

COMPARAISONS
DES ORGANES DU VOL
DANS LA SÉRIE ANIMALE

Par M. le D^r P.-C. AMANS

INTRODUCTION

Me conformant au titre de ce travail, j'examinerai les principaux organes du vol dans la série animale; je tâcherai par la comparaison d'arriver à une machine type, réunissant les facteurs constants et nécessaires du vol, et dégagée de tous les autres appareils de la vie animale.

La machine à vol se compose de parties squelettiques et musculaires. On a voulu aussi faire jouer un grand rôle au système respiratoire, aux canaux aériens. L'importance de ce système a été fort contestée, et après mûre réflexion j'ai rejeté son étude de mon travail. L'appareil respiratoire offre dans la série animale une très grande variété, et pas une seule disposition jouant un rôle mécanique constant. Son importance est du même ordre que celle des systèmes nerveux, circulatoire, etc. : énorme pour la vie de la machine, secondaire pour sa constitution.

La durée de mon travail a été partagée en trois périodes. Dans la première j'ai disséqué et dessiné tous les ordres d'Insectes sans me préoccuper de ce qu'on avait pu écrire avant moi sur cette matière. Bien m'en a pris, car j'aurais été dès le début effrayé soit par l'abondance des matériaux, soit par les difficultés du sujet. J'aurais sûrement été influencé par l'autorité de mes prédécesseurs, et découragé par l'idée de ne pouvoir faire mieux. Qui sait même si j'aurais pu les comprendre à la simple lecture? La mécanique animale est une

question des plus ingrates de la Biologie, et qui réclamerait, pour être bien comprise, une somme de connaissances bien difficile à réaliser chez un seul homme. Chacun traite le problème avec ses connaissances spéciales, souvent au grand embarras du lecteur inexpérimenté. J'ai évité cet embarras en usant dès le début de la table rase.

Dans la seconde période, je me suis un peu formé la main aux manipulations de mécanique manuelle et de sculpture. Je laisserai de côté les opérations de mécanique manuelle, surtout destinées à la physiologie du vol et à la résistance de l'air, dont je n'ai pas à m'occuper pour le moment, du moins dans ce travail. Un mot seulement sur la sculpture. On sait de quelle utilité est le crayon pour l'anatomiste : la représentation sur un plan force l'observateur à bien préciser la forme et les contours apparents de sa pièce anatomique. Mais la représentation dans l'espace réclame une précision complète : le crayon se contente de deux dimensions ; l'ébauchoir en veut trois, et pour les avoir, soumet la patience de l'observateur à de terribles épreuves.

Ce n'est pas ici le lieu de raconter mes tribulations ; on comprendra facilement que si jamais mon travail a été personnel, c'est en pareille matière : personne pour me guider ou me corriger. Le meilleur artiste du monde m'aurait été d'un piètre secours pour faire une Mouche. Je n'insiste pas sur l'importance de l'ébauchoir, soit pour l'instruction de l'observateur, soit pour la vulgarisation. Je lui dois pour ma part d'importantes corrections, et un supplément de détails qui m'avaient échappé en première analyse.

Dans la troisième période, j'ai abordé la bibliographie ; j'ai lu un grand nombre d'ouvrages ayant trait plus ou moins directement à la machine du vol. J'ai alors constaté que si certaines parties de mon travail étaient connues depuis longtemps, il en restait d'autres, heureusement, qui pouvaient passer pour originales. Cette lecture a provoqué de nouvelles dissections de ma part, et abouti finalement à cette rédaction.

La plupart des anatomistes se sont adressés à un seul type,

ou à un nombre restreint de types. Un seul a abordé le problème dans toute la série : c'est Chabrier. Mais ses analyses ne sont pas également soignées pour tous les ordres, et ses généralisations sont très incomplètes. Aucun n'a osé donner une nomenclature unique pour toutes les pièces de la machine des Insectes. Certains ont essayé des dénominations tirées de l'anatomie des Vertébrés ; je les ai impitoyablement rayées, et j'ai maintenu seulement celles qui avaient trait à la position, à la forme ou à la fonction. Il fallait aussi tenir compte de la priorité ; je n'ai jamais failli à cette règle de probité scientifique.

Je suis arrivé ainsi à établir une nomenclature unique et simple, surtout pour les osselets basilaires et les nervures des Insectes. Outre le désarroi jeté par la multiplicité des noms, j'ai constaté une certaine confusion et obscurité dans la description des articulations. L'arthrologie des Vertébrés laisse beaucoup à désirer ; celle des Insectes est à faire. J'ai essayé de classer les divers types d'articulations, en me basant sur la nature géométrique des surfaces articulaires, sur l'étendue et la consistance des ligaments. Je suis loin d'avoir épuisé ce dernier sujet : j'espère seulement avoir apporté plus de clarté dans la description.

J'ai enfin terminé mon travail par des considérations géométriques, qui pourraient servir de base à la construction d'une aile artificielle.

Je devais primitivement me borner aux Insectes, et j'estimais que la besogne était déjà bien rude. J'ai cru néanmoins devoir pousser plus loin mes dissections, et les étendre aux Vertébrés. J'ai surtout étudié des Chéiroptères et des Oiseaux ; j'aurais bien voulu étudier aussi des Poissons et des Reptiles volants, et d'autres encore, bien moins doués pour le vol ; il m'a été impossible d'en avoir un seul exemplaire. On critiquera moins cette lacune dans mon travail, si l'on considère le genre de vol de ces derniers types. Je puis en somme comparer les principaux organes du vol dans huit ordres d'Insectes et deux classes de Vertébrés.

Mon travail a été fait en partie à la Faculté des Sciences, au laboratoire de M. le professeur Sabatier. Avec un tel maître, on s'habitue de bonne heure à dompter les ennuis et les difficultés de la dissection. Nous ignorons pour notre part ce qu'est le découragement.

DES ORGANES DU VOL CHEZ LES INSECTES

PLAN. — Cette étude comprend tous les ordres d'Insectes ; j'ai omis cependant les Strepsiptères, je n'ai pu m'en procurer un seul exemplaire. J'ai disséqué un grand nombre de genres dans chaque ordre ; mais fidèle à la méthode de Chabrier, je les ai groupés en général autour d'un seul type pour chaque ordre. C'est ainsi que j'ai choisi l'*Æschna* chez les Pseudo-Névroptères, la Panorpe chez les Névroptères, les *Meconema* et *Acridium* chez les Orthoptères, le Sirex et le Xylocope chez les Hyménoptères, la Cigale chez les Hémiptères, le *Saturnia* et le Sphinx chez les Lépidoptères, la Volucelle et la Tipule chez les Diptères, plusieurs types chez les Coléoptères.

TECHNIQUE. — Les Insectes étaient conservés soit dans l'alcool à 90°, soit dans des liquides à base de glycérine et de potasse. Dans le premier cas, l'adhérence des muscles au point d'attache est si forte que l'on risque dans une traction un peu brusque, d'arracher l'un et l'autre. Dans le second, plus il y a de potasse, plus la dissociation est facile ; dans la proportion de 35 à 40 pour 100, on peut enlever le système musculaire couche par couche, sans endommager le squelette.

Les pièces, une fois préparées, sont conservées indéfiniment en les humectant avec un mélange de vinaigre et de glycérine. Les ligaments et les membranes conjonctives sont ainsi à l'abri de la dessiccation, et cela permet d'étudier les articulations à n'importe quel moment.

Les instruments de dissection ne sont pas de grand volume ; on le conçoit aisément si on songe, par exemple, à la désarti-

culatation du sigmoïde chez un *Culex*. On peut emprunter à la boîte du chirurgien oculiste des instruments précieux.

Il y en a d'autres qu'on ne trouverait nulle part, et qu'il faut préparer soi-même. Pincés microscopiques, lancettes et crochets à pointe presque invisible, aiguilles et spatules en corne, poils de porc, etc., etc.

Les pièces sont manipulées sous un fort éclairage, assez simple du reste : une lentille plan-convexe est placée devant la flamme d'une lampe à pétrole; cette lentille en concentre les rayons sur un ballon sphérique rempli d'eau. C'est au foyer de ce ballon que je fais mes dissections, à l'air libre, quelquefois dans l'eau. J'examine à un fort grossissement de loupe; j'emploie souvent l'objectif n° 1 de Nachet, à cause de son petit volume, il est peu encombrant. Je le perche sur une tige en cire à modeler, qui me permet de lui donner toutes les directions possibles et me laisse les deux mains libres.

La cire à modeler joue un grand rôle à cause de son état cataleptique (1). Par un mélange de cire avec une plus ou moins grande quantité de térébenthine de Venise, de gutta-percha, de colophane, etc., j'obtiens des matières de consistances diverses pour fabriquer des bouchons, des cuvettes, des tables à dissection, des bassins à hydrotomie, des supports d'instruments à articulation universelle, etc.

Tel est, à peu près complet, l'outillage de l'entomotomiste. Il faut en outre, ai-je besoin de l'ajouter, une patience inaltérable et une sage lenteur.

NOMENCLATURE. — On est effrayé de la multiplicité des noms qui ont été donnés aux mêmes pièces; il suffit de parcourir les Mémoires de Kirby, Knoch, Audouin, Jurine, Strauss, Mac-Lay, Latreille, Chabrier, pour voir l'origine de tant de confusions. Latreille commençait déjà à s'en plaindre

(1) Nous préparons la cire à modeler avec parties à peu près égales de cire jaune ou blanche et de térébenthine de Venise. L'addition de colophane ou de poix la rend dure, mais cassante; l'addition de gutta-percha la rend dure et souple en même temps.

en 1822, et il engageait (1) Audouin, Brongniard et Odier à respecter les dénominations déjà données par leurs prédécesseurs. Ceux qui sont venus après, ne pouvant les mettre d'accord, se sont vus obligés de mettre toutes les synonymies entre parenthèses, ou même de donner des désignations nouvelles.

Quelques constantes cependant se dégagent de ces désignations. Ainsi, on divise généralement la cage thoracique en trois segments : *prothorax*, *mésothorax* et *métathorax*, et chacun de ces segments en trois autres [un dorsal (*notum* ou *dorsum*), un latéral ou pariétal (*pleuron*) et un ventral (*sternum*)]. Nous maintiendrons ces dénominations et nous les ferons servir, même dans les subdivisions de chacun de ces trois derniers segments.

Quel que soit l'Insecte volant, il possède toujours une crête verticale, pariétale, servant d'appui à l'aile correspondante. C'est là une ligne de repère facile à retrouver dans toute la série; nous appellerons donc *antépleuron* le segment situé en avant de cette crête, et *postpleuron* le segment postérieur; la crête elle-même, située à l'intérieur de la cage, portera le nom d'*entopleuron*. Tout Insecte a une paire d'ouvertures pédieuses situées sur le plancher sternal, et dont l'extrémité externe correspond à la base de la crête entopleurale; nous appellerons *antésternum* la partie du sternum située en avant des ouvertures pédieuses, et *poststernum* la partie située en arrière; le sternum droit forme, par son adossement avec le gauche, une crête intrathoracique, l'*entosternum*. Des considérations analogues nous font diviser le segment dorsal en *antédorsum*, *dorsum*, *postdorsum*, *subpodorsum*. Cette dernière partie fait le pendant de l'antédorsum; c'est le costal de Chabrier, le postscutellum d'Audouin; elle est surtout intrathoracique. L'antédorsum et le dorsum correspondent à l'antépleuron, le postdorsum et le subpodorsum, au postpleuron.

(1) Observations nouvelles sur l'organisation extérieure et générale des animaux articulés et à pieds articulés, et application de ces connaissances à la nomenclature des principales parties des mêmes animaux (*Mémoires du Muséum*, t. VIII, p. 169-202. Paris, 1822).

Cette nomenclature est très simple. Elle repose sur des divisions spéciales et nécessaires au vol; elle nous suffira donc amplement, sans que nous soyons obligés de recourir à des néologismes.

