex postérieur; Nod.=Nodus.

2. Conclusion sur le mouvement de bascule de l'anse postérieure

L'aile postérieure de *Calopteryx virgo* ♂ est le cas le plus caractéristique d'amincissement de la bordante postérieure (par rapport à l'anse), chez les trois espèces de *Calopteryx* examinés (fig. 10).

En effet, l'excentricité des grands cercles est de 4° au maximum, et celle des petits cercles peut atteindre 11°, montrant ainsi l'amplitude des mouvements de bascule. L'écart angulaire des nouveaux arcs est de 42° et 46° (grand cercle) contre 30° pour l'anse en 7 points de l'aile antérieure de *Calopteryx haemorrhoidalis* ♀.

Il y a surtout un amincissement qui est le résultat du mouvement de bascule vers l'avant de la nouvelle anse, et l'importante réduction d'arc du petit cercle, 46° contre 60°.

Pourtant OF est identique. La deuxième anse montre donc l'apex postérieur, situé au sommet d'un arc bien plus accentué.

Le résultat de cette variation est d'élargir l'anse postérieure en palette vers l'apex postérieur du fait de l'amincissement ou retrait de la bordante dans la région latérale vers l'intérieur.

La nouvelle anse excentrée est calculée par la méthode des deux cordes, dont les extrémités d'arcs vont de l'apex postérieur au raccordement des cercles. Ce nouveau centre donne un nouvel axe de construction, ne suivant plus l'axe central OF' du cadrage de l'aile, mais varie de 4° avec celui-ci.

Il est important de remarquer que le nouveau grand axe est parallèle à la costale, du nodus à l'apex antérieur, la droite du petit axe, prolongée, tombant à 90° sur la costale. Cette dernière présente une obliquité par son inclinaison de 4° sur le quadrage, elle donne une nouvelle orientation à la bordante du fait de son importante inclinaison.

Les cas examinés de:

- *Calopteryx haemorrhoidalis* ♂, aile antérieure et postérieure,
- *Calopteryx splendens* ♂, aile antérieure et postérieure,
- *Calopteryx splendens xanthostoma* ♂, aile antérieure et postérieure,
- *Calopteryx virgo* ♂, aile antérieure et postérieure,

peuvent tous être rattachés à ce même phénomène, permettant de penser qu'il est étroitement lié au sexe.

Les femelles de *Calopteryx haemorrhoidalis*, *splendens*, ne nous ont pas montré de mouvement de bascule vers l'avant, mais des bordantes ansées en 7 points, sauf pour *Calopteryx virgo* femelle, aile antérieure et postérieure, où l'on note une très faible tendance au mouvement de bascule.

Chez *Calopteryx haemorrhoidalis* femelle, aile postérieure, on note un très faible élargissement vers l'arrière dans la région du raccordement des cercles.

En conclusion, le caractère principal de variation réside dans le basculement vers l'avant de la bordante postérieure chez les mâles. Ce mouvement se définit par une excentricité signalée dans le tableau suivant.

Notons que l'aile de *Calopteryx virgo* mâle étant plus courte que celle de *Calopteryx splendens xanthostoma* mâle, celle-ci nous montre une plus faible excentricité, mais la hauteur de OF est bien supérieure, ce qui explique la différence dans la nécessité de l'amincissement.

En effet, un basculement trop important (excentricité maximum) à partir de OF élevé, arrondit la bordante postérieure, au lieu de l'amincir. Il faut donc une longueur compensant l'excentricité de la bordante postérieure.

C'est ce que révèlent les comparaisons précédentes.

En considérant le tableau de la distribution des types d'anses (fig. 14), nous constatons que la femelle de *Calopteryx virgo* est la seule dans la série des femelle-

les à montrer, pour l'aile antérieure, une tendance à l'amincissement donné par le mouvement de bascule vers l'avant. Nous pensons que cette particularité est étroitement liée à l'espèce.

Le mâle possédant la bordante la plus arquée de la série, et la palette la plus

large, il n'est pas étonnant de retrouver chez la femelle une légère tendance au mouvement de bascule, totalement absent chez les autres femelles des espèces dont les mâles montrent une accentuation plus modérée.

3. Tableau résumant les mesures effectuées

♀	Aile antérieure	Aile postérieure
	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$
<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>	Grande anse en 7 points $\frac{AB}{2} > \text{ou} = \text{à } 3r$ Extens. Gde anse Gd cercle = 30° Ext. — Pt cercle = 60° FOA = 90°	Grande anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 3r$ ne corresp. pas à la Bor. Très faible élar. Ext. Gde anse Gd cercle = 30° Ext. Gde anse Pt cercle = 60° FOA = 90°
	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} = 3r$	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$
<i>Calopteryx splendens</i>	Gd anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 5r$ Ext. Gd anse Gd cercle = 30° Ext. Gd anse Pt cercle = 60° FOA = 90°	Gd anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 5r$ (presque 6r) Ext. Gd anse Gd cercle = 30° Ext. Gd anse Pt cercle = 60° FOA = 90°
	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$ (presque = 2r)
<i>Calopteryx virgo</i>	Grande anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 3r$ (faible bascule) Excentricité = 4° Gd cercle Excentricité = 2° Pt cercle Ext. Gd cercle = 27° Ext. Pt cercle = 60° FOA = 87°	Grande anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 3r$ Ext. Gd anse Gd cercle = 30° Ext. Gd anse Pt cercle = 60° FOA = 90°

♂	Aile antérieure	Aile postérieure
<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$
	Gd anse en 7 points $\frac{AB}{2} = 3r$ (bascule avant) Excentr. Gd cercle = 3° Excentr. Pt cercle = 7° Ext. Gd cercle = 27° Ext. Pt cercle = 57° FOA = 84°	Gd anse en 7 points $\frac{AB}{2} = 3r$ (bascule avant) Exc. Gd cercle = 3° Exc. Pt cercle = 7° Ext. Gd cercle = 26° Ext. Pt cercle = 57° FOA = 83°
<i>Calopteryx splendens</i>	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$ (presque = 3r)
	Gd anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$ (presque = 2r) Exc. Gd cercle = 4° Exc. Pt cercle = 3° (basc. avant) Ext. Gd cercle = 29° Ext. Pt cercle = 57° FOA = 86°	Exc. Gd cercle = 3° Exc. Pt cercle = 11° (bas. avant) Ext. Gd cercle = 32° Ext. Pt cercle = 47° FOA = 79°
<i>Calopteryx xanthostoma</i>	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$	Petite anse en 7 points $AB > 2r$ (presque = 2r)
	Gd anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$ Exc. Gd cercle = 3° Exc. Pt cercle = 7° (basc. avant) Ext. Gd cercle = 27° Ext. Pt cercle = 54° FOA = 81°	Gd anse en 7 points $\frac{AB}{2} = 2r$ (bascule avant) Exc. Gd cercle = 4° Exc. Pt cercle = 10° Ext. Gd cercle = 29° Ext. Pt cercle = 50° FOA = 79°
<i>Calopteryx virgo</i>	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$	Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$
	Gd anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$, ne corresp. pas à la bor. = mouv.	Gd anse en 7 points $\frac{AB}{2} > r$, (presque = 2r)

de bascule, où $\frac{AB}{2} > 3r$

Exc. Gd cercle = 2°
 Exc. Pt cercle = 7°
 Ext. Gd cercle = 46°
 Ext. Pt cercle = 58°
 $\overline{FOA} = 96^\circ$

ne corresp. pas à la bor. Basc.
 av. de la moitié latérale de l'ai-

le où $\frac{AB}{2} > 3r$

Exc. Gd cercle = 4°
 Exc. Pt cercle = 4°
 Ext. Gd cercle = 42°
 Ext. Pt cercle = 48°
 $\overline{FOA} = 90^\circ$

4. Conclusion sur les différentes constructions d'anses délimitant la bordante postérieure. Leur classement (fig. 11a, b, c, d).

Dans les constructions précédentes nous pouvons dénombrer quatre types d'anses.

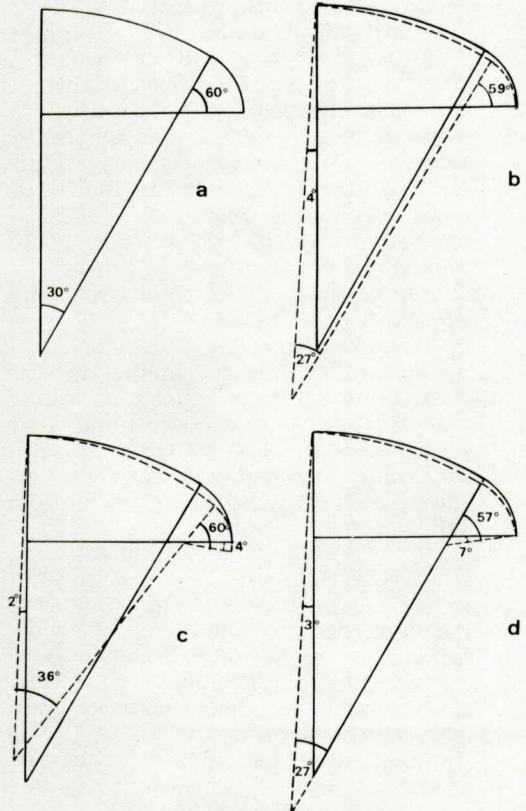
a) Le premier type est le plus simple, il est obtenu à partir d'une anse à trois centres construite en 7 points, et dont les angles des deux arcs de cercles sont égaux à 30° et 60° , ce qui cor-

respond au cadrage de l'aile. Nous pouvons ranger dans cette catégorie: *Calopteryx haemorrhoidalis* ♀ (aile antérieure et postérieure), *Calopteryx splendens* ♀ (aile antérieure et postérieure), *Calopteryx virgo* ♀ (aile postérieure) (fig. 11a).

b) Le deuxième type nous montre une variante dans la construction; en effet, nous notons une excentricité de 4° sur l'axe OF du quadrage. Cette excentri-

FIG. 11. Les différentes constructions d'anses délimitant la bordante postérieure de l'aile chez *Calopteryx*.

- a) Anse en 7 points propre à:
Calopteryx haemorrhoidalis ♀ (ant. et pos.)
Calopteryx splendens ♀ (ant. et post.)
Calopteryx virgo ♀ (post.)
- b) Anses excentrées propres à:
Calopteryx virgo ♀ (ant.)
 ouverture angulaire = 27° et 59°
 excentricité = 4°
Calopteryx splendens ♂ (ant.)
 ouverture angulaire = 29° et 50°
- c) Anses excentrées propres à:
Calopteryx splendens ♂ (post.)
 ouverture angulaire = 32° et 47°
 excentricité = 3°
Calopteryx virgo ♂ (ant.)
 ouverture angulaire = 36° et 60°
 excentricité = 2° et 4°
 (post.)
 ouverture angulaire = 42° et 48°
 excentricité = 4°
- d) Anses excentrées propres à:
Calopteryx haemorrhoidalis ♂ (ant.)
 ouverture angulaire = 27° et 57°
 excentricité = 3° et 7°
 (post.)
 ouverture angulaire = 26° et 57°
 excentricité = 3° et 7°
Calopteryx splendens xanthostoma ♂ (ant.)
 ouverture angulaire = 27° et 54°
 excentricité = 3° et 4°
 (post.)
 ouverture angulaire = 29° et 50°
 excentricité = 7° et 10°



cité amène un léger mouvement de bascule vers l'avant de l'aile, qui a pour résultat un amincissement de la partie postérieure.

L'écart angulaire total varie faiblement, puisqu'il passe à 87° au lieu de 90° chez:

Calopteryx virgo ♀ (aile antérieure), et à 86° chez:

Calopteryx splendens ♂ (aile antérieure).

Notons enfin que le petit cercle voit son rayon régresser, ce qui permet l'amincissement de la bordante du grand cercle, OF étant invariable (figure 11b).

- c) *Le troisième type* est très proche du précédent, mais montre une petite variante de construction. En effet, nous retrouvons une excentricité égale à 3°:

Calopteryx splendens ♂ (aile antérieure et postérieure), et à 2°:

Calopteryx virgo ♂ (aile antérieure). Nous notons une excentricité de 7° du petit cercle pour:

Calopteryx virgo ♂ (aile postérieure), qui est le cas extrême. La variante réside surtout dans l'intersection des rayons délimitant les cercles de raccordement. Cette intersection a pour but de réduire l'ouverture angulaire du petit cercle, qui, chez:

Calopteryx splendens ♂ (aile postérieure)

donne un écart de 47°. Nous trouvons 48° chez:

Calopteryx virgo ♂ (aile postérieure). L'aile antérieure du même insecte nous donne 58°; cet écart plus important du petit cercle correspond à un élargissement plus sensible de l'aile antérieure, en rapport avec la longueur du 1/2 grand axe et la hauteur OF.

Calopteryx splendens ♂ (aile antérieure et postérieure), se partagent les deuxième et troisième type de classement.

Le centre de la nouvelle anse n'est pas dans le prolongement de la droite des cercles de raccordement, mais plus haut que pour les types 1, 2 et 4, augmentant ainsi l'ouverture du grand cercle (36°), accentuant la bascule à son maximum (fig. 11c).

- d) *Le quatrième type* est assez particulier surtout avec le petit cercle sur lequel nous reviendrons plus loin.

L'excentricité des directrices est de 3° chez:

Calopteryx haemorrhoidalis ♂ (aile antérieure et postérieure),

ce qui nous ramène aux types précédents 1, 2, 3.

L'écart angulaire du grand cercle se maintient dans la moyenne, puisqu'il est de 27° (aile antérieure) et 26° (aile postérieure) chez:

Calopteryx haemorrhoidalis ♂.

Nous notons 27° (aile antérieure) et 29° (aile postérieure) chez:

Calopteryx splendens xanthostoma ♂ (fig. 11d).

Les quatre petits cercles des deux espèces précitées sont curieusement décentrés, puisque leur centre est donné par un rayon intersectant la droite de raccordement. Ce nouveau rayon, partant de l'apex latéral, a un écart angulaire variant entre 7° et 10° et se prolonge dans la petite anse antérieure.

Cette nouvelle disposition a pour résultat l'élargissement du petit arc dans la partie interne de l'aile. Ce recul de l'arc, par excentricité, a pour effet l'amincissement de la bordante dans la région apico-latérale de l'aile. Ce cas est représenté chez:

Calopteryx haemorrhoidalis ♂, où le petit cercle antérieur=57° et le postérieur=57°, et chez:

Calopteryx splendens xanthostoma ♂ où le petit cercle antérieur=54° et le postérieur=50°.

Dans le cas présent, ces mesures nous montrent un abaissement de la hauteur de la bordante sur le grand axe, et un prolongement de ce dernier.

5. *Le pourtour de l'aile de Calopteryx et l'ellipse*

a) *Valeur de l'ellipse proprement dite*

On sait que la méthode la plus classique, en vue d'obtenir le tracé d'une ellipse, sans calculs particuliers, est celle connue sous le nom de «tracé d'un mouvement continu». Après avoir choisi deux foyers F' et F'', on relie ces derniers d'un cordeau qui est tendu à son tour par un traceur; le déplacement de ce dernier tout autour des foyers donne une ellipse classique.

Par définition, nous pouvons dire que:
 «L'ellipse est le lieu géométrique des points dont la somme des distances à deux points fixes est constante.»

Nous reconnaitrons différents points importants dans une ellipse, qui sont les axes, les sommets et les centres.

1e $F''F'$ est l'axe focal de l'ellipse.

2e FO est l'axe non focal de l'ellipse.

3e $AF'' + AF' = AF'' + F''B = AB$. $AB = 2a$.

A et B sont deux sommets de l'ellipse.

4e $FF'' + FF' = 2a$ et $\frac{AB}{2} = a$ ou $AO = a$.

En désignant par b la longueur FO , on a, dans le triangle rectangle $F''OF$: $b^2 = a^2 - c^2$.

Le $1/2$ axe b < que le $1/2$ axe a et $AB = 2a$ s'appelle le grand axe de l'ellipse et $FC = 2b$ en est le petit axe (fig. 12).

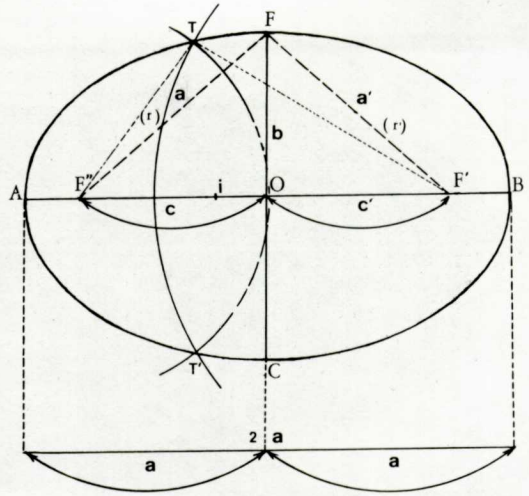


FIG. 12. Construction et valeur géométrique de l'ellipse proprement dite, devant être appliquée aux axes alaires de *Calopteryx*.

— Calcul de la valeur de a sur l'ellipse; le calcul de cette valeur est indispensable pour son application aux mesures alaires.

— Calcul de la valeur de r ($r=a$) sur l'ellipse, valeur indispensable pour son application aux mesures alaires.

b) Calcul de la valeur de a

Afin d'effectuer la recherche de cette valeur nous permettant de situer les foyers F' et F'' sur n'importe quelle ellipse, il faut considérer les longueurs des $1/2$ axes comme connues.

Nous pouvons dès lors effectuer le raisonnement suivant.

Connaissant les foyers F' et F'' et la somme $2a$. De part et d'autre de O , milieu de $F'F''$, portons deux longueurs OA et OB , telles que:

$OA = a$ et $OB = a$

I est un point quelconque entre F'' et F' , tel que $AI = r$ et $BI = r'$.

Nous traçons ensuite les cercles $F''r$ et $F'r'$. Ces deux cercles se coupent en deux points qui sont T et T' ; nous aurons:

$TF'' + TF' = AI + BI = AB = 2a$.

ou $r + r' = r + r' = (r + r') = 2a$.

mais si $r + r' = 2a$, les deux rayons vecteurs $F''F$ et FF' étant placés de façon à donner un triangle isocèle, nous aurons:
 $r = r'$ et $r = a$ (fig. 12).

c) Méthode de l'ellipse adaptée à la bordante de l'aile de *Calopteryx* (figure 13)

Connaissant r et sachant que $r = a$ (r , ramené au triangle isocèle), nous pouvons joindre F et le $1/2$ axe AO par le rayon r et le point F au $1/2$ axe OB par le rayon r . Les points d'intersection seront $F'' =$ foyer cherché, et $F' =$ foyer cherché.

Nous possédons dès lors toutes données pour appliquer la méthode du tracé d'un mouvement continu de l'ellipse sur le

pourtour alaire, et constater quels sont les points de concordance.

Prenant successivement les ailes des trois espèces de *Calopteryx* (ailes ant. et post. mâles et femelles), nous avons pris le grand axe AB et mesuré au compas la

valeur de $\frac{AB}{2} = r = a = AO$.

Cette dimension a été reportée du point F sur la droite AO , donnant le foyer F'' , et la même opération a été effectuée sur le $1/2$ axe OB afin d'obtenir le second foyer F' .

Il est ensuite possible sur une photographie d'aile agrandie d'utiliser les rayons vecteurs matérialisés par un fil.

Le tracé continu de l'ellipse devient possible, ainsi que sa juxtaposition sur une bordante d'aile ayant subi un cadrage géométrique (voir fig. 12).

La figure 13 nous montre quels sont les principaux points permettant la construction d'une ellipse sur une aile cadrée. L'exemple choisi est celui de l'aile antérieure de *Calopteryx virgo* mâle. Les rayons vecteurs $F''F$ et $F'F$ sont «tendus» et en-

d) . Tracé de l'ellipse, adapté à la bordante postérieure et comparaison avec l'anse

ESPECE	♂		♀	
	Aile antérieure	Aile postérieure	Aile antérieure	Aile postérieure
<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>	Anse et ellipse accusent le même amincissement de la bordante par rapport à ces courbes.	Anse et ellipse accusent le même amincissement de la bordante par rapport à ces courbes.	L'anse correspond à la bordante; l'ellipse montre un très léger amincissement.	Correspond à l'ellipse avec léger élargissement de la bordante, identique à ce que montre l'anse. Cette particularité, soulignée aussi par l'ellipse, en démontre l'importance.
<i>Calopteryx splendens</i>	Anse et ellipse accusent la même amincissement de la bordante.	Anse et ellipse accusent le même amincissement de la bordante.	Anse et ellipse accusent un léger élargissement de la bordante.	L'anse correspond à la bordante; léger amincissement de la bordante par rapport à l'ellipse.
<i>Calopteryx virgo</i>	Anse et ellipse accusent le même amincissement de la bordante. Le petit cercle de l'anse se superpose à celui de l'ellipse après rectification sur l'axe du mouvement de bascule.	Anse et ellipse accusent le même amincissement de la bordante. Le mouvement de bascule est fortement souligné dans les 2 démonstrations. Comme pour l'anse l'ellipse suit fidèlement la bordante après correction de l'excentricité de 4° trouvée par la méthode de l'anse.	L'anse montre un léger amincissement de la bordante, l'ellipse montre la même tendance.	L'anse et l'ellipse sont égales à la bordante.
<i>Calopteryx xanthostoma</i>	Anse et ellipse correspondent et accusent le même amincissement de la bordante. Le petit cercle concorde avec l'ellipse.	Anse et ellipse correspondent et accusent le même amincissement de la bordante. Le petit cercle concorde avec l'ellipse.		

6. Classification des anses alaires

Au terme de cette étude nous pourrions tirer un certain nombre de conclusions dont les principaux points sont les suivants.

En ce qui concerne les bases géométriques de l'aile, l'anse en 7 points représentée par l'aile antérieure de *Calopteryx haemorrhoidalis* ♂ constitue l'exemple par lequel nous notons que toute la série des constructions de courbes délimitant parfaitement, ou à très peu près la bordante, suit des figures géométriques bien établies. L'étude géométrique comparative permet de voir que la même méthode appliquée à l'aile postérieure, pour un même exemplaire, ne nous a révélé que de très faibles irrégularités; c'est ce qui nous a amené à effectuer une étude comparative plus approfondie des anses chez les trois espèces de *Calopteryx* étudiées ici, ailes antérieures et postérieures chez ♂ et ♀ compris.

L'étude comparative proprement dite a été effectuée sur des exemplaires de:

- *Calopteryx haemorrhoidalis* ♂ et ♀.
- *Calopteryx splendens* ♂ et ♀.
- *Calopteryx splendens xanthostoma* ♂.
- *Calopteryx virgo* ♂ et ♀.

Nous notons après cette étude qu'une série de 3 types d'anses peut être considérée.

- Le premier représenté par l'anse en 7 points.
- Le deuxième, plus isolé, montre un faible élargissement vers l'arrière, par rapport à l'anse. Il est représenté dans la série, par les ailes postérieures de *Calopteryx haemorrhoidalis* ♀.
- Le troisième type est représenté par les ♂, montrant une tendance à l'amincissement de la bordante par rapport à l'anse, résultat obtenu par mouvement de bascule de l'anse vers l'avant.

Le maximum de courbure est obtenu par le mâle de *Calopteryx virgo*, ce maximum s'accompagne d'une élévation importante de OF.

SCHMIDT (1927) avait juxtaposé deux ailes de *Calopteryx virgo* et de *Calopteryx splendens*. Il avait fait remarquer le débordement de l'aile de la première espèce. Jusqu'à ce jour, aucune autre comparaison n'a été faite au sujet de cette remarque.

Le mouvement de bascule constaté à

propos de *Calopteryx virgo* ♂ et ♀ (ailes antérieures et postérieures), est particulièrement représenté chez les ♂ (aile postérieure) (fig. 15). Cette figure montre le mouvement de bascule de la nouvelle anse, dont l'excentricité donne la variation par rapport au cadrage classique d'une aile.