Je me sers aussi des expressions de *mésopleuron*, *métapleuron*, ou encore *antémésopleuron*, *postmésopleuron*, etc. Je crois inutile de les expliquer, ainsi que celles de *pronotum*, *mésonotum*, *métanotum*.

DES DIVERS TYPES D'ARTICULATION USITÉS CHEZ LES INSECTES.

On lit souvent dans les descriptions anatomiques que telle pièce s'articule avec telle autre, mais sans spécifier le genre d'articulation. La plupart des anatomistes glissent prudemment sur cette question. Strauss-Dürckheim (1) a essayé de dresser un tableau des principales articulations; ce tableau n'est qu'à moitié complet. Voici celui que je propose :

1. *Suture*. — Deux pièces originellement distinctes s'affrontent par leurs bords et se soudent intimement : comme les lèvres d'une plaie, par réunion immédiate, ou comme les sutures des os plats si fréquentes chez les Vertébrés, ou, mieux encore, comme les cellules épidermiques.

La suture peut être linéaire, et c'est le cas le plus fréquent; mais elle peut être denticulée, quoi qu'en dise Strauss.

La suture linéaire se rencontre dans l'union du sigmoïde et du submédian chez les Orthoptères.

2. *Adhérence*. — C'est, pour Strauss, l'union intime de deux pièces par leurs faces. Nous considérons comme adhérence le cas de suture où les bords, en s'affrontant, se replient de manière à augmenter leur surface de contact. On a alors, suivant l'étendue du repli, ou une simple *arête de rebroussement* (union du postmésopleuron et de l'antémétapleuron

(1) Strauss-Dürckheim, *Considérations générales sur l'anatomie comparée des Animaux articulés*. Paris, 1828.

chez les Pseudo-Névroptères) ou une *crête* (entopleuron, entosternum). Dans les deux cas, la face opposée porte généralement un sillon.

En somme, l'adhérence est un cas particulier de suture. Les pièces réunies par suture ou par adhérence n'ont pas de mouvement l'une sur l'autre.

3. *Symphyse*. — C'est une suture avec léger mouvement (union des antépleuron chez l'*Æschna*; union du pivot postérieur et de l'entopleuron chez le même).

4. *Charnière simple*. — 1° Droite. Le ligament est assez mou pour permettre une rotation circulaire (il en est ainsi dans l'articulation dorso-sigmoïdale de la plupart des Insectes. Le sigmoïde peut tourner en charnière autour de la ligne de réunion).

2° Courbe. Si la courbe est formée d'une seule branche, il peut y avoir un léger mouvement autour d'un axe perpendiculaire au plan de la courbe (union des postmétadorsum et des postmétapleuron chez les Coléoptères). Le cas de plusieurs branches n'exclut pas tout mouvement; mais il me paraît trop difficile à traiter.

5. *Syndesmoïdale*. — Le ligament est assez large pour permettre un mouvement en tous sens à la pièce mobile (union du dorsum et du dorso-terminal chez la Cigale).

6. *Écailleuse*. — L'une des pièces recouvre l'autre. Ainsi sont unis les anneaux abdominaux, le dorsum et le postdorsum chez la Cigale, l'écaille et les rives du golfe antérieur chez les Lépidoptères. Strauss emploie le terme de syndesmoïdale écailleuse, qui est trop spécial. Une articulation peut, en effet, être écailleuse sans être syndesmoïdale; par exemple, l'articulation postdorsale des Orthoptères est écailleuse, mais fait partie d'un système à charnière; l'articulation du métanotum et du subpodorsum chez les Diptères est une suture écailleuse.

7. *Condylarthrose*. — L'une des pièces présente une saillie ou condyle qui est reçue dans une cavité de l'autre pièce (articulations des antennes). La capsule fibreuse forme, dans certains cas, un manchon membraneux qui permet à l'une des pièces de rentrer dans l'autre (articles des palpes). C'est ce que Strauss nomme articulations cotyloïdiennes à têtes disjointes.

Les condylarthroses sont moins employées chez les Insectes que chez les Vertébrés; c'est plutôt l'élasticité que le roulement de pièces dures qui est mise en jeu. La figure géométrique du condyle et de la cavité qui le reçoit est une fonction immédiate du genre de mouvement imprimé à l'articulation; cette figure est importante, mais difficile à définir.

L'articulation de la base des antennes peut être considérée comme une enarthrose, c'est-à-dire à tête et cavité sphériques. Le plus souvent on a affaire à des surfaces gauches, telles que le parabolioïde hyperbolique ou selle de cheval (articulation du submédian et de l'entopleuron chez la *Vespa crabro*). D'autres fois, nous avons plus d'un condyle, et nous passons alors au cas suivant.

8. *Charnière à condyles*. — L'une des pièces a deux condyles et l'autre deux cavités pour les recevoir (jambe et cuisse, postdorsum et subpodorsum du métathorax des Orthoptères, postdorsum et postpleuron du métathorax des Coléoptères). Ces trois exemples constituent trois types différents, quoique répondant tous trois à la définition.

9. *Flexion*. — Les deux pièces sont en continuité de substance, sans aucune intervention de membrane ou de ligament; seulement il y en a moins sur un point, et c'est de ce côté qu'a lieu la flexion.

1° Simple. C'est le cas de la nervure antérieure à son union avec la tubérosité antérieure chez les Libellules. C'est encore le cas des articulations des extrémités centrifuges des nervures chez les *Cicada*, *Melolontha*.

2° Sinussoïdale. Lorsque plusieurs articulations par flexion simple sont rangées en sinussoïde (1). Je dirai, par exemple, que l'extrémité centrifuge de l'aile des Cigales présente une articulation à flexion sinussoïdale.

10. *Articulation fissurale*. — Fente ou échancrure découpée sur les bords d'une pièce, et dont les bords sont reliés par une chitine moins dure, ou par une membrane molle. Les bords de la fente sont ainsi susceptibles de se rapprocher et le mouvement est angulaire.

Ce type est très employé (fente dorsale, fente anté-pleurale).

11. *Écrou*. — Les deux pièces portent des apophyses en forme de crochets, à surfaces concordantes, de sorte qu'en roulant l'un sur l'autre, ils déterminent le rapprochement ou l'éloignement de ces pièces.

Ce type se trouve combiné avec une fente et une charnière simple dans l'articulation dorso-sigmoïdale des Diptères.

12. *Rainure et languette*. — Les bords d'une pièce portent une rainure, destinée à loger la marge amincie de l'autre pièce. Les pièces peuvent être assujetties l'une à l'autre (méta-pleuron et métasternum des Coléoptères) ou mobiles (union des élytres des Coléoptères).

Ce dernier cas, ainsi que les deux types suivants sont dépourvus de ligaments articulaires.

13. *Hélicoïdale*. — L'une des pièces présente une gouttière hélicoïdale, dans laquelle se meut le bord de l'autre pièce, tordu dans le même sens (union des ailes antérieure et postérieure chez les Sirex, Cicada).

14. *Spire conique*. — L'une des pièces forme un ruban

(1) Nous entendons simplement par sinussoïde une courbe qui monte et descend alternativement, en s'infléchissant chaque fois.

spiral conique, très élastique, dans l'intérieur duquel se meut une apophyse allongée de l'autre pièce (union de l'aile antérieure et de l'aile postérieure chez certains Sphingides).

Tels sont les principaux types d'articulations usités chez les Insectes. Cet essai de classification, si imparfait qu'il soit, nous sera d'un grand secours pour la description.

Ordre suivi dans la description. — Nous ne saurions trancher la question d'ancienneté des divers ordres d'Insectes (1). On s'accorde généralement à considérer les Névroptères et les Orthoptères comme les plus vieux représentants de la classe. On passerait des Orthoptères aux Coléoptères et aux Strepsiptères : cette branche serait caractérisée par la prédominance du métathorax sur le mésothorax. Les Névroptères donneraient deux branches : 1^o celle des Pseudo-Névroptères ; 2^o celle des Insectes à mésothorax prédominant (Lépidoptères, Hyménoptères, Hémiptères, Diptères). Quant à la filiation dans cette dernière branche, elle nous paraît difficile à établir, en ne se basant que sur les organes du vol. On a cherché surtout les rapprochements entre les Diptères et les Lépidoptères, entre ces derniers et les Hyménoptères.

Nous verrons que les Hyménoptères doivent se subdiviser en deux groupes essentiellement différents ; un Cimex, par exemple, est beaucoup plus voisin d'un Lépidoptère ou Hémiptère que d'une Abeille. D'un autre côté, contrairement à la voie suivie, c'est surtout avec les Hémiptères que je comparerai les Diptères.

Dans tous les cas, je n'ai aucune intention de trancher le sens de la filiation par les numéros d'ordre qui vont suivre. Je décrirai d'abord les Pseudo-Névroptères, et à leur suite les Orthoptères, Névroptères, Hyménoptères, Hémiptères, Lépidoptères, Coléoptères, Diptères.

(1) Voy. les données embryologiques dans Packard, *Ancestry of Insects*. Salem, 1873.

I. — PSEUDO-NÉVROPTÈRES.

Les Pseudo-Névroptères ont une machine à vol tout à fait caractéristique. Ils diffèrent ainsi notablement des autres Insectes; mais cette différence n'est pas si grande qu'on l'a dit (1). On a voulu, par exemple, y voir un type de musculature analogue à celui des Oiseaux. Cette analogie est aussi monstrueuse pour des Libellules que pour des Sauterelles. Nous prendrons l'*Æschna* comme type de Pseudo-Névroptère; nous verrons plus tard que sa machine est comparable, pièce à pièce, avec celle de tous les autres Insectes.

Le prothorax ne jouant pas un grand rôle dans le vol, nous étudierons surtout le mésothorax et le métathorax, c'est-à-dire la portion alifère. Celle-ci a la forme d'un coin à grosse extrémité dirigée en avant. Un plan vertical, axial, longitudinal donnerait une section pentagonale; un second plan, perpendiculaire au premier, incliné de 45 degrés environ en arrière sur le sternum, donnerait des sections elliptiques, parallèles aux entopleures. Un abdomen très long, une grosse tête achèvent de donner à l'ensemble l'aspect d'un coin ovoïde (2), oblong, très renflé à l'un des bouts, au bout antérieur, très effilé de l'autre.

L'animal décapité et vu de face présente une surface bombée, de chaque côté du bord antéro-supérieur de notre pentagone. C'est le *front* de Chabrier (3), formé par la réunion des antépleures de chaque côté, et non pas le pronotum. La soudure est interrompue vers le haut par une fente en forme de V, de chaque côté de laquelle les antépleures forment une

(1) Opinion accréditée par Chabrier et répétée depuis par Petitgrew (*La locomotion chez les Animaux*. Paris, 1874, p. 258).

Jousset de Bellesme, *Sur une fonction de direction dans le vol des Insectes* (*Comptes rendus Acad. sc. Paris*, t. LXXXIX, n° 23, p. 980-983).

(2) Les ballonistes auraient dû passer plus vite de la montgolfière au cigare (Tissandier, Renard et Krebs). On a tout intérêt à s'appuyer sur les données de la nature.

(3) Chabrier, *Mémoires du Muséum*, t. VII.

saillie à pointe dirigée en arrière. Cette saillie est formée par deux plans, un plan supérieur, horizontal, la *plate-forme* Chab., et un plan latéral, le *mur*, aux pieds duquel on voit un sillon, qui le sépare du reste du pleuron.

La plate-forme porte, sur son bord postérieur vers le tiers externe, une apophyse, qui a une certaine importance mécanique ; c'est ce que je nomme le *pivot mobile*. Une membrane réunit ce bord à la base de l'aile et au mésonotum ; elle se continue entre les deux bords de l'articulation fissurale, et en favorise les mouvements.

MÉSONOTUM. — Continuons notre voyage sur le dos. En nous supposant à l'extrémité des branches du V, nous voyons à nos pieds une fosse, en face un dôme, à droite et à gauche, l'attache des ailes antérieures. On descend dans la fosse au moyen d'un gradin, qui constitue la partie antérieure du mésonotum, ou *antédorsum* (*præscutum* Aud. ; *processus anticus mesonoti* Lend.). Cette pièce, ailleurs très souple, est ici très résistante et rigide. Elle se fixe par ses deux extrémités dans une échancrure de la tubérosité antérieure et maintient ainsi invariable l'écartement de cette tubérosité et de sa symétrique. Elle constitue un point d'appui pour le roulement de la tubérosité antérieure.

Le reste du mésonotum a une charpente en forme d'X ; l'angle antérieur est rempli par le dôme, c'est-à-dire par une surface très convexe, qui forme le versant postérieur de la fosse antédorsale. L'angle externe est comblé par une lame triangulaire qui l'unit au plan postérieur de l'aile. L'espace ainsi comblé forme une dépression qui est constante dans toute la série des Insectes : c'est la *dépression postdorsale*. Les branches antérieures de l'X plongent dans la cavité thoracique pour former les apophyses sur lesquelles s'insèrent les sternali-dorsaux. Ces apophyses forment les bords latéraux du dôme ; elles sont reliées à l'antédorsum par une lame triangulaire verticale, le *renfort* de l'antédorsum. On voit que les branches antérieures de l'X divisent les bords latéraux du

mésnotum en deux parties : une partie antérieure (le bord latéral du dôme) et une partie postérieure (le bord latéral de la dépression). Ces deux parties forment les deux côtés d'un angle, ouvert en dehors, en avant et en bas.

Au sommet de l'angle ou *coude dorsal* correspond une fente, que nous retrouverons presque partout, mais autrement développée. Cet angle a une grande importance dans la géométrie de la surface alaire ; nous aurons maintes occasions d'en parler dans le cours de notre travail.

Les branches postérieures de l'X ont une direction transversale ; elles sont très élastiques, convexes supérieurement, agissent comme un ressort arciforme tendu entre les nervures postérieures des ailes mésothoraciques. Elles sont sur leur milieu (centre de l'X) soudées avec le dôme par une suture transversale très forte. Cette ligne nous paraît délimiter le dorsum du postdorsum. Le *dorsum* est formé par les branches antérieures de l'X et par le dôme ; le *postdorsum* par les branches postérieures et la dépression postdorsale.

Pénétrons dans la cage. L'antédorsum forme une lame assez large, convexe en avant ; elle se prolonge en son milieu par une apophyse allongée, pointue, recourbée en arrière (*apophyse onguiculée* Chab.) sur les faces latérales de laquelle s'insèrent les muscles dorsaux. L'antédorsum est lié latéralement et en arrière par adhérence avec les apophyses des sternalidorsaux. Ces apophyses sont volumineuses, mais légères ; on peut y considérer un support vertical terminé inférieurement par un disque horizontal. Le support est creux et le disque est échancré latéralement en 8 de chiffre.

La suture dorso-postdorsale se traduit par une crête transversale médiane ; en avant est la concavité qui correspond à la face inférieure du postdorsum.

MÉTANOTUM. — Le métanotum est construit sur le même plan que le mésnotum ; seulement il est plus long et le dôme est creusé d'un grand sillon médio-longitudinal. Il faut aussi noter l'écartement des tubérosités antérieures, beaucoup plu

grand qu'au mésonotum. L'apophyse onguiculée est bien plus courte qu'au mésonotum, et les disques des sternali-dorsaux sont moins échancrés.

L'antédorsum est relié au mésonotum déjà décrit par une *surface tribosselée* très flexible, liée mollement de tous côtés; elle sert évidemment de bourrelet élastique entre les deux pièces dorsales du thorax. Quelle est sa signification morphologique? Nous croyons qu'il faut la considérer comme l'homologue de la partie postérieure du postdorsum, de cette partie généralement verticale et intrathoracique chez les Insectes à puissants muscles dorsaux. C'est la pièce que chez ces derniers Audouin nomme postcutellum, Chabrier costal, et que j'appelle subpodorsum. J'avance comme preuve la position même de la surface tribosselée, et la direction des rudiments de muscles dorsaux qui la croisent en dessous et vont s'insérer au niveau de son adhérence avec l'antémétadorsum.

Le postmétadorsum est uni en arrière au premier anneau abdominal par un fuseau élastique, qui est lui aussi croisé par les métadorsaux du métathorax; ces muscles s'insèrent au niveau de l'adhérence de ce fuseau au tergum abdominal (1). On peut donc considérer ce fuseau comme l'homologue de la surface trilobée.

L'angle latéral du métanotum est, comme son homologue, ouvert en bas, mais plus en bas que celui-ci et légèrement en arrière. Je parle bien entendu de l'angle observé dans une position fixe, les angles étant relevés. Cet angle varie suivant les positions de l'aile; nous verrons les causes multiples de ces variations.

PLEURO-STERNUM. — Les parties latérales et ventrales de la conque thoracique sont intimement soudées et forment une pièce unique. Nous y voyons néanmoins les traces de soudure, sous forme de crêtes et arêtes, qui nous permettront des subdivisions.

(1) Latreille réserve ce nom à la partie dorsale de l'abdomen.

Nous remarquons d'abord sur le pleuron deux lignes noires verticales qui, dans leurs parties supérieures, se transforment en sillons; elles se continuent au-dessus et en dedans du bord supérieur par des saillies en rapport avec la base des ailes. A ces lignes correspondent des crêtes sur la face interne; ces crêtes sont les *entopleuron*; il y en a quatre en tout; leur extrémité supérieure constitue l'appui des ailes (Chab.) ou apophyse alifère (Strauss).

Le bord supérieur du pleuron est creusé d'un sillon longitudinal qui s'étend entre les deux appuis, passe au pied du mur de la plate-forme, et descend de chaque côté de la suture des deux entopleuron.

Entre les deux entopleuron est située une troisième crête intrathoracique qui part du sternum et monte jusqu'au sillon supérieur longitudinal. Cette troisième crête est pour nous la trace de la soudure du mésopleuron et du métopleuron. Elle se continue du reste en bas, de manière à délimiter un mésosternum d'un métasternum.

L'extrémité inférieure de l'entopleure se bifurque et les branches se dirigent vers la région sternale de la conque. On peut donc considérer comme *sternum* toute la région de la conque située au-dessous du niveau de la bifurcation inférieure des entopleuron. Grâce à ces divisions, je vais pouvoir décrire un pleuron et un sternum.

Le *mésopleuron* est remarquable par la forme de sa partie antérieure ou antépleuron. Elle se rejoint, comme nous l'avons déjà vu, avec sa symétrique pour former le front et la plate-forme. Une telle union ne se remarque dans aucun autre ordre; partout ailleurs nous voyons le mésonotum se continuer en avant avec le pronotum. Cette anomalie est probablement liée à la déchéance du muscle dorsal et à l'importance du grand préaxillaire. Partout ailleurs deux fonctions dominent dans les parties antérieures du mésothorax : 1° la traction en arrière de l'antédorsum; celui-ci est bridé en avant par le pronotum; 2° la traction en dedans de l'antépleuron. Cette dernière étant la seule qui persiste chez les Libellulides,

Il n'est pas étonnant que le pronotum se retire devant le développement envahisseur des antépleures, qui finissent ainsi par se souder sur la ligne médiane.

Cette ligne de suture s'ouvre supérieurement par une fente dont les branches, avons-nous dit, sont susceptibles de se rapprocher ou de s'écarter. Pour les raisons développées plus haut, la fente se trouve médiane, unique. Ailleurs aussi, nous trouverons des fentes, mais symétriques : nous aurons deux fentes, une pour chaque côté.

La saillie alifère qui termine chaque entopleure est triangulaire, à base supérieure échancrée, si bien que les deux sommets correspondants se découpent nettement sous forme de cornes. La division est encore plus accentuée par le sillon de l'entopleure qui se continue dans le triangle et le coupe en deux de bas en haut. La moitié postérieure est légèrement mobile sur l'antérieure, grâce à une symphyse; sa corne est symphysée avec la nervure submédiane; nous verrons plus tard ce qu'il faut penser de cette moitié postérieure. La moitié antérieure est rigide et sa corne est symphysée avec une crête de la face inférieure de la tubérosité antérieure.

Si l'on se rappelle que l'aile est articulée mollement avec l'apophyse médiane de la plate-forme, avec le pivot mobile, nous pourrions dire en englobant celui-ci dans le système de l'appui, nous pourrions dire que *l'apophyse alifère est tricéphale, la tête médiane formant le pivot fixe et les deux autres les pivots mobiles.*

Le *métapleuron* a un système de pivots entièrement comparables à celui du *mésopleuron*; seulement la ligne brisée qui les joint est plus écartée du milieu du dorsum. La plate-forme est représentée par une lame triangulaire s'appuyant par sa base sur le sillon longitudinal supérieur, liée mollement par son côté postérieur et son sommet avec la tubérosité antérieure, et par son côté interne avec la surface tribosselée. L'antépleuron est plus étroit que le postpleuron. Celui-ci forme un quadrilatère à bords repliés en dedans; son angle postéro-supérieur s'articule par un ligament peu consistant,

mais serré avec le premier anneau abdominal; celui-ci, étant maintenu dans le plan vertical antéro-postérieur par le ressort postérieur du métanotum, tourne par suite en charnière sur les angles postéro-supérieurs des postmétapleuron.

Le *sternum* a une charpente formée : 1° par une crête médio-longitudinale, entosternum; 2° par des crêtes transversales qui partent du pied des entopleuron.

L'entosternum porte un squelette qui sert tant pour les muscles des ailes que pour ceux des pattes. Il s'étend au-dessus des bords internes de chaque ouverture pédieuse. La partie principale a la forme d'une selle dont les prolongements latéraux s'unissent à la fourche du stigmate métathoracique; sa base est fixée entre les deux segments alaires. En avant, sa pointe s'enfonce entre deux cupules mobiles; en arrière, entre deux cupules fixées à cette pointe par leurs bords internes; ces cupules sont infundibuliformes, échancrées en dehors. L'antérieure a son pied fixé au rebord antérieur du cercle pédieux mésothoracique. La pointe postérieure de la selle dépasse en arrière les cupules et porte deux forts tendons à sa base, servant à des muscles sternali-abdominaux.

Le mésothorax s'unit au prothorax au moyen de deux cercles qui n'ont de commun qu'une commissure supérieure à la base du front, et une commissure latérale. Au-dessus de cette commissure, le cercle postérieur porte une plaque quadrilatère convexe qui descend vers la ligne médiane, de façon que l'angle inféro-interne soit très rapproché de son symétrique. C'est la *plaque du grand préaxillaire* ou *apophyse quadrilatère*. C'est encore ce cercle postérieur qui porte à sa partie inférieure la cupule du sternali-dorsal; elle forme en outre, sur la ligne médio-sternale, un épaissement qui s'enfonce entre les deux pattes mésothoraciques. La portion correspondante du cercle antérieur limite en arrière les pattes prothoraciques.

C'est entre les deux cercles, au niveau de l'angle supérieur de l'apophyse quadrilatère, que s'ouvre le *stigmate* mésothoracique. Le stigmate métathoracique occupe une position ho-

mologue au-devant de l'entométableuron, entre la branche de bifurcation antérieure et la crête qui sépare le mésopleure du métableure. Cette branche et la crête forment la *fourche* du *stigmaté*.

Notons encore dans la cavité thoracique une petite apophyse, située au pied de l'entopleure et au sommet externe des ouvertures pédieuses. C'est l'*apophyse pédio-pleurale* que nous retrouverons avec plus ou moins de modifications dans toute la série.

AILE ANTÉRIEURE. — D'une manière générale, les ailes sont des lames en chitine plus ou moins *mince* ou *élastique* (suivant les espèces), à zones d'inégale consistance et soutenues par une charpente de baguettes ou nervures élastiques. La forme de ces lames est une fonction de la force, forme et direction de ces baguettes et de leur position dans l'espace. La force et la forme sont des facteurs constants chez un même individu; la direction et la position varient suivant les actions musculaires et la résistance de l'air. Nous tiendrons compte de ces divers facteurs dans notre interprétation géométrique de la surface alaire (1).