Nous devons noter que la nouvelle construction s'équilibre sur une droite, allant du nodus à l'apex antérieur; la réduction du petit cercle permet un net recul du raccordement sur l'anse en 7 points.

La figure 14 montre la distribution des anses selon les sexes et leur classement. Ce tableau permet de constater que les exemplaires ♀ ♀ se groupent dans la catégorie des anses construites à partir d'un cadrage classique de l'aile. Par contre, les ♀ ♀ de *Calopteryx haemorrhoidalis* présentent une très faible variante de ce type pour les ailes postérieures seulement, mais peuvent être considérées comme appartenant au type d'anse en 7 points.

Nous pensons que cette variation est liée au sexe. Elle peut être aussi rattachée à la présence de la tâche brune barrant l'extrémité de l'aile, tâche absente chez les femelles des autres espèces.

Les mâles montrent tous un amincissement de la bordante, par rapport à l'anse en 7 points. Ce mouvement de bascule est présent chez les espèces examinées ici. Le maximum de courbure et de flèche est atteint chez *Calopteryx virgo* ♂.

Nous avons enfin tenté une classification des différentes constructions d'anses délimitant la bordante postérieure (fig. 11a, b, c, d).

Ce classement nous donne une série de quatre figures, mettant en relief les excentricités et les rapports angulaires que suivent particulièrement les bordantes postérieures.

On voit selon les espèces, et une morphologie à caractère sexuel, que les arcs à peu près constants, varient autour d'une construction de base, de laquelle ils s'éloignent peu. La figure 14 donne une image de ces groupes, au sein desquels chaque contour a un caractère propre.

Il est enfin intéressant de souligner que tous les pourtours alaires, malgré leurs variantes, sont tous construits suivant une figure géométrique de base, l'anse, permettant de suivre les variations d'une espèce et d'un sexe à l'autre.

L'intérêt de cette «géométrie comparative» semble, par ce fait, nous donner des

moyens de mesures morphologiques assez précises pour être efficaces.

B. Étude comparative

Après cette étude détaillée de la géométrie alaire, nous allons envisager une brève comparaison avec d'autres insectes. Nous examinerons notamment la forme générale de l'aile, l'orientation des nervures, la position des principaux champs alaires et des principales régions.

1. Analyse des différents cas d'orientation de l'axe (fig. 15a, b, c, d).

La figure 15a, particulièrement simple, représente une palette théorique d'allure rectangulaire, limitée vers le haut par un demi-cercle de centre O et de diamètre EF. Les lignes de soutien sont indiquées ici par des flèches. CD correspond à l'axe médian.

Sur la figure 15b, la base devient plus étroite, et l'ensemble rappelle une palette d'aviron. CD correspond toujours à l'axe médian. Les lignes divergent à partir de la base.

La figure 15c, correspond à la figure 15b extrêmement allongée. Elle reproduit le principe général des constructions d'ailes telles celles de *Myrmeleon formicarius* L., où l'axe CD sépare le segment EF en deux parties égales. L'allongement en pointe de l'extrémité, est d'ailleurs caractéristique de la famille (fig. 15c).

Sur la figure 15d, nous ne retrouvons pas la pointe apicale des Myrmeleonidés, mais un arrondi. L'axe médian CD, passant par le milieu de EF, se penche vers la partie postérieure de l'aile. Ceci est bien visible si la costale s'appuie sur une perpendiculaire FG à AB. Nous rencontrons cette disposition chez *Calopteryx*.

Le cas de nervation rayonnante décrit par la fig. 15b, c, ne se rencontre pas seulement sur une aile d'insecte, mais aussi sur certaines nageoires de poissons telles celles des Dipneustes. L'axe médian CD y est parfaitement représenté, matérialisant dans la nature à des niveaux très différents et très éloignés dans le règne animal.

L'axe médian existant chez certains animaux, les Dipneustes par exemple, ne l'est pas chez les Insectes (Névroptères Myrméleonidés), un tracé géométrique peut en-

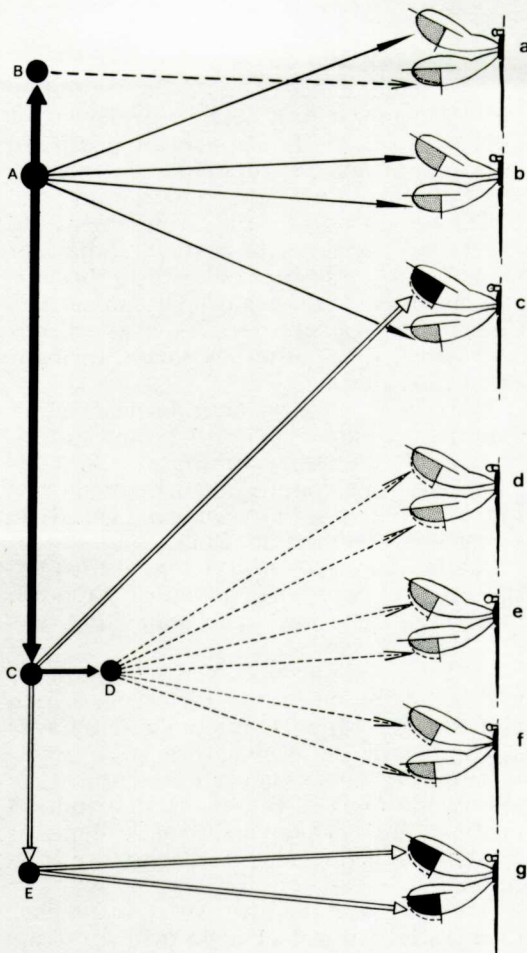


FIG. 14. Classement des anses postérieures (ailes antérieures et postérieures) selon les sexes chez *Calopteryx*.

- A. Groupe renfermant les anses en 7 points correspondant parfaitement avec la bordante.
 - B. Bordante montrant un faible élargissement vers l'arrière par rapport à l'anse.
 - C. Point où les tendances s'orientent d'une part vers un retrait de la bordante (amincissement par rapport à l'anse) et d'autre part, vers un maximum de courbure de la bordante.
 - D. Groupe renfermant les bordantes montrant un amincissement par rapport à l'anse, obtenu par mouvement de bascule de la bordante postérieure vers l'avant.
 - E. Point de courbure maximum de la bordante. Cette tendance est bien représentée chez *Calopteryx virgo* ♂ et se retrouve encore chez *Calopteryx virgo* ♀ pour l'aile antérieure. L'aile postérieure de cette dernière dont la bordante correspond à l'anse, permet de l'associer au groupe A des ♀.
- a) *Calopteryx haemorrhoidalis* ♀
 - b) *Calopteryx splendens* ♀
 - c) *Calopteryx virgo* ♀
 - d) *Calopteryx haemorrhoidalis* ♂
 - e) *Calopteryx splendens* ♂
 - f) *Calopteryx xanthostoma* ♂
 - g) *Calopteryx virgo* ♂

core diviser l'aile en deux parties approximativement égales. Mais l'aile des *Calopterygidae* montre un certain déplacement de l'axe médian. Il s'efface au profit de la bordante antérieure solidement renforcée. Cette armature, qui constitue un bord d'attaque, résulte d'un groupement de nervures (costale, sous-costale, radiale et médiane 1). Cette particularité rapprocherait les Insectes du cas des Oiseaux et des Chiroptères, où les os des bras et des avant-bras, situés antérieurement, forment un bord d'attaque.

REMINGTON (1968), donne la description d'un insecte rare et primitif vivant au Chili. Il s'agit d'un *Protomecoptera* dont les 3 espèces sont connues seulement de nos jours à l'Est des Etats-Unis, à l'Ouest de l'Australie et enfin au Chili.

Cet insecte est *Notiothauma reedi* (Mecoptera), et présente quelques rapports morphologiques avec les *Panorpidae*, *Bitacidae*, et *Boreidae*.

L'aile est d'un type peu commun et montre de nombreuses différences individuelles en rapport, selon l'auteur, avec la complexité de la structure.

L'intérêt de la nervation d'une telle aile réside dans le fait de la distribution médiane des principaux troncs, donnant ainsi à l'aile une sorte «d'armature centrale».

Une telle architecture se trouvant chez un insecte primitif et isolé peut être rapprochée de celle des nageoires des certains poissons «archaïques» (Dipneustes), mais elle s'oppose aux ailes des Insectes dont la costale a subi, comme chez les Odon-

tes, un mouvement de bascule vers l'avant et la ligne médiane se situe vers l'arrière. De telles ailes en palette, résultat de la distribution nervale, ainsi que d'autres caractères, permettent à REMINGTON de placer les *Protomecoptera* à la base même des principaux rameaux évolutifs des Insectes.

2. Comparaison des régions antérieure et postérieure de l'aile de *Myrmeleon formicarius* L. et de *Calopteryx*.

La figure 15c reproduit une aile très allongée et symétrique par rapport à un axe médian. La partie apicale de l'aile correspond à l'apex latéral. Nous distinguons encore deux apex, antérieur et postérieur, à l'extrémité du segment de droite marquant la plus grande largeur de l'aile. Deux arcs de cercle presque égaux, joignant les apex antérieur et postérieur à l'apex latéral, se coupent sur ces derniers. Ce type de construction se rapproche beaucoup des ailes de certains névroptères (*Myrmeleon formicarius*, L.). Les régions antérieure et postérieure sont approximativement égales. Il n'en est pas de même dans le second cas (fig. 15d) où le renforcement de la costale par la sous-costale et la radiale notamment, répond à l'augmentation de la surface alaire dans sa région postérieure et latérale.

Les sens indiqués par P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , montrent les orientations diverses de ces allongements. On remarque ici une grande inégalité des surfaces.

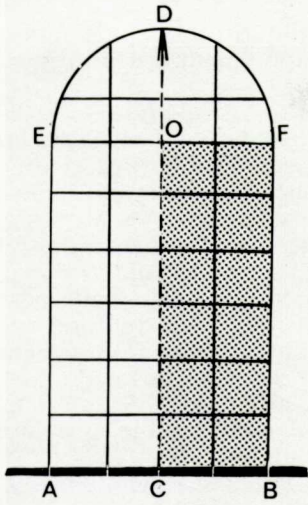
Rappelons que la partie antérieure de l'aile, limité vers l'extérieur par un quart

FIG. 15. Les différents types architecturaux et la variation de l'orientation de l'axe géométrique médian chez *Myrmeleon formicarius* L. et *Calopteryx*.

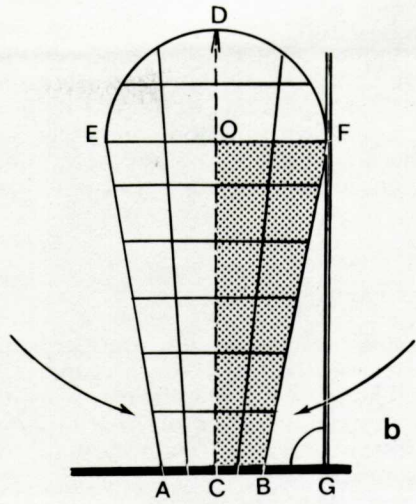
- Architecture simplifiée des principaux axes d'une aile, représentée en utilisant des coordonnées quadrangulaires, destinées à rendre équivalents tous les points de la figure.
- Par comparaison avec la fig. 15 a, l'architecture simplifiée des principaux axes de *Myrmeleon formicarius* L. (névroptère), montre une convergence des bords antérieur et postérieur de l'aile en direction de l'axe géométrique médian. La région des apex peut être délimitée par une ogive géométrique.
- Aile de *Myrmeleon formicarius* L. montrant l'inclinaison des bordantes par rapport à l'axe médian, donnant des zones, antérieure et postérieure, d'égales valeurs. La région des apex peut être délimitée par une ogive géométrique, sauf pour l'apex latéral.
- Chez *Calopteryx*, les axes architecturaux ont subi des variations. L'axe médian est devenu costal. La base alaire n'est plus dans le prolongement perpendiculaire de l'apex latéral, c'est-à-dire que l'axe médian a subi une inclinaison, du fait du déplacement vers l'avant de la costale. La costale devient de ce fait perpendiculaire au corps de l'insecte, et toute la partie postérieure de l'aile s'élargit en palette.

Les points P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , montrent les sens de cet élargissement. La zone antérieure régresse et devient région costale ou marginale rectangulaire, matérialisant l'évolution vers l'avant de l'axe médian.

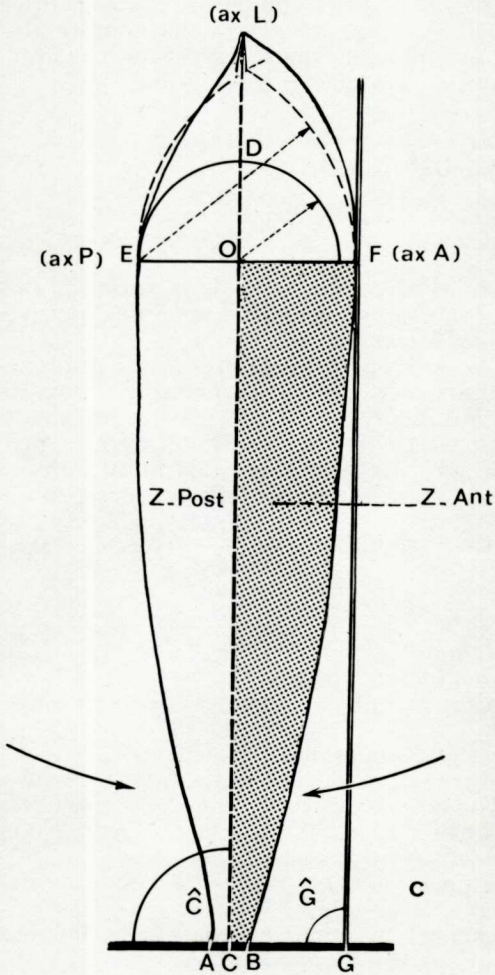
Z. ant., Zone antérieure; Z. post., Zone postérieure; ax. P., apex postérieur; ax. L., apex latéral; ax. A., apex antérieur; P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , sens de l'étalement de l'aile par rapport aux axes; Cost., Costale.



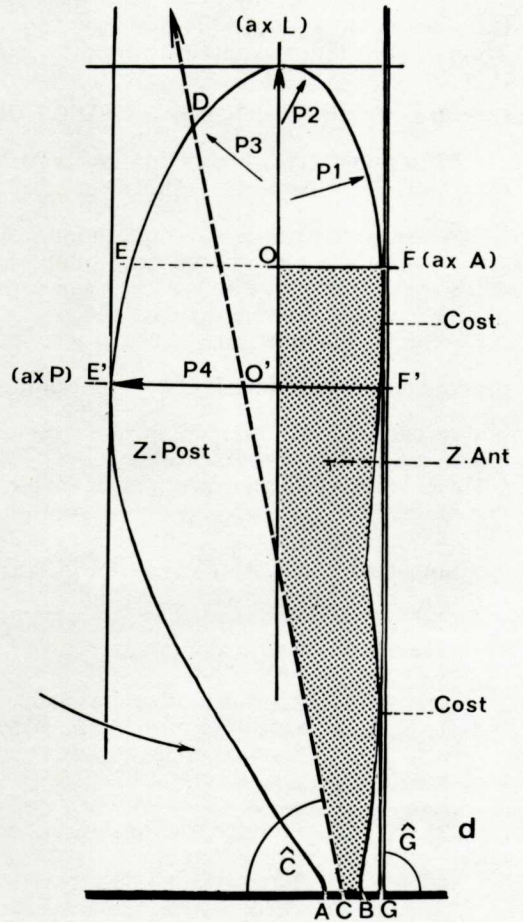
a



b



c



d

d'anse, constitue par sa robustesse une aire d'attaque. Le quart d'anse postérieur, très développé, s'étend sur l'aire de pression et de propulsion. Cette partie plus large remplit les fonctions motrices les plus efficaces. Enfin, la région du vannus, zone de glissement de l'air est la plus passive.

C. Conclusion

Après les mesures et les comparaisons géométriques effectuées sur le genre *Calopteryx*, nous avons étendu ces considérations en examinant les orientations des bords antérieur et postérieur de l'aile de certains névroptères.

Nous nous sommes particulièrement attardés sur l'orientation et le mouvement de bascule par rapport à l'axe géométrique médian chez *Calopteryx*.

Tous ces «mouvements» sont mesurables, grâce aux constructions que nous avons établies. Ces comparaisons morpho-

logiques sont d'autant plus intéressantes qu'elles s'appliquent à des formes anciennes.

Dans le cas de *Notiothauma reedi* on note une distribution basi-axiale et radiante des nervures. L'aile postérieure montre une tendance à la migration de cet axe médian vers l'arrière, de A en A', tendance accentuée dans les deux ailes (antérieure et postérieure) de *Calopteryx*.

On note en effet pour l'aile postérieure de *Notiothauma*, un renforcement plus bordant, obtenu par rapprochement de la sous-costale vers la région costale, région plus étalée dans l'aile antérieure ayant conservé, il nous semble, une architecture plus «simple».

Ce qu'il importe de souligner ici, c'est l'unité dans la solution architecturale et fonctionnelle.

La géométrie comparative ne peut à notre avis, qu'aider à mieux comprendre la morphologie dans ses diverses adaptations ou ses degrés d'évolution.

Chapitre III. APPLICATIONS A L'ÉTUDE DE L'AILE DES ODONATES

APPLICATION DE LA GÉOMÉTRIE ALAIRE AUX ODONATES (Zygoptères, Anisoptères, Anisozygoptères)

Les résultats des mesures que nous présentons, ont été obtenus en appliquant la méthode de construction d'anse en sept points évoqués au Chapitre I.

La figure géométrique a été tracée en prenant comme base OF et $\frac{AB}{2}$ donnés

par le cadrage de l'aile, identique à celui qui a été défini pour *Calopteryx*.

De ce fait, les valeurs de base restent les mêmes, et ces références permettent

une étude comparative de la variation des bordantes par rapport à une anse aux valeurs fixes.

Nous avons, pour la présentation des résultats, schématisé la disposition anatomique alaire, à savoir: partie antérieure et postérieure de l'aile antérieure et postérieure. La limite de séparation dans le texte pour une même aile est la représentation symbolique de $\frac{AB}{2}$.

A. Sous-Ordre des ANISOZYGOPTÈRES

Une seule espèce vivant actuellement au Japon.

Palaeophlebia superstes Sélys = *Epiophlebia superstes* Sélys.

Antérieure La bordante antérieure montre un retrait par rapport à l'anse = amincissement.

La bordante postérieure correspond au grand arc de l'anse, le petit cercle extrêmement réduit souligne un allongement de l'aile en pointe. La présence de l'anse et l'allongement de l'aile ont déjà été notés sur l'espèce fossile. Il y a d'étroits rapports avec l'aile d'*Ictinogomphus* (*Gomphidae*).

Postérieure La bordante antérieure montre un retrait par rapport à l'anse = amincissement.

La bordante postérieure correspond au grand arc de l'anse, le petit cercle extrêmement réduit souligne un allongement de l'aile en poin-

te. Chez l'espèce fossile l'élargissement en palette avec triangularisation isocèle se rapproche des *Calopterygidae*. Chez *Epiophlebia* actuel, le triangle évolue vers le type Anisoptère avec le glissement de l'apex postérieur vers la base alaire.

«*Heterophlebia buckmani*» (Brodie) + (fossile)

Antérieure Petite anse en 7 points: très léger élargissement du grand cercle de la bordante et très léger amincissement du petit cercle.

$\frac{AB}{2} = 3r$. On note dans l'ensemble une nette tendance à l'arrondi.

Grande anse en 7 points: très léger amincissement du grand cercle de la bordante. Même caractère pour le petit cercle. $\frac{AB}{2} > 7r$.

La tendance vers l'amincissement en pointe du grand cercle peut être comparée à la solution notée chez les Anisoptères.

Postérieure Petite anse en 7 points: très léger amincissement du petit cercle de la bordante et très léger élargissement du grand cercle. Dans l'ensemble,

tendance à l'arrondi. $\frac{AB}{2} = 4r$.

Grande anse en 7 points: très fort amincissement de la région de l'apex latéral.

L'apex est très élevé: élargissement maximum de l'aile en palette vers l'arrière. Une comparaison avec *Ascalaphus* peut être effectuée. $\frac{AB}{2}$ sans petit cercle.

B. Sous-Ordre des ZYGOPTÈRES Sélys, 1840

Super Famille des HEMIPHLEBIOIDEA

(Une seule espèce en Australie)

«*Hemiphlebia mirabilis*» Sélys.

Petite anse en 7 points Très léger élargissement de la bordante.

Le petit cercle correspond à l'anse.

$\frac{AB}{2} > 3r$.

Grande anse en 7 points Très léger élargissement de la bordante par rapport à l'anse. La solution de Bossut donne un contact jusqu'au point T' concordant avec le petit cercle. Cette solution donne un centre qui diffère de 8° avec la construction de l'anse en 7 points.

Super Famille des COENAGRIOIDEA

Famille des SYNLESTIDAE

«*Synlestes weyersi*» Sélys

Petite anse en 7 points Très léger amincissement de la bordante dans la région du grand arc. Très léger amincissement de la bordante

dans la région du petit arc. $\frac{AB}{2} > 2r$.

Grande anse en 7 points Très léger élargissement de la bordante dans la région du grand arc. Très léger élargissement de la bordante dans la

région du petit cercle. $\frac{AB}{2} > 4r$.

Dans les deux cas $\frac{AB}{2}$ ont la même valeur, mais l'anse antérieure possède une

flèche bien plus élevée sur le $1/2$ axe donnant une bordante très arrondie $\frac{AB}{2} > 2r$.

La flèche postérieure est faible $\frac{AB}{2} > 4r$, d'où le faible élargissement de la bordante. Ce cas est comparable à celui d'«*Agrion mercuriale*» dont nous retrouvons la particularité dans la correspondance des apex antérieurs et postérieurs, non décalés.

Famille des LESTIDAE

«*Lestes viridis*»

Antérieure Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 2r$, OF↓

Notons un infime bossellement soulignant la région du ptérostigma.

Grande en 7 points $\frac{AB}{2} > 5r$, OF↓

La solution de Bossut offre une plus grande concordance mais montre une nette tendance à l'élargissement de la bordante.

Postérieure Petite anse en 7 points $\frac{AB}{2}$ (presque = à $2r$) OF↑

Grande anse en 7 points $\frac{AB}{2} > 5r$, OF↓

La solution de Bossut montre une plus grande concordance. La tendance à l'élargissement est presque nulle.

La parallèle tracée à partir du point F, de la courbe de la bordante postérieure, conformément à la construction de l'anse en 7 points, n'intersecte plus la bordante au point de raccordement des cercles mais bien en dessous de ce dernier. L'arc tracé à partir du point G, trouvé par application de la méthode habituelle, ne donne ici qu'une courbe éloignée de la bordante de «*Lestes*».

Par contre, la solution de Bossut appliquée aux $1/2$ axes considérés nous donne un tracé correspondant un peu plus exactement à la limite périphérique. Cette solution que nous avons déjà appliquée à l'aile de *Calopteryx*, semble s'adapter ici à une anse très surbaissée, dont la droite AF' base de la construction correspond approximativement à la corde de l'arc AF, trouvée par application de la méthode de l'anse en 7 points.

Il semble que nous soyons ici en présence de deux méthodes «limites» dont la première donnerait le segment AF', d'une anse surbaissée, segment n'intersectant pas la bordante mais le demi grand axe (construction partielle d'anse).

La deuxième solution établirait une construction d'anse surbaissée à partir de cette mesure, dont l'éloignement du point A du centre O, et l'élévation de F' au-dessus

de $\frac{AB}{2}$ donnent une idée.

Il semble que la solution de Bossut s'applique plus aux anses surbaissées qu'aux cas de ces mêmes courbes ayant une flèche assez élevée au-dessus du demi grand axe.