L'aile antérieure de l'*Æschna* est une lame très allongée, en chitine mince, transparente et glabre, soutenue par une charpente de cinq nervures, dont les branches et ramifications sont elles-mêmes reliées par un réticulum très fin. Les nervures sont imprégnées d'air, ce qui rend l'aile très légère. Leur grosseur diminue graduellement de la base au sommet, et si on les compare entre elles, on voit que les antérieures sont plus fortes que les postérieures. Je les désignerai sous les

(1) Je laisse de côté la nature morphologique des ailes. Cette question a longtemps préoccupé les naturalistes. Les uns (Oken, de Blainville, Latreille, Carus, Owen, Blanchard, Lowne, Plateau) voient dans les ailes des trachées ou des stigmates transformés; les autres (Audouin, Milne Edwards) en font des organes particuliers. Dans un ouvrage récent (*Organisation des Volucelles*), M. Künckel d'Herculais appuie cette dernière opinion; il fait voir, par l'étude du développement, que l'aile est, comme la patte, formée par un refoulement de la membrane tégumentaire.

noms peu compliqués de *antérieure*, *subantérieure*, *médiane*, *submédiane*, *postérieure*. Ce sont les nervures fondamentales de toute aile d'Insecte (1).

La *nervure antérieure* est large à sa base; elle y forme un rebord qui plonge de haut en bas, et d'arrière en avant. Une section transversale démontre que ce rebord est formé de deux nervures accolées : en avant la nervure *proantérieure*, en arrière la nervure antérieure proprement dite. L'accolement est visible du côté de la base; mais la fusion est bientôt si complète, que les deux nervures n'en font plus qu'une. C'est pour ce motif que je ne range pas la nervure *proantérieure* parmi les nervures fondamentales; mais le fait est constant : partout nous verrons la partie basilaire du bord antérieur de l'aile former un rebord incliné en avant et en bas. Il est vrai que souvent le caractère de nervure sera complètement masqué.

Le bord antérieur de l'aile (ensemble des nervures antérieure et *proantérieure*) est d'abord convexe en avant, puis concave et finalement convexe.

La *nervure subantérieure* forme la corde de la première convexité; elle s'arrête là sur une commissure transversale articulaire, qui unit à ce niveau le bord antérieur et la nervure médiane.

La *nervure médiane* est cylindrique, plus forte que la subantérieure; elle marche parallèlement à celle-ci jusqu'à la commissure articulaire. Je l'appelle ainsi, parce qu'à ce niveau le bord antérieur porte une encoche, comme si la moitié basilaire du bord antérieur était à ce niveau soudée à la moitié centrifuge. On doit distinguer deux parties dans cette commissure : une partie antérieure entre les nervures antérieure, subantérieure et médiane, et une postérieure entre les ner-

(1) J'aurais bien voulu trouver une nomenclature unique dans les divers ouvrages d'entomologie. Mais la multiplicité et la confusion de noms y est indescriptible; elle provient sans doute des nécessités de la classification, les nervures et leurs ramifications étant fort employées pour la différenciation des espèces. J'ai obéi à une nécessité plus générale, au vol; nous reconnaitrons et retrouverons partout les nervures dont je parle.

vures subantérieure, médiane et la première des nervures secondaires qui se trouvent derrière la nervure médiane. Ces parties sont triangulaires à un côté commun. Les quatre nervures ainsi réunies forment un gaufrage de trois plans, et chacun des triangles comble le dièdre correspondant.

Le reste de la nervure médiane se continue en dehors de la commissure, et se rapproche peu à peu de la nervure antérieure, jusqu'à son extrémité terminale. Avant de se fondre avec celle-ci, elle lui est unie par un épaississement quadrilatère, le *ptéropstigma*. Chabrier a voulu assimiler cet épaississement au carpe des Vertébrés. Nous avouons ne pas comprendre cette assimilation, d'autant plus que le motif mis en avant par Chabrier ne prête pas à la discussion : il se base uniquement sur la dureté de cette pièce. Nous verrons plus tard que si on veut absolument faire un rapprochement mécanique (le seul rationnel) entre les Pseudo-Névroptères et les Oiseaux ou Cheiroptères, il faut descendre bien plus bas que le *ptéropstigma*, et arriver jusqu'à la base même de l'aile, pour y voir un analogue du carpe.

La *nervure submédiane* diverge de la médiane et se dirige vers le bord postéro-centrifuge de l'aile. Elle est bien plus courte que les précédentes. Des nervures secondaires la séparent de la postérieure.

La *nervure postérieure* diverge de la submédiane et se termine après une course encore plus courte. Peu après sa naissance, elle donne une branche secondaire inclinée en arrière et en bas. Entre celle-ci et l'aile postérieure s'étend une mince membrane, le *voile*.

Les cinq nervures fondamentales considérées dans leurs parties basilaires forment une surface gaufrée, résultant de ce qu'elles sont alternativement inférieures et supérieures; les unes (proantérieure, subantérieure, submédiane) sont spécialement en rapport avec le mésopleuron, les autres (antérieure, médiane, postérieure), avec le mésonotum. Nous verrons plus loin ces rapports.

Nous n'insisterons pas sur le réticulum, ni sur les nervures

secondaires. Nous remarquerons seulement que les trois premières nervures (antérieure, subantérieure et médiane) présentent une grande résistance transversale, grâce à des commissures transversales, perpendiculaires à la nervure subantérieure, et parallèles à la commissure articulée. Nous désignerons l'ensemble de ces nervures antérieures sous le nom de *versant* ou *plan antérieur* de l'aile, et nous appellerons *versant* ou *plan postérieur* toute la partie de l'aile située en arrière de la nervure médiane. C'est la nervure médiane qui sert de ligne de faite entre les deux versants.

Le versant antérieur est le plus fort ; c'est lui qui doit frapper l'air. Le versant postérieur est moins résistant, surtout dans sa partie postéro-centrifuge. Si on tient compte de la direction et de la force des nervures du versant postérieur, on peut tracer une courbe concave en bas, allant de la région externe du ptéropstigma jusqu'à la branche secondaire de la nervure postérieure. Cette courbe représente la zone de flexion sous la résistance de l'air ; tout ce qui est en arrière de cette zone représente un élément flottant, tout ce qui est en avant la partie vraiment résistante au choc de l'air. On voit que cette dernière a un contour triangulaire, formé par cette courbe, la ligne d'insertion de l'aile et le bord antérieur. Cette courbe est la courbe de moindre résistance.

Nous pouvons déjà remarquer que la partie basilaire est la plus forte, et que ses variations doivent avoir une grande influence sur la forme de l'aile. Nous allons détailler cette base.

La *base de l'aile* est formée par deux grosses tubérosités. Une tubérosité antérieure (radiale Chab., *Scapula* v. Lend., R. v. Lendenfeld, *Der Flug der Libellen*, Vienne, 1881). Nous parlerons plus loin du travail de M. von Lendenfeld ; mais nous voyons déjà où peut entraîner la tendance à vouloir comparer Insectes et Vertébrés. La tubérosité antérieure est une épaule pour l'un, un radius pour l'autre ; en revanche Chabrier appellera omoplate chez les Hyménoptères ce que Jurine nomme un cubital. Les expressions de antérieure, postérieure sont moins compromettantes ; je les adopte.

La *tubérosité* ou *osselet antérieur* a une forme quadrilatère. On peut lui considérer deux faces (supérieure et inférieure) et quatre faces latérales (antérieure, postérieure, interne et externe).

La face supérieure présente trois parties allongées de dedans en dehors : 1° la partie antérieure, la plus petite, est séparée de la moyenne par un sillon très profond, surtout en dedans. Il en résulte de ce côté une excavation très profonde, sur la face interne, destinée à recevoir l'extrémité de l'antédorsum : c'est une condylarthrose. Le bord antérieur de cette partie forme le bord antérieur de l'osselet; elle est liée mollement au bord postérieur de la plate-forme. La membrane d'union est moins large au niveau du pivot mobile; on peut donc considérer ce niveau comme le point d'application sur la plate-forme, des forces qui agissent sur l'osselet antérieur : de là le nom de pivot donné à ce point.

2° La partie moyenne est large et convexe, séparée de la postérieure du côté externe par un profond sillon. Cette partie moyenne s'articule avec le pleuron.

3° La partie postérieure constitue le bord postérieur de l'osselet antérieur. Il s'articule avec la terminaison de la nervure antérieure. Cette terminaison est renflée et constitue une sorte d'osselet, intermédiaire de la nervure antérieure et de l'osselet antérieur. C'est ce que M. de Lendenfeld nomme humérus (1); cet humérus s'articulerait avec la première nervure, suivant une espèce d'énarthrose (*Rollengelenk mit Hemmung*). J'ai pu isoler cette pièce par la dissection; mais il ne m'a pas été possible de déterminer un roulement quelconque malgré de fortes tractions. Cette pièce est soudée aux parties avoisinantes; je la considère simplement comme la terminaison renflée de la nervure antérieure. La seconde articulation de l'humérus, « l'articulation scapulo-humérale », serait une *Rotations gelenk*, une sorte de charnière à condyles. Ici, on ne peut nier une rotation de la nervure antérieure sur l'os-

(1) V. Lendenfeld, *loc. cit.*, p. 39.

selet antérieur; mais cette rotation ne m'apparaît pas sous les mêmes formes que celles décrites par M. de Lendenfeld.

L'union de l'osselet antérieur avec la nervure antérieure est très lâche en bas, en avant et en arrière, mais très serrée en haut, de manière à résister à toute flexion qui tendrait à se produire de bas en haut. C'est une articulation à flexion, mode très usité chez les Insectes. Mais ce n'est pas la seule entre l'osselet antérieur et le versant antérieur de l'aile.

Si nous passons à la face inférieure de cet osselet, nous la voyons formée d'aréoles et de crêtes de séparation. Il y a deux crêtes : une transversale correspondant à la séparation de la portion antérieure et de la portion moyenne, et une longitudinale antéro-postérieure, coupant la précédente presque à angle droit. Elle se courbe ensuite en arrière et en dehors, de manière à aboutir à l'angle postéro-externe de l'osselet antérieur. Ces crêtes délimitent quatre compartiments d'inégale capacité. Les deux antérieurs, surtout l'antéro-externe, sont insignifiants. Le postéro-externe est fortement concave et donne insertion à la membrane commune, à laquelle sont suspendus les tendons du grand et du petit préaxillaire. La ligne d'insertion va de l'angle antéro-externe perpendiculairement sur la crête antéro-postérieure. La partie postérieure de la crête s'articule lâchement avec le pivot fixe; cette articulation a lieu dans la partie recourbée de la crête, avant d'arriver à l'angle postéro-externe.

L'*angle postéro-externe* de la face inférieure de l'osselet antérieur est le siège de la deuxième articulation basilaire du versant antérieur. Cet angle présente une concavité qui roule sur la tête de la nervure subantérieure. Il faut encore noter des ligaments externe et postérieur, qui brident cette articulation, et rattachent les bords postérieur et externe de l'osselet antérieur à la base de l'aile.

Enlevons maintenant cet osselet antérieur; il est facile de le détacher, car il ne tient solidement à la base de l'aile qu'au niveau des nervures antérieure et subantérieure, c'est-à-dire au niveau des deux articulations déjà mentionnées. On voit

alors bien nettement les situations respectives de ces deux articulations, et de la ligne géométrique qui les unit. Cette ligne est dirigée d'arrière en avant, de bas en haut, de dedans en dehors, par rapport au plan des nervures antérieure et sub-antérieure. On peut considérer ces deux articulations comme une *articulation unique, une sorte de charnière, composée d'une articulation à flexion et d'une condylarthrose, dont cette ligne serait l'axe de rotation*. En somme nous repoussons l'articulation huméro-radiale de von Lendenfeld, et nous introduisons une flexion dans l'articulation scapulo-humérale.