Cette particularité pourrait, semble-t-il, avoir son explication dans le fait que la solution de Bossut est basée entièrement sur une droite joignant A et F', A étant la limite extrême que ne peut atteindre la parallèle F'R'' d'une construction d'anse établie en 7 points.

Donc la première méthode effectue une construction au-dessus de la bordante afin d'obtenir les intersections grâce aux parallèles.

La deuxième établit sa construction au-dessous de la bordante, en se basant sur la droite délimitant le pont extrême que ne peut atteindre la parallèle AF', si elle veut intersecter la bordante.

Ces deux constructions semblent marquer la limite entre deux anses de valeurs différentes, dont la valeur de $\frac{AB}{2}$ et OF semblent à la base.

Bordante antérieure de Lestes viridis (aile ant. et post.)

La bordante antérieure correspond, de l'apex antérieur à l'apex latéral, à une anse que nous pouvons tracer par la méthode en 7 points. La même application peut-être faite à l'aile postérieure avec les mêmes résultats.

Notons que l'aile postérieure, plus petite, donne un demi grand axe du petit cercle, inférieur à la précédente, quoique les deux hauteurs de flèches soient identiques; la différence réside surtout dans l'allongement de la base de l'aile, laissant flèches, et demi axes des autres longueurs approximativement égales.

Conclusion: La différence est donc pour les deux ailes en:

$$OA > O'A$$

accentuant le recul vers la base alaire de l'apex antérieur de l'aile antérieure.

Famille des MEGAPODAGRIIDAE

«*Angiolestes icteromelas*» Sélys

Petite anse en 7 points Élargissement de la bordante surtout dans la zone du grand cercle. $\frac{AB}{2} > 9r$, OF↓

Grande anse en 7 points Élargissement de la bordante surtout dans la zone du grand cercle $\frac{AB}{2} = 5r$.

La solution de Bossut donne satisfaction avec un angle de 9° avec l'anse en 7 points. Cette solution recouvre approximativement la bordante jusqu'au point T'. Le petit cercle est lui aussi recouvert mais n'offre pas la même concordance qu'avec la solution en 7 points; il y a une faible tendance à l'amincissement.

Famille des PLATYSTICTIDAE

«*Platysticta deccanensis*» Laidlaw

Faible élargissement de la bordante dans la région du grand cercle. $\frac{AB}{2} > 2r$.

Grande anse en 7 points Fort élargissement de la bordante postérieure du fait de l'absence du petit cercle dans la construction en 7 points. La solution de Bossut suit plus exactement la bordante, du fait de la plus grande importance du rayon augmentant la tendance à la rectangularisation de la partie postérieure.

Nous obtenons $\frac{AB}{2} > 6r$. L'écart angulaire entre les deux solutions est ici important (14°), du fait de l'aplatissement de la bordante postérieure.

La même particularité est à noter chez *Lestes viridis* où l'écart est de 15°, et où la parallèle de construction joint F' et A.

Famille des PROTONEURIDAE

«*Isosticta banksi*» Till

Petite anse en 7 points Faible élargissement de la bordante pour la partie du grand cercle. Même particularité pour le petit cercle.

Grande anse en 7 points

Faible élargissement de la bordante postérieure pour la partie du grand cercle.

La région figurant le petit cercle se dessine par un prolongement changeant brusquement de direction par rapport au grand cercle. On note dans ce cas un angle de 75° figurant d'une façon assez concrète la largeur d'un rectangle. Ce cas est le premier montrant une incurvation aussi brutale en un point, qui, en d'autres cas, est celui de deux cercles de raccordements.

Tendance à la rectangularisation de la région de l'apex latéral.

Famille des COENAGRIIDAE

«*Agrion mercuriale*»

Antérieure

Petite anse en 7 points. Légère différence avec la bordante.

Élargissement $\frac{AB}{2} > 3r$.

Grande anse en 7 points. Légère différence avec la bordante.

$\frac{AB}{2} > 7r$.

Postérieure

Petite anse en 7 points. Légère différence avec la bordante.

Élargissement $\frac{AB}{2} = 7r$.

Grande anse en 7 points. Légère différence avec la bordante.

Élargissement plus faible $\frac{AB}{2} > 4r$.

En fait, chez *Agrion mercuriale* $\frac{AB}{2}$ de la petite anse = $\frac{AB}{2}$ de la grande anse. Il n'y a donc pas dans ce cas de petite et de grande anse, mais deux anses qui s'égalisent postérieurement et antérieurement. Le faible élargissement propre aux quatre anses correspond bien à un type de grande anse.

Tout en étant un zygoptère *Agrion mercuriale* s'éloigne de la construction notée chez *Lestes* et *Calopteryx*. Nous sommes en présence d'un type en palette presque parfait.

Super Famille des AGRIOIDEA

Famille des AMPHIPTERYGIDAE

«*Diphlebia lestoides*» Sélys

Petite anse en 7 points

Anse parfaite en 7 points. $\frac{AB}{2} > r$.

Grande anse en 7 points

On note un élargissement de la bordante par rapport à la construction de l'anse en 7 points.

Le petit cercle n'existe pas, permettant l'ouverture maximum du grand arc. Il y a donc allongement de la bordante postérieure avec tendance à la rectangularisation, la flèche

OF↓ et $\frac{AB}{2}$ ne peut être comparé à r.

La solution de Bossut donne un arc en très faible contact avec la bordante sur une courte longueur dans la région de l'apex postérieur. Cette solution donnant un tracé parallèle

le à la bordante vraie ne montre aucune tendance de variation alaire par rapport aux exemples précédents.

Famille des *CHLOROCYPHIDAE*

«*Chlorocypha*» Fraser

- Petite anse en 7 points Faible élargissement dans la région du grand et du petit arc de cercle. $\frac{AB}{2} > 3r$.
- Grande anse en 7 points Très faible élargissement dans la région du grand arc. Tendance à la rectangularisation du petit arc. $\frac{AB}{2} = 9r$.

Famille des *HELIOCHARITIDAE*

«*Heliocharis*» Sélys

- Petite anse en 7 points Faible élargissement du grand arc de la bordante dans la région du ptérostigma.
Le petit arc recouvre la bordante. $\frac{AB}{2} > 2r$.
- Grande anse en 7 points Concordance parfaite de la bordante et de l'anse. Cette anse par sa tendance à la rectangularisation est plus petite que l'antérieure. L'apex postérieur est légèrement décalé sur le côté par rapport à l'apex antérieur, donnant à l'ensemble de l'aile un aspect de palette.

Famille des *POLYTHORIDAE*

«*Polythore derivata*» Mac Lachlan

- Petite anse en 7 points Correspond parfaitement avec la bordante. La flèche est très élevée. $\frac{AB}{2} > 1r$.
- Grande anse en 7 points On note un faible élargissement de la bordante pour l'arc du grand cercle. Pour le petit cercle on note une correspondance jusqu'au point de raccordement des deux arcs de la construction. $\frac{AB}{2} > 4r$.

Les deux apex, antérieur et postérieur, on une nette tendance à se situer sur une même ligne comme chez *Agrion mercuriale*, d'où la forme en palette de l'extrémité de l'aile.

Famille des *EPALLAGIDAE*

«*Epallage fatima*»

- Petite anse en 7 points Correspondance avec la bordante présentant une très faible inégalité dans la parcours du ptérostigma.
L'arc du petit cercle concorde. $\frac{AB}{2} = 3r$.
- Grande anse en 7 points Élargissement de la bordante avec tendance à la rectangularisation pour la partie latérale. La partie moyenne de la bordante jusqu'à l'apex postérieur coïncide avec la construction d'anse.
Le petit cercle montre un arc très ouvert au-dessus du 1/2 grand axe, donnant à l'extrémité de l'aile (apex latéral) la forme d'une palette élargie.

C. SOUS-ORDRE DES ANISOPTÈRES Sélys 1840
Super Famille des AECHNOIDEA Tillyard 1926
Famille des GOMPHIDAE Sélys 1850
 «*Ictinogomphus*» O.

Antérieure

- Petite anse en 7 points Correspond pour le grand arc avec la bordante. Faible élargissement pour le petit arc. $\frac{AB}{2} > 2r$.
- Grande anse en 7 points Correspond pour le grand arc jusqu'à la partie moyenne. Au-delà, léger élargissement jusqu'à l'apex latéral. Nette tendance à l'amincissement en pointe de l'aile, amenant la regression presque totale du petit cercle. $\frac{AB}{2} > 24r$.

Postérieure

- Petite anse en 7 points Correspond $\frac{AB}{2} > 2r$.
- Grande anse en 7 points L'anse géométrique correspond dans la région de l'apex postérieur. Au-delà, et dans la région moyenne de l'arc on note une légère dépression de la bordante. Plus loin cette bordante s'élargit jusqu'à l'apex latéral, mais ceci faiblement.

Famille des CHLOROGOMPHIDAE
 «*Chlorogomphus campioni*» Fraser

Antérieure

- Petite anse en 7 points Correspond à la construction $\frac{AB}{2} > 2r$.
- Grande anse en 7 points Correspond avec légère dépression dans la partie moyenne de l'anse $\frac{AB}{2} > 13r$.

Postérieure

- Petite anse en 7 points Correspond à la construction $\frac{AB}{2} > 3r$.
- Grande anse en 7 points Correspond à très peu près avec la construction pour la bordante. Parallélisme assez exacte sur presque tout le parcours de la bordante. Léger élargissement dans la région de l'extrémité de l'aile. $\frac{AB}{2} > 14r$.

Famille des PELATURIDAE
 «*Uropelata*» ♂

Antérieure

- Petite anse en 7 points Correspondance de la bordante avec le grand arc. Amincissement de la bordante dans la région du petit cercle. $\frac{AB}{2} > 3r$.
- Grande anse en 7 points Faible concordance vers l'apex postérieur. Pour le reste de la bordante, prolongement rectiligne jusqu'au voisinage de la région de l'apex latéral. Vers cet apex la bordante s'élargit fortement en un petit arc, donnant à l'extrémité de la

partie postérieure l'allure d'une palette. $\frac{AB}{2}$ ne peut être comparé du fait de l'absence du petit cercle.

Conclusion: la partie posérieure suit une pente ayant un angle de 21°. La solution de Bossut ne donne pas satisfaction avec un écart de 17°.

Postérieure

Petite anse en 7 points Correspond pour le grand arc de la bordante. Très faible élargissement à l'apex latéral. $\frac{AB}{2} > 3r$.
 Ne correspond pas. Importante dépression dans la partie moyenne du grand arc. Le petit cercle concorde $AB = \frac{AB}{2}r$
 La solution de Bossut ne correspond à aucune valeur de l'aile postérieure.

Famille des CORDULEGASTERIDAE Fraser 1940
 «*Cordulegaster boltoni*» Donovan

Antérieure

Petite anse en 7 points On note une concordance avec la bordante $\frac{AB}{2} = 3r$.
 Grande anse en 7 points Dépression de la bordante dans la partie moyenne du grand arc. Le petit cercle correspond $\frac{AB}{2} = 15r$.

Postérieure

Petite anse en 7 points Concordance avec la bordante $\frac{AB}{2} = 2r$.
 Grande anse en 7 points Important amincissement de la bordante postérieure avec légère tendance de dépression dans la partie moyenne. Important amincissement de la bordante du petit cercle $\frac{AB}{2} = 9r$.

Famille des AECHNIDAE Sélys 1850
 «*Anax imperator*» ♂

Antérieure

Petite anse en 7 points Le grand arc correspond. On note un léger amincissement dans la région du petit cercle. $\frac{AB}{2} > 3r$.
 Grande anse en 7 points La grande anse ne correspond pas. Seul le grand arc est présent. Pas de petit cercle. On note une dépression de la bordante dans la partie moyenne. Faible élargissement de l'autre partie jusqu'à l'apex latéral. La méthode de Bossut n'offre pas de solution satisfaisante.

Postérieure

Petite anse en 7 points Correspond avec la bordante. $\frac{AB}{2} > 4r$
 Grande anse en 7 points Cette anse ne correspond pas mais indique la pente de la bordante; elle permet de noter une dépression dans la partie moyenne de la bordante comme pour l'aile antérieure. Nette tendance à l'amincissement. Le petit cercle montre aussi un amincissement de la bordante dans cette région.

Super Famille de LIBELLULOIDEA Tillyard 1926
Famille des «CORDULIIDAE» Tillyard 1926
 «*Hemicordulia asiatica*» Sélys.

Anterieure

Petite anse en 7 points

Concorde avec la bordante $\frac{AB}{2} > 10r$.

Grande anse en 7 points

La bordante montre d'importantes irrégularités d'arcs successifs avec tendance à l'amincissement dans la partie moyenne du grand arc. Le petit cercle concorde ($\frac{AB}{2} > 6r$) avec un très faible amincissement. Tendance à la triangularisation nettement marquée dans l'aile postérieure.

Postérieure

Petite anse en 7 points

Faible élargissement du grand arc $\frac{AB}{2} > 6r$.
 Le petit cercle concorde.

Grande anse en 7 points

Amincissement de la bordante par rapport à la grande anse et important prolongement au-delà du petit cercle. Nette tendance à la triangularisation.

Famille des LIBELLULIDAE
 «*Orthetrum brunneum*»

Anterieure

Petite anse en 7 points

La méthode en 7 points ne correspond pas.
 $\frac{AB}{2}$ (presque = 2r) OF↓.

Grande anse en 7 points

L'anse ne correspond pas à la bordante, seul le petit cercle est recouvert. La bordante s'élargit surtout dans la partie moyenne et latérale de l'aile. On peut dire que l'anse en 7 points donne une solution approchée dans la région gauche et droite de l'apex postérieure. La solution de Bossut donne un grand cercle passant bien au-delà de la bordante, preuve de l'abaissement important de OF. En effet, le petit cercle ne peut être construit, nouvelle preuve de l'allongement important de l'aile. Nous sommes, dans ce cas, en présence d'une tendance à la rectangularisation, non seulement par élargissement mais par allongement de $\frac{AB}{2}$ et abaissement de OF↓.

Postérieure

Petite anse en 7 points

La bordante correspond à la méthode en 7 points. $\frac{AB}{2}$ (presque = 2r), OF↓.

Grande anse en 7 points

La méthode en 7 points ne correspond pas, mais si l'on juge seulement par la dépression de la partie moyenne de la bordante par rapport à l'anse, on peut parler de solution approchée tendant à l'amincissement. Le petit cercle est par contre recouvert par la construction. La solution de Bossut ne correspond pas à la bordante. La raison en est l'élévation de OF au-dessus de $\frac{AB}{2}$. Nous devons noter la pente im-

portante de la bordante, illustrant ici, un cas parfait de triangularisation de l'aile postérieure.

$$\frac{AB}{2} > 12r, \text{ donc } OF \downarrow \text{ si l'on considère l'important allongement de } \frac{AB}{2}.$$

RÉSUMÉ DES VARIATIONS OBSERVÉES SUR LA BORDANTE POSTÉRIURE

Sous-Ordre des ANISOZYGOPTÈRES

Heterophlebia buckmani

ant. Très léger amincissement
Très léger amincissement
 post. Très léger amincissement
Très fort amincissement

Sous-Ordre des ZYGOPTÈRES

Super Famille des Hemiphlebioidea

Hemiphlebia mirabilis

Très léger élargissement
Très léger élargissement

Super Famille des Coenagriioidea

Famille des Synlestidae

Synlestes weyersi

Très léger élargissement
Très léger élargissement

Famille des Lestidae

Lestes viridis

ANSE

ant. Tendance à l'élargissement
ANSE
 post. Tendance à l'élargissement

Famille des Megapodagriidae

Argiolestes icteromelas

Élargissement
Élargissement

Famille des Platystictidae

Platysticta deccanensis

Faible élargissement
Fort élargissement

Famille des Protoneuridae

Isosticta banksi

Faible élargissement
Faible élargissement
Tendance à la rectangularisation de l'apex latéral

Famille des Coenagriidae

Agrion mercuriale

ant. Élargissement
Élargissement
 post. Élargissement
Élargissement

Super Famille des Agrioidea

Famille des Amphipterygidae

Diphlebia lestoides

ANSE

Allongement, amincissement, avec tendance à la rectangularisation; pas de petit cercle

Famille des Chlorocyphidae

Chlorocypha

Faible élargissement
Très faible élargissement et tendance à la rectangularisation du petit cercle.

Famille des Heliocharitidae

Heliocharis

Faible élargissement
ANSE: Solution approchée pour le petit cercle avec tendance à la rectangularisation dans la région de l'apex latéral.

Famille des Polythoridae

Polythore derivata

ANSE

Faible élargissement

Famille des Epallagidae

Très faible inégalité avec l'ANSE

Élargissement de la bordante avec tendance à la rectangularisation.

Sous-Ordre des ANISOPTÈRES

Super Famille des Aechnoidea

Famille des Gomphidae

Ictinogomphus

ANSE pour le grand arc, faible élargissement pour le petit arc

ant.

ANSE pour le grand arc, faible élargissement mais allongement général de l'aile pour la longueur

AB

de $\frac{\quad}{2}$

post.

ANSE

Anse avec légère dépression dans la partie centrale. Tendance à l'amincissement

Famille des Chlorogomphidae

Chlorogomphus campioni

ANSE

ant.

Anse avec légère dépression

ANSE

post.

Anse, mais solution approchée avec tendance à l'allongement et à l'amincissement en pointe

Famille des Pelaturidae

Uropelata

Anse correspond avec le grand arc. Léger amincissement dans la région du petit cercle

ant.

Fort amincissement et tendance à l'élargissement en palette de la région de l'apex latéral.

Anse pour le grand arc, faible élargissement vers l'apex latéral

post.

Importante dépression dans la partie moyenne du grand arc. Le petit arc concorde.

Famille des Cordulegasteridae

Cordulegaster boltoni

ANSE

ant.

Dépression dans la partie moyenne du grand arc; le petit cercle concorde

ANSE

post.

Dépression dans la partie moyenne du grand arc. Important amincissement du petit cercle.

Famille des Aeschnidae

Anax imperator

ANSE

ant.

Ne correspond pas à la partie moyenne de la bordante; dépression et élargissement de l'autre partie jusqu'à l'apex latéral; le petit cercle n'existe pas.

ANSE

post.

Ne correspond pas à l'anse. Dépression dans la partie moyenne du grand arc. Le petit cercle montre une tendance à l'amincissement.

Super Famille des Libelluloidea

Famille des Corduliidae

Hemicordulia asiatica

ANSE

ant.

Ne correspond pas. Importante succession de petits arcs. Dépression dans la partie moyenne de la bordante. Nette tendance à l'amincissement.

Faible élargissement de la bordante

post.

Pente de la bordante vers l'apex latéral avec important amincissement. Tendance à la triangularisation.

Famille des Libellulidae
Orthetrum brunneum
ANSE

ant. _____
Solution approchée.
La bordante suit de près l'anse,
montrant un faible élargisse-
ment de toute la région latérale

ANSE
post. _____
L'anse ne correspond pas.
On note une importante dépres-
sion dans la partie moyenne de
la bordante.
Tendance à la triangularisation.

CONCLUSION

Les mesures d'anses antérieures et postérieures effectuées sur les trois espèces du genre *Calopteryx*: *haemorrhoidalis*, *splendens* et *virgo*, ont permis de mettre en évidence des particularités de la bordante postérieure propre au genre étudié. Ces particularités peuvent se rapporter à deux ensembles géométriques, l'un correspondant à l'anse en 7 points, l'autre, à une anse postérieure modifiée par un léger mouvement de bascule vers l'arrière. Il ressort de cette étude que, si l'orientation de l'axe varie très légèrement, l'aspect géométrique de l'anse n'en demeure pas moins relativement constant; à travers le genre *Calopteryx* la variation angulaire reste très faible.

Il n'en est pas de même pour les autres odonates et notamment chez les grands anisoptères. Nous avons appliqué les méthodes mises au point chez *Calopteryx*, aux Anisoptères et Anisozygoptères.

A travers les diverses familles de Zygoptères on peut constater un abaissement de la flèche OF↓, un faible élargissement de la bordante pour les deux ailes antérieures et postérieures, et une tendance générale à l'arrondissement en palette de l'extrémité de l'aile. Le genre *Calopteryx* naturellement montre soit un faible amincissement de la bordante des ailes antérieures et postérieures, soit une tendance à cet amincissement, ou bien, enfin, un amincissement accompagné d'un mouvement de bascule. Les ailes de Zygoptères présentent ainsi une intéressante tendance à la rectangularisation que nous retrouvons chez les Anisozygoptères. Nous y notons un faible amincissement de la bordante postérieure de l'aile avant (ou $OF=3r$) et de la bordante postérieure de l'aile arrière, que nous traiterons plus loin.

Si, chez les Anisoptères, nous prenons comme exemple *Orthetrum brunneum*

(OF est $\leq 3r$) nous notons, pour l'anse de l'aile antérieure, une nette tendance à la rectangularisation accompagnée d'un allongement du demi axe AB. Cette aile est bien représentative. Un faible amincissement à l'aile postérieure annonce les autres anisoptères de grande taille, tel *Anax*.

Cette tendance à la triangularisation est typique en raison de l'importante de OF par rapport à r; la flèche OF est en effet

AB
très élevée au dessus du demi-axe —
2
le rayon du petit cercle est, lui, très inférieur à OF.

L'aile devient alors triangulaire et sa base se situe très près du corps de l'insecte. Très large à la base, l'aile se termine en

AB
pointe par allongement du demi-axe —
2
Cet allongement devient d'ailleurs maximum sur l'aile antérieure d'*Anax imperator*.

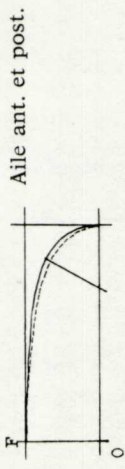
Il y a disparition totale du petit cercle, comme si l'aile tendait à s'allonger et à s'affiner. Nous retrouvons cette même tendance sur l'aile postérieure. L'aile antérieure se caractérise par un faible amincissement, un élargissement en palette de son extrémité et une tendance à la triangularisation, par l'absence du petit cercle. L'aile postérieure ($OF=7r$) se caractérise par une faible tendance à l'amincissement avec dépression moyenne et tendance à la triangularisation.

Chez les Anisozygoptères les deux tendances morphologiques présentes chez les *Calopterygidae* et les Anisoptères semblent se rencontrer. En effet, la tendance à la triangularisation se trouve sur l'aile, de part et d'autre de la flèche OF. Celle-ci est très élevée au-dessus de l'axe AB, ici complet.

SOUS ORDRE DES ZYGOPTERES. (= Coenagriodea + Agriodea + Hemiphlebioidea)

- Types les plus représentatifs
 F. Lestidae. «Lestes viridis».
 F. Agrionidae. «Agrion mercuriale».
 F. Protoneuridae. «Isosticta bancoksi».
 F. Epallagidae. «Epallage fatima».
 F. Platystictidae. «Platysticta deccanensis»

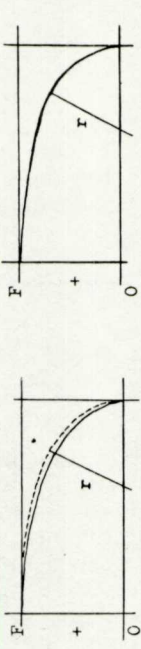
ANSE EN 7 POINTS
 AB
 $OF - \frac{AB}{2} +$
 Faible élargissement de l'anse ou élargissement. Rectangularisation



Super Famille des Calopterygoidea (= Agriidae = Calopterygidae)

- Types les plus représentatifs
 F. Calopterygidae. «Calopteryx haemorrhoidalis»
 «Calopteryx splendens»
 «Calopteryx virgo»

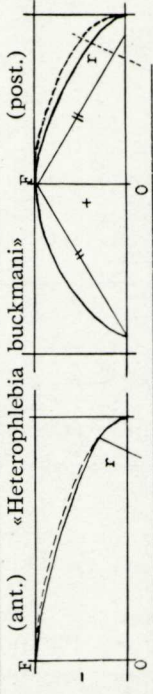
Faible amincissement + mouvement de bascule.
 AB
 $OF + \frac{AB}{2} -$
 Rectangularisation



SOUS ORDRE DES ANISOZYGOPTERES

- «Heterophlebia buckmani»

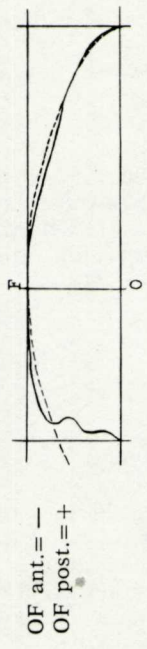
Rectangularisation (ant.) Faible amincis.
 AB
 $OF + \frac{AB}{2} - (OF = 3r)$
 Triangularisation (post.) = Triang. Isocèle. Fort amincis.