Notre charnière ainsi constituée nous paraît simplement destinée à éviter la résistance de l'air dans le coup d'aile ascendant. Quant à un axe autour duquel tournerait l'aile suivant sa propre longueur, je n'en vois pas. Les physiologistes ont, il est vrai, signalé un retournement du bord antérieur de l'aile, dans le coup d'aile descendant. Mais il y a moyen de s'en rendre compte, comme nous le verrons plus loin, sans recourir à cet axe hypothétique.

La *face externe* de l'osselet antérieur est libre, en avant de l'articulation. Partout nous trouverons une encoche ou une membrane molle à ce niveau, destinée à faciliter le jeu de l'articulation à flexion.

La *face interne* s'unit au mésonotum par une articulation composée ; nous avons déjà vu qu'elle présentait une excavation pour recevoir l'extrémité de l'antédorsum. Isolément ce serait une condylarthrose ; mais en arrière se trouve une lame triangulaire, à sommet antérieur, l'*antésigmoïde*, roulant en charnière simple, linéaire d'un côté sur le dorsum et le renfort de l'autre sur l'osselet antérieur. Finalement l'osselet antérieur roule en charnière double et d'un mouvement angulaire sur le dorsum. *C'est une condylarthrose à roulement conique*.

La *tubérosité postérieure* est formée par l'ensemble des nervures médiane et submédiane. Elle a la forme d'une calotte hémisphérique, à convexité supérieure. Le bord antérieur est formé par la terminaison de la nervure médiane. Vers la moitié de son parcours, cette terminaison se bifurque et

détache un rameau qui traverse et renforce la calotte. En avant du bord antérieur, se trouve une fosse triangulaire, limitée en dehors par une commissure interradiale entre la nervure antérieure et la nervure médiane, et en avant unie lâchement à l'osselet antérieur. Le bord postérieur de la calotte est formé par un épaissement de chitine, qui part du bord supérieur de la nervure submédiane, et va sans solution de continuité jusqu'à l'extrémité de la nervure médiane. Elle forme ainsi le bord postérieur de la calotte par une ligne brisée ouverte en arrière, et le bord interne par une ligne brisée ouverte en dehors. L'angle de cette dernière est comblé par une lame élastique, flexible sur le reste de la calotte.

La face inférieure présente, mais en surface concave, les détails déjà décrits sur la face supérieure. Nous voyons en outre une forte éminence de chitine, formée par la terminaison de la nervure submédiane. La partie postérieure de cette éminence donne insertion aux muscles petits postaxillaires, ou plutôt à une membrane commune à leurs tendons : l'un mou, en avant; le postérieur est dur. La partie antérieure de cette éminence est soudée au bord inférieur de la nervure médiane, et à la terminaison de la nervure subantérieure. Elle se prolonge cependant plus en dehors et forme ainsi une apophyse légèrement flexible, apophyse submédiane. Cette apophyse est importante, elle donne attache : 1° en avant, au ligament postérieur de l'articulation radio-basilaire antérieure; 2° en arrière, à une plaque mince réniforme où se fixe l'extrémité antérieure d'un petit muscle horizontal antéro-postérieur, que je nomme *muscle du tampon*. Car l'insertion postérieure de ce muscle a lieu dans l'angle postéro-interne de la calotte, en un point homologue du tampon des autres Insectes; 3° en avant et en dedans, à la branche postérieure de la tête de l'appui, au pivot postérieur; 4° en arrière et en dehors, au tendon du grand postaxillaire.

La plus grande partie du bord interne de la tubérosité postérieure roule en charnière simple sur le bord interne de la

tubérosité postérieure; mais son extrémité antérieure s'articule à une petite pièce située en arrière de la fente dorsale. Cette pièce est triangulaire comme l'antésigmoïde, mais plus petite et à sommet postérieur. La tubérosité postérieure est donc comme l'osselet antérieur lié au dorsum par une double charnière, à mouvement angulaire.

Chabrier est à peu près muet sur les articulations de la base de l'aile. Le travail de von Lendenfeld a appelé mon attention sur ce point. Il a positivement reconnu les pièces mobiles qui s'articulent, l'une avec l'osselet antérieur (c'est la *supra-scapularis*), l'autre avec la tubérosité postérieure (*basilare radii tertii*). Mais je ne vois pas qu'il ait rien déduit de la forme géométrique de ces articulations. Je nomme la dernière pièce *sigmoïde*, sous l'influence d'idées théoriques qui seront développées à propos du sigmoïde des autres Insectes.

Ces deux pièces sont triangulaires, opposées par leurs bases. Conclusion : Les deux tubérosités de la base de l'aile *ne peuvent rouler autour des bords latéraux du mésonotum sans fléchir en même temps l'une vers l'autre autour d'un axe perpendiculaire à ces bords au niveau de la fente*. Nous exploiterons cette remarque en temps utile.

La *nervure postérieure* est, à sa partie basilaire, soudée à la tubérosité postérieure. Elle est à ce niveau recourbée en dehors; elle plonge dans la dépression postdorsale, et s'unit au postdorsum par une partie striée transversalement, ce que Chabrier nomme une *nervure rétractive*.

On a comparé l'aile à un levier simple du troisième genre. Les Pseudo-Névroptères sont les plus propres à cette comparaison *grosso modo*, si on schématise les points à soulever par le mésonotum, le point d'appui par le sommet de l'entopleuron, et le point d'application par les points d'insertion supérieure du grand préaxillaire et du grand postaxillaire. Mais après tous les points d'application, d'appui et de résistance déjà décrits, après toutes ces combinaisons d'articulation citées plus haut, on reconnaît combien cette comparaison est superficielle.

AILE POSTÉRIEURE. — Elle renferme les mêmes éléments que l'aile antérieure. Les différences ne portent que sur la géométrie et la force de ces éléments.

Le bord antérieur est à peu près de la même longueur qu'au mésothorax; mais la convexité basilaire est peu prononcée. Pourquoi le serait-elle, puisque la besogne du sillage dans l'air est faite par son chef de file? C'est une observation courante que deux surfaces se mouvant dans un fluide prennent une forme d'autant plus convexe que la résistance à vaincre est plus forte. Si on confie à la nature une surface mal taillée pour la course dans ce fluide, elle finira par la dégauchir et lui donner une forme de plus en plus adéquate à ce milieu. C'est là une loi facile à constater dans le monde inorganique, et il est très probable qu'il en est de même pour la matière organisée.

La direction générale du bord antérieur diverge en arrière du bord antérieur de l'aile antérieure environ d'un angle de 30 degrés. Les autres nervures continuent la divergence de manière que la nervure postérieure métathoracique fasse avec la nervure antérieure de la même aile un angle de 60 degrés environ.

L'aile postérieure est beaucoup plus large que l'aile antérieure. Les deux ailes ne sont pas accrochées dans le vol, mais la distance qui les sépare est très peu considérable. La nervure secondaire de l'aile postérieure est plus longue que celle de l'aile antérieure. Elle fait presque un angle droit avec la nervure postérieure; on voit dans l'angle droit un voile plus étendu qu'au mésothorax. Il est, ainsi que la nervure secondaire, étroitement appliqué sur la partie renflée du début de l'abdomen.

La ligne qui passerait par cette nervure secondaire et par les alifères formerait une courbe concave en bas et en avant, à 45 degrés environ sur l'axe du corps (si nous prenons comme axe du corps la ligne qui passerait par le centre d'implantation de la tête et de la charnière abdomino-pleurale). La concavité de cette courbe mesure le plus ou moins de creux de l'aisselle des deux ailes réunies.

En somme l'aile postérieure est bâtie sur le même plan que l'aile antérieure. Son versant antérieur est un peu plus faible ; mais le versant basilaire postérieur est bien plus développé.

MUSCLES DU VOL. — Avant d'étudier les muscles, nous pouvons déjà examiner quelles sont les limites des mouvements possibles.

Abaissons l'aile, sans nous préoccuper ni de l'air, ni des muscles. Nous voyons qu'en même temps l'aile se porte en avant. Soit XY la ligne de terre entre le plan de la plate-forme et un plan perpendiculaire (pl. I, fig. 3). Soit ABC la nervure antérieure dans sa position initiale ; la nervure antérieure proprement dite BC forme à sa base avec l'osselet antérieur AB un angle obtus ouvert en avant. ABC représente la position d'abaissement. On voit que l'aile s'est portée en avant ; pourquoi ce déplacement en avant ? L'aile forme un levier triple du troisième genre. Le mésonotum est sollicité à s'élever par les extrémités basilaires des nervures antérieure, médiane et postérieure. Le dôme élastique soulevé est forcément comprimé, car les points d'attaque sont plus bas que les points de résistance. Il se développe donc une force de réaction élastique ; celle-ci se dirige du côté où il y a du jeu, c'est-à-dire en arrière, du côté de la surface tribosselée et pousse dans cette direction les petits bras de levier. Par suite les grands bras seront portés en avant ; leur course sera limitée à la base par le bord postérieur de la plate-forme.

La moitié basilaire du bord antérieur a ce mouvement comme limite ; mais la moitié centrifuge est exposée à une plus grande résistance de la part de l'air ; elle est en outre plus flexible. La commissure articulaire forme une ligne brisée concave, *courbe de torsion*, qui empêche toute flexion de bas en haut et de haut en bas, mais qui permet une torsion longitudinale, un retournement de plan autour de cette commissure comme centre de torsion.

La forme des pièces antésigmoïde et sigmoïde entraîne une

incurvation dans la base de l'aile, c'est-à-dire que le versant postérieur se porte en avant dans l'abaissement.

La forme de l'articulation radio-basilaire nous indique que l'aile ne peut fléchir sur l'osselet antérieur uniquement que dans le relèvement de l'aile. Cette flexion coïncide avec une détorsion de la moitié centrifuge. Cette manœuvre est possible; elle aurait pour but d'éviter le choc de l'air dans le coup ascendant.

Le coup ascendant doit être très brusque; car, lorsque l'aile est abaissée, les fentes antépleurales et dorsales sont comprimées; le pivot postérieur est violenté, les branches de l'X sont bandées. Toutes ces pièces doivent réagir élastiquement pour ramener l'aile dans la position normale de relèvement. Ceci vient à l'appui de la théorie des sauts, exposée par Giraud-Teulon (*Principes de mécanique animale*, 1858, p. 325).

Cela suffit pour faire voir qu'indépendamment des muscles, en ne tenant compte que du squelette et de la résistance de l'air, le sommet centrifuge de l'aile ne décrira pas la même trajectoire dans le coup ascendant que dans le coup descendant. Il tendra à passer plus bas, et les deux portions de trajectoire se regarderont par leurs concavités, de manière à faire une courbe fermée, simple ou bouclée comme une lem-niscate.

Telles sont les limites des mouvements possibles. Voyons si les muscles nous donneront d'autres éclaircissements.

Muscles du vol de l'aile antérieure. — Chabrier le premier a distingué des muscles éleveurs et abaisseurs. Ce groupement a un inconvénient; il préjuge d'une façon trop absolue de la fonction des muscles ainsi désignés. Il semble que l'aile soit comparable à un levier simple du deuxième genre, sollicité tour à tour à descendre et à monter. Mais un muscle peut être abaisseur, pris isolément, et agir cependant dans l'élévation. Nous préférons les noms tirés des pièces ou des régions anatomiques où s'insèrent ces muscles.

Je distinguerai donc des muscles *dorsaux*, *sternali-dorsaux*,

pédio-dorsaux, *pleuro-dorsaux* et *axillaires*, ces derniers étant eux-mêmes divisibles en axillaires antérieurs et axillaires postérieurs, suivant qu'ils agissent sur le versant antérieur ou le versant postérieur.

Muscles dorsaux. — Ces muscles sont formés par une paire de muscles grêles, dont chacun s'insère en avant sur la face externe de l'apophyse onguiculée, et en arrière au tiers externe de la face antérieure de l'antémétadorsum.

Ce muscle ne doit pas jouer un grand rôle comme abaisseur de l'aile ; il doit surtout brider l'écartement des deux notums.

Muscles sternali-dorsaux. — C'est un muscle puissant dont les faisceaux s'insèrent en haut sur les disques en forme de 8, et en bas sur les cupules pédicellées situées en avant de la selle entosternale.

Il tire en avant et en bas (mon plan de repère est toujours le plan horizontal passant par l'axe du corps, tel que je l'ai défini plus haut) le bord latéral antérieur du *dorsum* ; par suite, il porte le bord antérieur de l'aile en arrière et en haut.

Il faut ajouter à ces faisceaux un faisceau plus grêle, qui s'insère en haut dans l'échancrure externe du disque, et en bas au-dessous des précédents. C'est un adjuvant des sternali-dorsaux.

Muscles pédio-dorsaux. — Ce sont deux muscles agissant à la fois sur les ailes et sur les pattes.

Le muscle antérieur s'insère en haut par un tendon dur à l'angle externe de l'antésigmoïde, en bas sur la moitié antéro-externe de la hanche. Il peut, par sa contraction, soit élever le bord antérieur de l'aile, soit porter la hanche en dehors.

Le muscle postérieur s'insère en haut sur le sigmoïde. Il est élévateur de la tubérosité postérieure, et porte la hanche en dedans.

On peut se demander si ces deux muscles n'ont pas d'autre fonction que celle d'élever l'aile. Il est probable qu'ils servent

à brider l'écartement des deux tubérosités dans la période de l'abaissement.

Muscles pleuro-dorsaux. — Un muscle répond à cette dénomination. Le pleuro-dorsal est un petit muscle transversal, qui s'insère en dedans à la face externe du renfort de l'antédorsum, et en dehors sur la face interne de l'apophyse alifère ou à la base de la bifurcation du sommet de l'entopleuron.

Il pousse en bas et en arrière l'antédorsum, par suite en sens inverse l'aile. Il pourrait être considéré comme propulseur et élévateur en même temps. Sûrement, il sert de lien élastique entre le pleuron et le notum.

Muscle axillaires antérieurs. — Il y en a deux marchant côte à côte, mais très disproportionnés comme volume.

Le *grand préaxillaire* s'insère en bas sur l'apophyse quadrilatère, et en haut dans le compartiment postéro-externe de la face inférieure de l'osselet antérieur, par l'intermédiaire d'une forte cupule.

Le *petit préaxillaire* est accolé à la partie antéro-externe du grand. Il s'insère en bas au-devant et au-dessous de l'apophyse quadrilatère, et en haut par un long tendon filiforme, dans le même compartiment que le grand préaxillaire.

Ces muscles tirent l'extrémité externe de l'osselet antérieur en dedans, en avant et en bas ; le versant antérieur est par suite entraîné dans la même direction.

Muscles axillaires postérieurs. — Nous avons un grand muscle (le grand postaxillaire) et trois petits (petits postaxillaires et muscle du tampon).

Le *grand postaxillaire* s'insère : en haut sur une grande cupule dont le pédicelle est fixé en arrière du pivot postérieur, sur l'apophyse submédiane ; en bas, sur la branche postérieure de bifurcation de l'entopleuron.

Les deux *petits postaxillaires* s'insèrent en haut sur l'angle postéro-externe de la tubérosité postérieure. Ils s'insèrent en

bas, l'un à l'origine de la crête qui sépare le mésopleuron du métapleuron, l'autre plus bas, dans la fourche du stigmate.

Le *muscle du tampon* correspond au fulco-basilaire de Chabrier. Ma désignation peut paraître bizarre ; mais Chabrier n'a rien vu de l'importance de ce muscle ; il n'en parle plus chez les autres Insectes, tandis que je le montrerai partout.

C'est ici un petit muscle dirigé d'arrière en avant. Il s'insère en arrière sur la face postérieure de la tubérosité antérieure, au niveau de son adhérence avec la nervure postérieure, et en avant par un disque échancré au niveau de l'union du pivot postérieur et de la tubérosité postérieure.

Le grand postaxillaire et les petits postaxillaires abaissent le versant postérieur de l'aile.

Le muscle du tampon augmente l'angle des deux versants, action de premier ordre au point de vue mécanique. Il protège en même temps la tubérosité postérieure contre les tiraillements des postaxillaires.

Muscles de l'aile postérieure. — Ils sont entièrement comparables à ceux de l'aile antérieure.

Les muscles dorsaux sont moins divergents de la ligne médiane que ceux du mésothorax : ils s'insèrent en avant à la petite apophyse onguiculée du métanotum, en arrière sur la face antérieure du premier anneau abdominal. Ils forment avec le plan des méso-dorsaux un angle obtus ouvert inférieurement.

Les sternali-dorsaux s'insèrent en partie sur la selle entosternale, en partie sur les cupules pédicellées qui les suivent. Le droit est rapproché du gauche inférieurement ; il en est séparé supérieurement.

Rien de particulier pour les autres muscles. La planche III fait voir leurs diverses relations.

Sur les théories du vol. — Quoique nous soyons très réservé sur ce chapitre, nous avons néanmoins des documents assez nombreux pour tenter la critique.

Chabrier (1) a fait une étude très soignée de la Libellule. Nous lui reprochons seulement d'avoir méconnu les caractères géométriques de la base de l'aile, de considérer l'aile comme un levier simple, mû par un groupe d'élevateurs et d'abaisseurs. Il a cru à tort qu'il n'existait pas de muscle dorsal métathoracique. Il a finalement contribué à faire considérer les Pseudo-Névroptères comme des types absolument à part, non susceptibles d'être comparés aux autres Insectes.

Poletaiew (2) s'est seulement occupé du développement des muscles d'Odonates.

Von Lendenfeld (3), dans un récent et estimable travail, a étudié l'organe du vol chez les Libellulides. Il accuse avec raison Marey et Petitgrew de n'avoir pas tenu assez compte des détails anatomiques. On ne saurait lui faire le même reproche ; car sur le notum, il ne compte pas moins d'une quarantaine de pièces chitineuses, la plupart avec un mode d'articulation spécial. Cette nomenclature nous paraît exagérée ; nous ne voyons pas que l'auteur ait dégagé un schéma mécanique simple et clair d'un rouage aussi compliqué et aussi minutieusement décrit.

Il s'attache d'autre part à démontrer anatomiquement certains faits de physiologie déjà connus. Ainsi le *radius primus* (nerv. ant.) roule sur l'humérus (terminaison de la nerv. ant.) et l'humérus sur la *scapula* (osselet antérieur) ; le *radius tertius* (nerv. méd.) s'articule en charnière avec le *basilare radii tertii*. Le *radius quintus* (nerv. post.) a, grâce à son ligament, la faculté de participer aux mouvements des deux nervures précitées. Celles-ci ont trois axes de rotation : horizontal, vertical et longitudinal. Ainsi s'expliquent ces retournements de plans alaires, signalés par certains physiologistes. L'auteur s'est bien rendu compte du phénomène de retourne-

(1) Chabrier, *Mémoires du Muséum*, t. VII.

(2) Poletaiew Nic., *Du développement des muscles d'ailes chez les Odonates* (*Horæ Soc. Entom. Ross.*, t. XVI).

(3) V. Lendenfeld, *Der flug der Libellen*. Aus dem LXXXIII B. der Sitzb. Acad. Wisch. I abth. März-Heft, 1881.

ment lorsqu'il parle d'axe longitudinal. Mais nous avons expliqué ce fait d'une autre façon. Les articulations scapulo-humérale et huméro-radiale ne nous apparaissent pas sous le même jour.

Il dit plus loin qu'une flexion de l'aile dans une direction perpendiculaire à sa surface est impossible : c'est une observation très juste.

M. von Lendenfeld est moins heureux dans la description des muscles. Les insertions inférieures manquent de précision. L'insertion supérieure du *flexor* (grand postaxillaire) nous déroute complètement, et nous cherchons en vain la description des muscles dorsal, pleuro-dorsal et du tampon. Chabrier était plus complet sur ce sujet.

La dernière partie de son travail est purement physiologique. La méthode des appareils enregistreurs a des inconvénients pour étudier la courbe décrite par la pointe de l'aile. Il vaut mieux dans ce but employer la photographie : les rayons lumineux sont projetés au moyen d'un héliostat sur une grande lentille, puis sur une plus petite ; ils n'arrivent dans l'appareil photographique qu'après avoir traversé un petit trou, et celui-ci peut se fermer assez vite, de manière que la lumière n'agisse que $1/2000$ de seconde. L'Insecte est fixé par une aiguille enfoncée légèrement par la face sternale, et porté entre les deux lentilles.

La comparaison des divers moments photographiques a permis à l'auteur de vérifier la courbe en 8 de chiffre ; il a achevé de la rendre palpable par une épure de géométrie descriptive, ce qui est une idée hardie.

Cette courbe nous amène à parler des diverses théories qui ont été émises sur le vol. Nous citerons les principales seulement, pour les besoins et l'intelligence de notre travail, afin de rectifier celles qui seraient contraires à l'anatomie. L'historique complet sortirait de notre plan.

Borelli (1), le premier, donne une théorie sur le vol. Elle peut se réduire aux propositions suivantes : 1° l'action de

(1) Borelli, *De motu animalium*, in-4°, 2 vol. Rome, 1880.

l'aile est comme celle d'un coin; 2° l'aile consiste en deux portions : une portion antérieure rigide et une portion postérieure flexible; 3° la flexion ascendante de la portion postérieure a pour résultat nécessaire un transport horizontal du corps de l'Oiseau; 4° pour résister à la pesanteur, les ailes frappent verticalement en bas.

Les idées de Borelli ont été adoptées par la majorité des botanistes suivants.

Chabrier (1), lui, ne se préoccupe nullement de certains détails, cependant bien observés, pour en déduire la nature de l'incidence sur l'air : 1° les muscles éleveurs cessant d'agir, les ressorts du tergum brusquement détendus et les muscles releveurs de l'abdomen donnent à l'animal une force centrifuge et élévatrice. Cette action est secondée par les muscles abaisseurs, qui, prenant un point fixe sur la base des ailes, attirent en haut le sternum; 2° les pectoraux cessant d'agir, les ailes sont remises en position verticale par l'abaissement du notum et la contraction des éleveurs. Cette théorie est singulière en ce sens que les pectoraux sont considérés non comme abaisseurs des ailes, mais comme éleveurs du sternum; il n'y aurait pour les ailes qu'une période d'activité correspondant au coup ascendant. Pendant l'élévation du corps, l'aile serait passive. Petitgrew lui reproche de négliger les muscles éleveurs, mais, loin de les négliger, nous trouvons qu'il en a abusé.

Le duc d'Argyl (2), Owen, Macgillivray (3), Bishop (4), Liais (5), Girard adoptent les idées de Borelli. Pour eux, l'aile frappe verticalement vers le bas. L'anatomie de la Libellule nous montre, au contraire, la marge antérieure de l'aile se portant en avant en décrivant une courbe.

(1) Chabrier, *loc. cit.*

(2) Le duc d'Argyl, *Reign of Law*, Goodivords, 1865.

(3) Macgillivray, *Oiseaux de la Grande-Bretagne*, 1837.

(4) Bishop, Art. MOUVEMENT de l'*Encyclopédie d'anatomie et de physiologie*, 1847. *Flight of birds*.

(5) Liais, *Sur le vol des Oiseaux et des Insectes (Annales des sciences naturelles. — Comptes rendus Acad. sc., avril 1861)*.

Strauss-Dürkheim compare l'aile à une tige rigide suivie d'un voile ; il lui fait aussi frapper l'air perpendiculairement.