SOUS ORDRE DES ANISOPTERES

- Super Famille des Aeschnoidea
 F. Gomphidae. «Ictinogomphus»
 F. Chlorogomphidae «Chlorogomphus camponi»

Allongement de $\frac{AB}{2} - (OF +)$
 Anse allongée corresp. presq. totalement a l'anse en 7 points.
 Une telle bordante unit étroitement ces deux familles.



- Super Famille des Libelluloidea
 F. Pelatridae. «Uropelata»
 F. Cordulegasteridae. «Cordulegaster boltoni»
 F. Aeschnidae. «Anax imperator»

Triangularisation.
 Triangularisation.
 Triangularisation maximum. $OF = 7r$.
 AB
 $\frac{AB}{2} +, OF +$
 Triangularisation.
 Triangularisation. $OF < \text{ou} = 3r$.
 et $OF > 3r$.
 AB
 $\frac{AB}{2} > 12r$.

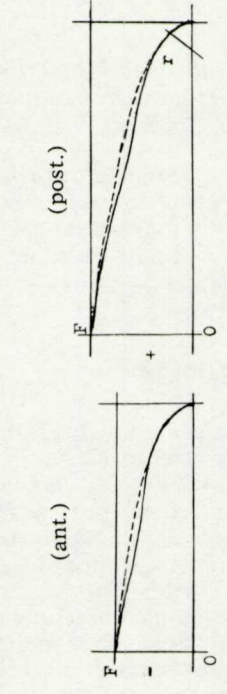


Fig. 16. Tableau général résumant les remarques sur la classification des Odonates basée sur l'anse en sept points.

Les Anisozygoptères présentent cette particularité de posséder une aile postérieure pouvant être délimitée dans un triangle approximativement isocèle. L'anse en 7 points passe au-dessus de la bordante ce qui permet à celle-ci d'avoir une courbe très incurvée sur son grand axe et une flèche OF très élevée au-dessus de ce même axe.

L'élargissement en palette de l'aile de l'anisozygoptère *Heterophlebia buckmani* (fossile) que nous avons choisi, devient maximum au point F, apex postérieur, le point O se situant à peu près sur la moitié de l'axe AB, particularité que l'on retrouve chez les *Calopterygidae* (fig. 16).

Chez les Anisoptères cet apex se déplace latéralement vers le corps de l'insecte, mouvement entraînant un amincissement de toute l'aile en direction de l'apex latéral (fig. 17).

De ce point de vue la principale différence qui sépare les sous-ordres d'Odonates, réside dans le déplacement de cet apex, imposant à l'aile une forme à tendance soit triangulaire, comme chez les Anisoptères, soit rectangulaire comme chez les Zygoptères, où un maximum d'élargissement en palette caractérise les Calopterygides.

Chez les *Gomphidae* et les *Chlorogomphidae*, nous avons remarqué une particularité qui méritait un développement spécial. En effet, la bordante postérieure correspond à très peu près à une anse en 7 points. L'un des demi-axes voit un certain allongement par rapport aux autres Anisoptères; l'apex F occupe une position plus médiane, cas comparable aux *Calopterygidae* et aux Anisozygoptères.

Par ce caractère, *Gomphidae* et *Chlorogomphidae* représentent parmi les Anisoptères, un cas où les bordantes postérieures s'arrondissent de l'apex postérieur vers la partie interne. Un tel caractère, déjà présent chez *Calopteryx*, *Heterophlebia* et *Epiophlebia* pourrait être à notre avis des plus primitifs.

Sur le plan de la systématique, notre étude peut permettre de tirer un certain nombre de conclusions. C'est ainsi que nous considérons maintenant que les Calopterygides semblent s'isoler des autres odonates, par les caractères qui nous intéressent.

Un auteur tel ZALESSKY (1933) estime d'ailleurs que ces insectes pourraient constituer un sous-ordre indépendant, celui des

Calopterycoptera. Zalesky donne à l'appui de cette idée un schéma de l'évolution supposée des sous-ordres de libellules, où cette famille occupe déjà une place particulière.

Son étude est essentiellement basée sur la disposition des nervures de l'aile. Pour lui, cette famille s'isole des autres « par la soudure de M a avec R, de sorte que, en fin de compte, ses premières ramifications (1 et 2) semblent se séparer de R'' ».

La cubitale postérieure conserve son caractère premier, déjà présent chez les *Permodonata*. Cette nervure permet au champ

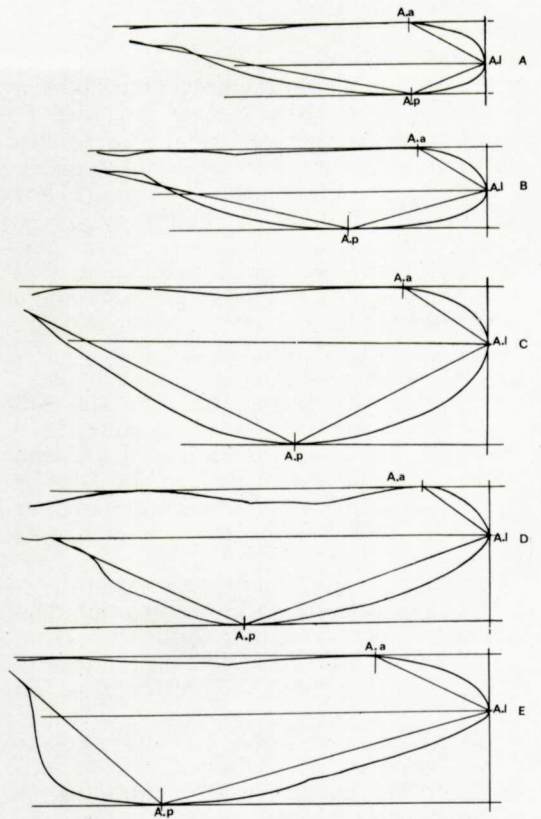


FIG. 17. Série alaire des Odonates classée de la rectangularisation maximum à la triangularisation maximum.

On note de A à E un déplacement de l'apex postérieur vers la région basale de l'aile.

- A. *Agrion mercuriale*.
- B. *Lestes viridis*.
- C. *Calopteryx haemorrhoidalis*.
- D. *Epiophlebia superstes*.
- E. *Anax imperator*.

A.a.=Apex antérieur, A.l.=Apex latéral, A.p.=Apex postérieur.

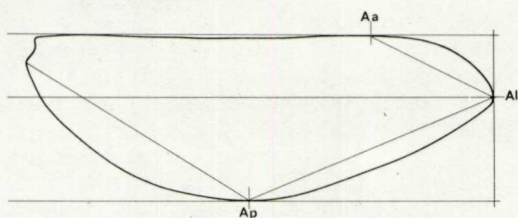


FIG. 18. *Heterophlebia buckmani* (forme fossile). Il est intéressant de constater que les caractéristiques géométriques de cet anisozygoptère fossile ont la particularité d'être un type architectural intermédiaire entre les *Calopterygidae* et un anisozygoptère actuel, *Epiophlebia superstes* Sélys, nettement plus orienté vers le type anisoptère, mais conservant le type ansé caractérisant les *Calopterygidae*.

v, situé sous la cubitale antérieure, de s'allonger vers la partie distale de l'aile. Ce mouvement permettrait ainsi à la nervure bordant extérieurement le *quadrangulum* d'entrer en contact avec la nervure bordant intérieurement le champ v.

Par ailleurs nous avons repris la classification des Odonates empruntée au Traité de Zoologie de P. P. GRASSÉ; nous allons la discuter à la lumière de données nouvelles que nous apporte l'étude de la géométrie alaire. Rappelons que cet ordre comprend trois sous-ordres dont: les Anisozygoptères comprenant trois super-familles, celle des *Hemiphlebioidea* des *Coenagriidea* et celle des *Agrioidea*. Le sous-ordre des Anisoptères comprend deux super-familles, celle des *Aeschnoidea* et des *Libelluloidea*.

Nous avons été amenés, en raison de la forme générale de l'aile qui traduit deux tendances, la rectangularisation et la triangularisation, à faire un certain nombre de remarques à propos de cette classification.

Il y a lieu de souligner ici, qu'il est clair dans notre esprit, qu'il ne saurait être question de considérer les formes fossiles et les formes vivantes comme une suite phylogénétique continue, mais qu'il s'agit probablement en réalité de propositions anatomiques peut être plus ou moins isolées perdues au cours du temps. La rectangularisation caractérise le sous-ordre des Zygoptères où nous distinguons deux super-familles, celle des *Agrioidea* et celle des *Coenagriidea*. Nous rangerons dans la première les *Coenagriidea*, les *Agrioidea* et les *Hemiphlebioidea*. On peut envisager

d'établir une séparation entre deux catégories d'Odonates, car, si chez tous, la tendance est à la rectangularisation, le rectangle déterminé par l'aile s'étire d'avantage chez les *Agrioidea* que chez les *Calopterygidae*. La flèche OF diminue, alors que

le demi grand axe $\frac{AB}{2}$ s'accroît. Chez les

Calopterygidae ce rectangle se raccourcit. La flèche OF s'élève alors que le demi grand axe $\frac{AB}{2}$

grand axe $\frac{AB}{2}$ décroît.

L'aile prend ici une allure de palette très caractéristique.

La triangularisation marque l'aile des Anisoptères dont nous gardons les deux sous-familles: les *Aeschnoidea* et les *Libelluloidea*.

Cependant les familles des Gomphidés et des Chlorogomphidés se distinguent des autres par une arcature plus forte des bordantes, caractère déjà représenté chez les Caloptérygides et qui se montre aussi chez les Anisozygoptères et Anisoptères. Si le cadrage géométrique de l'aile s'écourte d'avantage que chez les Zygoptères, le triangle contenu dans l'aile (triangle tracé de la base de l'aile à l'apex postérieur et à l'apex latéral) tend par contre à devenir approximativement isocèle. La partie postérieure de l'aile s'élargit ainsi au maximum, et cette palette sous-tendue par un triangle, demeure fondamentalement différente des autres odonates. Cette forme particulièrement nette sur l'aile postérieure du type fossile constitue un cas unique dans cet ordre.

Dans le cas de l'espèce actuelle *Palaeophlebia superstes* Sélys = *Epiophlebia superstes* du Japon, on peut noter un certain rapport, pour l'aile antérieure, avec le type d'anse que nous avons observé chez *Ictinogomphus* (*Gomphidae*); quant à l'aile postérieure correspondant au type ansé surbaissé, le petit cercle extrêmement réduit, souligne un allongement de l'aile en pointe, associant plus étroitement l'espèce actuelle aux caractères notés chez les Anisoptères. *Epiophlebia* actuel devient, géométriquement, un intermédiaire entre la forme fossile et les Anisoptères.

En passant des *Agrion* aux *Anax*, nous observons une évolution continue qui aboutit chez les derniers à un raccourcissement de la zone basale, limitée par la flèche OF. La droite menée de la base de

l'aile à l'apex postérieur, glisse progressivement sur le demi grand axe $\frac{AB}{2}$

en direction du point O.

Dans cette évolution, du point de vue de l'ensemble des caractères géométriques, les Anisozyoptères se différencient bien des autres sous-ordres et occupent effectivement une position intermédiaire.