Enfin, Marey (1), tout en apportant une analyse très minutieuse des mouvements de l'aile, ne nous donne pas une théorie nouvelle et différente de celle de Borelli. Soit un carré de papier tenu obliquement dans l'air ; laissons-le tomber : il tombera en décrivant une courbe dans le sens de cette obliquité ; supposons que cette obliquité vienne à changer de sens, nous aurons une chute dans une nouvelle direction. Ce fait exact peut nous rendre compte de la théorie de M. Marey. L'aile, pour lui, se réduit à une tige flexible antérieure, suivie d'un voile membraneux. Ceci posé, abaissons l'aile : par suite de l'inégale résistance à l'air de la tige et du voile, il se forme un plan incliné suivant lequel l'aile descend. Relevons l'aile : pour les mêmes motifs, il se forme un plan incliné de sens contraire, suivant lequel l'aile remonte. Un point quelconque de cette tige décrit une sinussoïde, il suffit d'un abaissement et d'une élévation alternatifs, pour pousser l'aile en avant. La formation de courants de sens contraire peut déterminer celle d'une sinussoïde bouclée. Nous reviendrons, du reste, sur le 8, en étudiant les osselets des Hyménoptères.

Déjà, cependant, il nous semble que M. Marey n'a pas tenu assez compte des pièces de la base de l'aile et du notum ; sans cela, il n'aurait pas donné à l'air une part si importante et à l'animal volant une part si minime.

Il est parfaitement exact que l'appareil musculaire peut, à la rigueur, se réduire à des muscles éleveurs et à des muscles abaisseurs, mais cela dans plusieurs directions obliques. De plus, les pièces élastiques et les articulations sont nombreuses et permettent des mouvements variés.

Il est encore exact qu'une partie de l'aile postérieure fuit en arrière dans le coup descendant ; mais quelle partie ? Il était important de le préciser. La partie postéro-supérieure seule fuit et se tord suivant une ligne de résistance variable, suivant

(1) M. Marey, *La machine animale*. Germer-Baillière, 1882.

la nature et la vitesse de l'aile. Au contraire, la partie postéro-interne, le versant basilaire postérieur se porte en avant, sinon pour recevoir la colonne d'air frappée, du moins pour augmenter la solidité de l'aile ou faciliter la torsion. Il est exact qu'avec la théorie de M. Marey, l'animal s'avancera; mais la sinusoïde qu'il décrira sera plutôt descendante qu'ascendante, son aile ayant trop peu de prise sur l'air frappé.

Il est facile d'obtenir cette sinusoïde descendante chez un Insecte quelconque. Il suffit, pour cela, avec de fins ciseaux, de détruire le dièdre basilaire formé par les deux versants de l'aile. On empêche la formation de ce dièdre en excisant les nervures submédiane et postérieure au niveau de leurs terminaisons basilaires. L'Insecte peut alors s'avancer... mais en tombant (1).

Petitgrew (2) a des idées très différentes de celles des auteurs précédents. Il tient compte, dans une certaine mesure, de l'anatomie de la base de l'aile; de là, une théorie plus complète. Il attribue le transport horizontal : 1° à ce fait que les ailes, à la fois pendant l'élévation et l'abaissement, sautent en avant, suivant des courbes qui, en s'unissant, forment des courbes ondulées continues; 2° à la construction des ailes (ce sont des vis ou hélices élastiques qui se tordent et se détordent quand elles sont mises en vibration, et tendent à porter en haut et en avant tout le poids qui y est suspendu); 3° à la réaction de l'air sur les faces inférieures des ailes, qui agissent toujours comme des cerfs-volants; 4° à la force toujours variable qui pousse les ailes et qui est la plus grande au commencement du coup descendant, la plus petite à la fin du coup ascendant; 5° à la contraction des muscles volontaires et des ligaments élastiques; 6° à l'effet produit par les surfaces diversement inclinées, formées par les ailes durant leurs oscillations; 7° au poids du corps. Cette dernière force agit sur l'aile de la même façon que sur notre morceau de papier.

Examinons ces diverses propositions. Le n° 1 n'est pas de

(1) Amans, *Comptes rendus Ac. sc.*, avril 1883.

(2) Petitgrew, *La locomotion chez les Animaux*. Paris, 1874.

notre compétence, c'est-à-dire que l'anatomie seule ne nous permet pas de deviner la trajectoire. Il faut y ajouter d'autres facteurs, tels que vitesse initiale, déplacements du centre de gravité, lois de la résistance de l'air. Marey aussi donne la courbe ondulée ; seulement il laisse à l'air la cause exclusive de sa formation, c'est-à-dire de la propulsion.

2° La comparaison de l'aile à une hélice nous avait d'abord séduit, mais nous verrons plus tard les raisons qui nous font pencher vers un autre type de surface gauche. Marey reproche à Petitgrew de se laisser entraîner par une simple apparence. « En admettant, dit-il, que l'aile pivote sur son axe, cette rotation se borne à une fraction de tour, puis est suivie d'une rotation de sens inverse, qui dans l'hélice détruirait complètement l'effet produit par le mouvement précédent. » La réfutation n'est point tout à fait juste : le vilebrequin de Petitgrew ne travaille pas dans le bois, mais dans l'air.

L'hélice, dans le coup descendant, présente à l'air sa concavité, dans le coup ascendant sa convexité. Or il résulte des expériences de Didion (1) que, si l'on fait mouvoir dans l'air une surface courbe dont la flèche est comprise entre le tiers et le quart de la largeur, la résistance quand la convexité est tournée en avant, n'est que les 0,77 de celle qu'éprouverait une surface plane égale à la projection de la surface courbe perpendiculairement au mouvement ; tandis que, lorsque c'est la concavité qui est en avant, la résistance est représentée par 1,94, celle de la surface plane étant 1. Par conséquent, le coup d'aile ascendant aura à lutter contre une force bien moindre que le coup descendant, et l'effet produit pourra être une propulsion suivant l'axe de l'animal.

3° La comparaison avec un cerf-volant jure avec la précédente ; un cerf-volant est une surface rigide, un plan incliné tenu en équilibre par la tension d'une corde, la pesanteur et la résistance de l'air. Supposons un courant aérien dirigé contre la surface inférieure du plan incliné ; ce plan est nécessaire,

(1) Art. RÉSISTANCE DE L'AIR (*Dictionnaire des mathématiques appliquées*. Sonnet).

sinon celui qui tient la corde est obligé d'en créer un en courant, et alors rentrons dans la première hypothèse. Dans ce cas, la résultante du poids et de la poussée aérienne est normale à la surface. Si le courant augmente d'intensité, le cerf-volant monte sur le grand cercle décrit avec la corde comme rayon; s'il diminue d'intensité, le cerf-volant descend sur ce grand cercle, tend à devenir vertical et à tomber. Si on lâche de la corde, le cerf-volant monte, poussé par une force normale dans le sens du rayon; il monte en décrivant naturellement une courbe plus basse que cette direction, car il a aussi à lutter contre la pesanteur et la résistance de l'air supérieur.

On ne pourrait guère comparer ces phénomènes à ceux de l'aile que dans l'action de planer, car alors les ailes sont à peu près immobiles et forment une surface inclinée. La tension de la corde est remplacée par la vitesse initiale et par certaines évolutions volontaires de l'animal (ascension en grande spirale des vautours).

Les autres propositions se déduisent tout naturellement de la forme en hélice combinée avec l'action des muscles et le poids du corps.

En somme, la théorie de Petitgrew nous semble plus conforme à l'anatomie que celle de Marey. Pour mieux dire, il y a un peu de vrai dans toutes les théories que nous avons examinées; et, d'un autre côté, toutes nous semblent pécher par la base de l'aile. Voici les réflexions que nous inspire l'*Æschna*.

1° *Coup descendant*. — Les sternali-dorsaux cessant de se contracter, la conque *thoracique* trop comprimée se détend trop brusquement; les grands axillaires se contractent en même temps, chacun suivant sa direction particulière, l'antérieur plus en avant. Sous l'influence des grands axillaires et de leurs satellites, le versant antérieur de l'aile est porté en avant en bas, l'extrémité de l'aile décrivant un arc oblique par rapport à l'axe de l'animal, et venant s'appuyer dans l'espace au delà du niveau de la tête. Le ptéropstigma indique le niveau du point d'appui, c'est lui qui relie la nervure antérieure à la ner-

vure médiane. C'est de lui que part la ligne de moindre résistance; cette ligne, qui a frappé M. Marey, existe réellement; mais, nous le répétons, dans la partie postéro-supérieure seulement, car le versant postérieur, loin de s'échapper en arrière et en haut, se porte lui aussi en bas et en avant, mais moins vite en avant, à cause de la direction de ses muscles axillaires.

Le muscle du tampon doit jouer ici un grand rôle en maintenant et augmentant le dièdre des deux versants. Il donne une grande solidité à la base de l'aile et favorise la torsion longitudinale de l'aile, torsion dont nous avons démontré la possibilité, et qui doit avoir pour but d'utiliser le maximum de résistance de l'air.

En résumé, l'aile s'empare de la colonne d'air frappée par son extrémité antéro-centrifuge, se tord sur elle et la refoule graduellement vers la base du versant postérieur. L'extrémité de l'aile, frappant l'air avec la plus grande vitesse, et par suite avec la plus grande intensité, se fixe dans l'espace, pendant que la colonne d'air vient soulever l'animal par les aisselles et le projette en haut.

2° *Coup ascendant.* — L'aile se détord sous l'action des forces élastiques et des sternali-dorsaux. Comme elle présente à l'air supérieur des surfaces convexes, la force d'impulsion donnée par le coup descendant n'est pas sensiblement ralentie.

Voilà le phénomène brut, sans appréciation de vitesse initiale, ni du centre de gravité, ni du nombre ou de l'angle des vibrations. C'est uniquement l'exposé d'une série de mouvements possibles. On voit cependant, dans ce court exposé, figurer des facteurs à peu près nouveaux dans la discussion: la condylarthrose à flexion de la base du plan antérieur, les réactions élastiques du dorsum, du postdorsum, des pivots mobiles, la commissure articulaire ou courbe de torsion, la courbe de moindre résistance et le dièdre basilaire.

AILES ARTIFICIELLES. — C'est la morale obligée de toute

étude sur le vol. Les ailes artificielles de Borelli, de Marey, sont conformes aux théories de leurs auteurs : une tige plus ou moins rigide suivie d'un voile membraneux. Les expériences de Marey sont très ingénieuses, surtout au point de vue de la transmission des forces au moyen d'un courant d'air comprimé. Il a réussi ainsi à faire tourner un appareil mobile autour d'un axe vertical ; mais ce n'est pas là le cas d'un appareil véritablement aérien ; et, dans ce cas, nous conservons des doutes sur l'efficacité d'ailes ainsi construites.

Petitgrew a construit une aile ondulée spirale qui se tord et se détord pendant son action pour former une vis ou une hélice mobile ; l'aile peut être mise en mouvement par la vapeur à l'aide d'un piston à action directe. La marge antérieure de l'aile est formée par un roseau élastique courbé de haut en bas ; à cette marge sont attachés des roseaux élastiques amincis qui rayonnent vers l'extrémité de l'aile et se courbent également de haut en bas. Ces derniers sont disposés de manière à donner à l'aile un certain degré de spirauté, les marges antérieure et postérieure étant disposées en divers plans, de manière à paraître se croiser. L'aile est attachée à côté du cylindre et sa racine s'y meut dans une articulation en boule. Des chaînes mobiles relient la base de la tige aux extrémités opposées du piston ; des cordes *élastiques inférieure* et *supérieure* aident à élever et à abaisser l'aile.

On voit que l'auteur a senti la nécessité d'appliquer certaines substances élastiques à la base de l'aile, et que cette base peut se mouvoir dans tous les sens, ce qui est un progrès sur l'aile de Borelli, mais en même temps une exagération ; car la base de l'aile ne peut pas se schématiser par une articulation en boule. Petitgrew a encore tenu compte de ce fait, que l'aile véritable est une surface gauche, à concavité inférieure, et dont la base se meut dans plusieurs plans verticaux. Mais est-ce tout ? Que signifie donc cette insertion spiralée de la base des ailes ?