Sur le plan de la phylogénie les Gomphidés ont été précisément considérés comme les formes les plus anciennes des Odonates. Or la géométrie alaire montre que les particularités présentes chez les Gomphidés caractérisent tous les Caloptérygides, et se rencontrent aussi dans une certaine mesure chez les Anisozyoptères. REDTENBACKER (1886) reconnaît aux Caloptérygides un certain nombre de caractères ancestraux qui les placeraient à la base de l'évolution des Odonates, et enlève aux Gomphidés cette possibilité. Ch. BRONGNIART (1894) oppose à la complexité des ailes d'Aeschnidés et de Libellulidés, la simplicité de celle des Caloptérygides et des Agrionidés, qui n'est pas sans rappeler la nervation primitive d'allure radiante.

Nos observations s'ajoutant à ces remarques nous feraient pencher en faveur de l'opinion de Redtenbacker.

À la lumière de nos résultats, nous allons tenter d'apporter quelques remarques relatives à l'évolution de l'ensemble des Odonates.

Deux courants semblent pouvoir être à l'origine des Odonates actuels, les Protozyoptères (TILLYARD, 1925) aboutissant aux Zygoptères, et les Protanisoptères (CARPENTER, 1931) à l'origine des Anisoptères. Cette opinion très séduisante n'en est pas moins contestée par certains auteurs, et notamment L. CHOPARD (1949). Celui-ci révèle les hésitations de Tillyard, qui admet que l'aile des Anisoptères pourrait dériver des formes Zygoptéroïdes.

Les ailes des Zygoptères tel que leur nom l'indique se replient et s'accolent obliquement au repos. E. SÉGUY (1959) souligne que cette disposition peut être retrouvée chez les Anisoptères qui sortent de l'exuvie nymphale. Elles ne s'étaient que plus tard. Cette remarque viendrait en effet à l'appui d'un courant Zygoptéroïde. Pour Chopard, qui insiste sur l'inégalité de l'étalement au repos de leurs ailes, et pour BRONGNIART (1894), qui s'attarde à la sous-costale, parmi d'autres caractères,

ces insectes rappellent les Anisoptères et notamment les Gomphidés, mais il note (Brongniart) que la nervure IX forme le bord postérieur de l'aile comme chez les Agrionidés, particularités des Zygoptères.

Chopard rapporte que Tillyard a décrit une larve d'anisozyoptère de type anisoptère, mais dont le gésier était plus voisin de celui des Zygoptères.

Brongniart lui-même affirme qu'en réalité la nervation des ailes des Anisozyoptères est intermédiaire entre agrions et aeschnes.

SÉLYS-LONGCHAMPS (1889) fait de *Palaeophlebia superstes* un *Calopterygidae*. À notre avis les Anisozyoptères semblent proches de cette famille, du moins pour les caractères qui nous intéressent, caractères définis par nos représentations géométriques.

Grâce à ces caractères nous pouvons donner une interprétation des relations entre les divers Odonates. Cette interprétation est essentiellement basée sur la rectangularisation et la triangularisation des ailes, en étroite relation avec l'archaïsme de la disposition radiante des nervures chez les *Calopterygidae*.

L'architecture, variant comme nous l'avons démontré, des Zygoptères aux Anisoptères en conservant des caractères intermédiaires chez les Anisozyoptères et les *Gomphidae*, dénote une tendance évolutive morphologique en étroite relation avec la valeur fonctionnelle des ailes.

En effet, les types alaires ansés représentent des insectes plus archaïques, aux battements lents. Les Anisoptères, aux battements rapides, ont une morphologie très marquée par cette adaptation très particulière à la vitesse, dont le résultat maximum est la triangularisation et l'affinement des ailes à l'apex latéral; il faut aussi noter dans ce même ensemble, le décalage transverse des nervures dans les régions cubitale et anale; notons aussi une consolidation très marquée de l'ensemble constituant le bord d'attaque.

Une telle transformation d'un plan architectural simple, tel celui noté chez certains *Planipennes* (*Myrmeleo*, *Ascalaphus*, *Hemerobius*) et particulièrement représentatif chez les *Protomecoptera* (*Notiothamidae*), prouve le rôle évident d'une activité fonctionnelle sur la morphologie alaire.

La distribution radiante des nervures, leur différenciation peu marquée, nous

semblent en étroit rapport avec un type alaire ansé et s'en éloignent au fur et à mesure d'une adaptation particulière.

M. INAGAKI H. (1970) donne dans son étude d'allométrie interspécifique chez les Odonates d'intéressants résultats et particulièrement en ce qui concerne les *Calopterygidae*. Les moyennes géométriques de la longueur des fémurs et des tibias des trois paires de pattes, donnent au genre *Calopteryx* une grande unité morphologique. Ces caractères les placent en dehors des autres familles tant Zygoptères qu'Anisoptères sur le schéma des variabilités donné par l'auteur, ce qui pourrait permettre de conclure à une sorte de stabilité et peut-être d'archaïsme, constatations parallèles à celles offertes par l'étude des ailes.

Les *Calopterygidae* représentent pour nous le groupe contenant les valeurs morphologiques les plus générales, pour les Odonates, que la méthode de la géométrie alaire semble souligner particulièrement.

Les points capitaux que nous venons d'examiner prouvent l'intérêt d'une «géométrie comparative» qui nous apporte quelques moyens efficaces d'estimation des variations, de mesures morphologiques et fonctionnelles, au moins pour l'ordre d'Insectes considéré dans ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- AGUESSE, P. 1968. *Faune d'Europe et du Bassin méditerranéen. Odonates*. Masson. Paris.
- BRONGNIART, C. 1894. *Recherches pour servir à l'histoire des Insectes fossiles des temps primaires, précédées d'une étude sur la nervation alaire des Insectes*. Saint Etienne, texte 495 p., Atlas 44 p., et 37 pl.
- BEURRIER. 1952. *Géométrie appliquée*. Dunod. Paris.
- BOUCHENY, G. & GUERINET, A. 1920. *La géométrie*. Larousse. Paris.
- BRÉMOND, J. 1971. Contribution à l'étude de la nervation alaire chez les Calopterygidae (Odonates), *Ann. Soc. ent. Fr.*, 7 (2): 261-286.
- CHOPARD, L. 1949. *Traité de Zoologie. Insectes*, IX, Masson. Paris.
- CLUZEL, R. & ROBERT, J. P. 1952. *La géométrie et ses applications*. Delagrave. Paris.
- CLUZEL, R. & ROBERT, J. P. 1965. *Géométrie (4e partie) à l'usage des lycées techniques et des collèges d'enseignement industriel*. Delagrave. Paris.
- COMSTOCK. 1918. *The wings of Insects*. Ithaca (N. Y.). *Introduction to entomology*. Ithaca (N. Y.), 1936.
- CONCI & NIELSEN. 1956. *Fauna d'Italia. Odonata*. Calderini. Bologna.
- CRAMPTON, G. 1916. The phylogenetic origin and the nature of the wings of Insects according to the paranotal theory. *J. of the N. Y. Entomological Soc.*, 24: 1-39.
- FRASER. 1957. A reclassification of the order Odonata. *Royal Zool. Soc. N. S. Wales*. November, 133.
- INAGAKI, H. 1970. Quelques aspects de l'allométrie interspécifique et essai d'une macrosystématique quantitative chez les Odonates. *Bull. Soc. Ent. Fr.*, 75, III: 1970.
- JEANNEL, R. 1949. *Introduction à l'Entomologie. Fasc. I. Anatomie générale, classification*. Boubee. Paris.
- LABADIE, J. 1900. La vie est esclave de la géométrie. *Sciences et Vie*, 00: 198-204.
- LAMEERE, A. 1917. Sur la nervation alaire des Insectes. *Bull. Acad. Roy. Bel.*, 00: 138-149.
- LAMEERE, A. 1917. Paléodictyoptères et Subulicornes. *Bull. Sté. Entomologique de France*, n.° 4:00-00.
- LONGFIELD, C. 1949. *The Dragonflies of the British Isles*. Warne. London.
- LOUIS, J. 1965. Remarques sur l'organisation de la nervation transversale de l'aile de l'abeille domestique (*Apis mellifera mellifera* L.). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 261: 5623-5625.
- LOUIS, J. 1966. Sur la constance d'une figure géométrique virtuelle dans la nervation de l'aile antérieure des Hyménoptères mellifères (Fam. Apoidea). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 263: 1391-1394.
- LOUIS, J. 1969. Études sur les ailes des Hyménoptères (Mécanique anatomique, Nomenclature, Evolution), *Thèse* (Ronéo.) (Apidologie, 1970 à 1972).
- MARTYNOV. 1925. Sur l'interprétation de la nervation et de la trachéation des ailes des Odonates et des Agnathes. *Revue Russe d'Entomologie*, 00: 145-174.
- MARTYNOV. 1925. Über zwei grundtypen des Flügel bei Insekten un ihre Evolution. *Zeits. für Morphol. und Ökologie des Tiere*, 4:465-501.
- MOREUX, T. 1939. *Où sommes nous?* Maison de la Bonne Presse. Paris.
- MORGAN. 1912. Homologies in the Wing Veins of May-Flies. *Ann. Entomol. Soc. Amer.*, 5:00-00.
- NEEDHAM, J. G. & COMSTOCK, J. H. 1898-99. The wings of Insects. *Amer. Naturalist*. XXXII: 00-00; XXXIII: 00-00.
- OEHMICHEN, E. 1920. *Nos maîtres les Oiseaux; étude sur le vol animal et la récupération de l'énergie dans les fluides*. (Partie Insectes). Dunod. Paris.
- PERRIER, R. 1954. *Faune de France. Insectes Inférieures*. Delagrave. Paris.
- REDTENBACKER, J. 1886. Vergleichende Studien über das Flügelgader der Insecten. *An. d.K.K. Nat. Hist. Hofmas.* I. 3.
- REMINGTON, C. L. 1968. A rare primitive Winged Insect from Chile. *Discovery Fall*, 4 (1):36-41.
- RIS, F. 1909. *Die Süßwasserfauna Deutschlands, 9 Odonata*. Gustav Fischer. Jena.
- ROBERT, P. A. 1958. *Les Libellules (Odonates)*. Delachaux et Nietslé. Neuchâtel.
- ST. QUENTIN, D. 1967. Entwicklungstendenzen in Flügelgader der Odonaten. *Entomologische Abhandlungen. Staatliches Museum für Tierkunde. Dresden*, 32 (18): 312-339.
- SAINTE-LAGUE. 1945. Les mathématiques et la vie. *Sciences et Vie*, 336:120-129.
- SCHMIDT, E. 1951. The Odonata of Madagascar.

- Zygoptera. *Mem. Inst. Scient. Madagascar*, A, 6:115-283.
- SÉGUY, E. 1959. Introduction à l'étude morphologique de l'aile des Insectes. *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris*, A, XXI, 2448 p.
- SÉLYS-LONGCHAMPS, E. 1854. Synopsis des Calopterygines. *Bull. Ac. Sc. Bruxelles*, 1853-54:3-73.
- SÉLYS-LONGCHAMPS, E. 1854. Monographie des Calopterygines. *Mém. Soc. Roy. Sc. Liège*, IX, XI 291 p.
- SÉLYS-LONGCHAMPS, E. 1888. *Palaephlebia*. Nouvelle Légion des Caloptéryginés. *Soc. Entomol. Belgique*, 32, 33 (III, n.° 116):154.
- TILLYARD, R. J. 1923. The wing venation of the order Plectoptera. *J. Linn. Soc. London*, 35:00-00.
- TILLYARD, R. J. 1928. *The evolution of the Order Odonata*. Records of the Indian Museum. Vol. XXX, II. Calcutta: 151-172.
- VIGNON, P. 1930. *Biologie expérimentale*. Lechevalier, Paris.
- WOODWORTH, P. 1960. The wing veins of Insects. *Univer. Calif. Public. Agric. Exp. St. Techn. Bull. Entom.* I: 1-52.
- ZALESSKY. 1933. Observations sur la nervation de l'étude de l'Insecte Permien «*Pholidoptilon* et leur évolution phylogénétique à la lumière de l'étude de l'Insecte Permien «*Pholidoptilon camense*». *Bull. Soc. Géol. France* (5), III, 32: 457-518.