Comme nous l'avons énoncé pour l'*Æschna*, et comme nous le démontrerons pour tous les Insectes, la base de l'aile

forme une espèce de dièdre dont les deux plans basculent autour d'un pivot fixe (apophyse alifère) et dont l'arête (nervure médiane) est reliée à sa symétrique par un système spécial de ressorts. L'air vient frapper le versant postérieur, où une nervure munie d'une voile lui résiste. L'auteur anglais a négligé ce détail qui doit avoir son importance, puisque nous le trouverons chez tous les Insectes. En le négligeant, il construit une aile toute nue, exactement comme celle de M. Marey. La surface de l'aile a beau être hélicoïdale, nous ne voyons pas sa grande supériorité sur celle de M. Marey. L'aile ondulée peut, il est vrai, tourner dans tous les sens à la base de l'aile ; mais là encore la direction de cette rotation est réglée uniquement par l'air, et ce n'est pas le cas des Insectes, dont la volonté est souveraine en pareille matière.

Quant à la surface alaire, est-ce bien une hélice ? M. Marey n'a pas tout à fait tort lorsqu'il parle de plan. Nous soulevons déjà cette question, bien que les éléments nous manquent encore pour la juger. Mais nous verrons plus tard que la surface alaire a une directrice et des génératrices telles qu'elle en impose souvent, soit pour un plan, soit pour une hélice, sans cependant être jamais ni l'un ni l'autre.

II. — ORTHOPTÈRES.

J'ai disséqué dans cet ordre des Criquets, Locustes, Blattes, Mantis. J'ai choisi comme type une grande Locustide de Saïgon, tant à cause de son volume que de la simplicité de ses articulations.

La figure 1 de la planche IV (voy. *Revue des sciences naturelles*, 1884, *Sur les organes du vol des Orthoptères*, Amans) montre l'animal au repos. Les ailes antérieures sont très larges et beaucoup plus longues que le reste du corps ; elles recouvrent les ailes postérieures et sont repliées sur les flancs, contrairement aux ailes des *Libellulides*, qui se tiennent droites. Ouvrons les ailes et examinons leurs diverses projections ; on a ainsi une idée générale de la surface alaire. On voit bien

nettement qu'elle n'est pas plane; la base est formée de deux versants inclinés, l'un en avant, l'autre en arrière, à angle dièdre, obtus, ouvert inférieurement. Cet angle est bien marqué à la base, mais le sommet s'arrondit et devient nul à mesure qu'on s'avance vers l'extrémité de l'aile.

Au repos, le versant antérieur est appliqué contre les flancs, et le versant postérieur sur le dos; les bords basilaires sont légèrement repliés en dessous, ceux du dernier soutiennent une membrane molle comme chez l'*Æschna*; comme direction, le bord antérieur est en regard du grand sillon mésopleural, qui correspond à l'entopleure. Le bord postérieur est oblique de dehors en dedans, d'avant en arrière. Le plan de raccordement, c'est-à-dire la portion centrifuge de l'aile qui relie les deux versants basilaires, a la forme d'un segment elliptique; du côté courbe, il forme l'extrémité arrondie de l'aile; des deux autres côtés, il s'enfonce comme un coin entre les deux versants, entre la nervure médiane et la submédiane.

○ Remarquons encore un détail sur le plan postérieur: il est très épais et renforcé par une forte commissure formant une crête en bas, un sillon correspondant au-dessus. Cette commissure se dirige de la nervure post-perpendiculairement sur la nervure submédiane. Une autre commissure parallèle, mais plus faible, limite en arrière le coin compris entre les nervures médiane et submédiane. Toutes ces fortifications ont leur utilité; c'est dans la partie postérieure du gouffre axillaire que l'air vient butter, et favorise l'ascension du thorax. Si, pour une cause quelconque, la résistance de ce plan est détruite, l'ascension est supprimée. A ce propos, une petite expérience.

Soit un *Acridium* vivant (il est probable que les résultats seraient les mêmes avec la *Locustide* que nous avons prise pour type, car l'anatomie est pareille). L'*Acridium* fait un bond à l'aide de ses pattes postérieures; arrivé au point culminant de sa courbe, il a les ailes étendues et s'en sert, soit pour voler un moment, soit pour retomber sur le sol en para-

chute. Dans ce dernier cas, la forme de la parabole est changée, mais la branche de chute est toujours de sens opposé à la branche d'ascension, c'est-à-dire qu'elle occupe une position symétrique par rapport à celle-ci. Détruisons maintenant, par une excision insignifiante, la concavité, la résistance du plan postérieur dans les quatre ailes, et examinons la nouvelle allure de l'*Acridium*. Il se prépare, déplisse ses ailes et les fait vibrer rapidement; le voilà qui s'arc-boute sur ses jarrets et bondit; il a ses ailes ouvertes et va retomber... le plus souvent vers le point initial du saut, de sorte que la branche descendante est de même sens que la branche ascendante.

Tout se passe comme si vous lanciez obliquement dans l'espace un carré de papier un peu fort; arrivé au haut de sa course, il redescend presque par le même chemin. Voilà des faits dignes d'être retenus, si l'on veut construire des ailes artificielles. Les ailes artificielles de MM. Marey et Petitgrew ne sont pas basées sur ce principe, et c'est un tort.

La charpente de l'aile est formée par six nervures : *proantérieure*, *antérieure*, *subantérieure*, *médiane*, *submédiane*, *postérieure*. Les plus apparentes dans l'aile antérieure sont la médiane et la submédiane; les autres ne sont bien marquées qu'à la base. La membrane de l'aile est assez dure, ce qui a valu aussi à l'aile antérieure le nom d'élytre, par comparaison avec les Coléoptères.

La *nervure médiane* ne s'articule pas directement avec le dorsum; elle a la facilité de tourner sur une pièce quadrilatère (*lame carrée* Sauss.) (1), qui roule en charnière simple sur le dorsum et en condylarthrose sur l'apophyse alifère. C'est une différence considérable avec l'*Æschna*. L'explication anatomique de ce fait, c'est que les ailes des Orthoptères se plissent et non celles des Libellules. Dans le déplissement, la nervure médiane entraîne avec elle le plan antérieur et le plan postérieur, dont elle est l'intersection; les nervures antérieure et postérieure tournent de leur côté autour de la lame carrée; à

(1) *Annales des sciences naturelles*, 5^e série, t. X, p. 161.

cela près, les nervures ont entre elles les mêmes positions respectives dans les deux ordres d'Insectes : les nervures pro-antérieure, subantérieure, submédiane sont inférieures, spécialement alo-pleurales, tandis que les nervures antérieure, médiane et postérieure sont supérieures, spécialement alo-dorsales. En d'autres termes, les unes attachent la base de l'aile aux flancs, les autres au dos.

Dans le creux de l'aisselle, on voit la *nervure submédiane* se terminer par une sorte de ligne brisée, flexible, saillante. A cette saillie correspond sur la face supérieure une cavité limitée en arrière par la nervure postérieure. C'est la *dépression submédiane*.

La *nervure postérieure* est liée à la lame carrée et au mésonotum par une surface mobile; celle-ci renferme un osselet muni d'une saillie qui vient butter contre le bord postérieur de la lame carrée. Nous nommons *osselet terminal* cet osselet et *tampon* cette saillie.

Le terminal correspond à la partie de la nervure postérieure des Pseudo-Névroptères qui est soudée à la tubérosité postérieure, et le tampon à la partie de cette tubérosité qui donne insertion au petit muscle dit du tampon.

Les figures 4, 5 (pl. II) montrent les divers mouvements possibles autour de la lame carrée. Le plan de l'osselet terminal rmp tourne suivant la ligne mr et s'abaisse. Le plan rpq le suit sans brancher dans ses rapports avec lui, car la ligne rp est rigide; la ligne mp est au contraire à charnière, de sorte que le plan mq , poussé par derrière par les plans rmp et rpq , vient butter en avant contre les parois de l'antépleure, par l'intermédiaire du plan acb . Il se relève alors sur le plan terminal, et leur angle tend à zéro. Le plan du tampon s'éloigne de la lame quadrilatère, pendant que le plan amb s'en rapproche, c'est-à-dire dans le déplissement et inversement. Au commencement du déplissement total, notre dièdre basilaire est constitué : 1° par l'ensemble des plans amb , bmd formant le versant antérieur; 2° par l'ensemble des plans rmp , mpq , rpq formant le versant postérieur.

L'étendue relative de chacun de ces versants est très différente dans les deux ailes, comme nous le verrons plus loin.

Ces déplacements de nervures constituent la phase de déplissement, une sorte de période de mise au point. Quelle est la direction de l'arête du dièdre dans ce déplacement? La figure 3 (pl. III) nous en donne une idée approximative.

Soit xy une ligne de terre passant par le diamètre longitudinal; le plan horizontal est choisi passant par ce diamètre, et la tête o de la nervure médiane om est la portion initiale de la nervure médiane. Cette portion est sensiblement parallèle au bord antérieur de l'aile: elle est vue en perspective dans la période de l'aile au repos om , et vue dans la période de déplissement $om, o'm'$; $om, o'm$ sont les projections horizontales et verticales dans les deux cas. Cette figure n'a rien à démontrer; c'est une façon de représenter que la nervure médiane se porte de bas en haut et d'arrière en avant. La différence des angles en projection montre que la nervure gagne plus de terrain d'arrière en avant que de bas en haut.

Le déplissement accompli, la membrane molle qui suit la nervure postérieure est tendue comme un voile. Alors la lame carrée s'abaisse à son tour, et détermine les battements alternatifs.

En résumé, lorsque l'animal prend son vol, son aile antérieure est portée en avant et en haut, plus vite en avant qu'en haut; à mesure qu'elle monte, la base de la nervure submédiane se détend; l'angle des deux versants basilaires diminue, le voile s'étend, le gouffre axillaire augmente. A ce moment l'animal vu de face, présente, ailes et collier compris, l'aspect d'une proue renversée. L'air s'engouffre sous les deux ailes et soulève l'Insecte.

Aile postérieure. — Nous allons retrouver tous les éléments de l'aile antérieure, mais avec une particularité notable: le *versant antérieur est insignifiant; c'est le versant postérieur qui domine.*

Les nervures *proantérieure* et *subantérieure* s'insèrent par l'intermédiaire de membranes molles sur le bord supérieur de l'antépleuron. La *nervure antérieure* est mollement unie aux bords antérieurs de la lame carrée et du dorsum; elle se prolonge, ainsi que la *subantérieure*, jusqu'à l'extrémité libre de l'aile. Le bord antérieur est sensiblement rectiligne dans sa moitié basilaire, différant ainsi notablement de son homologue du mésothorax. La nervure *proantérieure* du mésothorax, comme nous l'avons vu, descend dans le grand sillon entopleural, et se recourbe ensuite pour se continuer avec le reste du bord antérieur, en formant à ce niveau un angle de 100-120 degrés. La nervure *proantérieure* du métathorax fuit, à partir de son origine, immédiatement en arrière, d'abord parallèlement à la *nervure antérieure*; un centimètre plus loin, elle se termine.

En somme, le premier versant se réduit à une longue et étroite marche d'escalier; arrivés sur la marche suivante, nous sommes sur la nervure médiane, et par suite sur la zone du plan de raccordement et du plan postérieur.

Une nervure secondaire part de la dépression submédiane et limite en avant d'elle toute une portion d'aile, ayant une forme lancéolée, et semblant constituer une aile indépendante (*Meconema*, *Acridium*, etc.). On peut considérer cette nervure secondaire comme la *nervure submédiane*.

Nous retrouvons dans la nervure submédiane la terminaison en zigzag sur les parois de la dépression submédiane. Elle forme une ligne de plissement, entre le versant antérieur et entre la surface mobile qui renferme le terminal; ce système de plissement est analogue à celui d'un livre dont les pages seraient triangulaires, au lieu d'être rectangulaires. Le dos du livre est la ligne de plissement ou l'arête commune des deux triangles. Le sommet antérieur de l'arête est fixé à l'angle antéro-externe de la lame carrée. Ce triangle interne roule sur le bord externe de cette lame et sur le postdorsum; le triangle externe est lié d'une façon rigide à la nervure médiane. Enfin les côtés formant la base de notre livre sont

exhaussés, renflés; ils constituent l'*arcade terminale*. La partie antérieure de l'arcade donne naissance à deux ou trois nervures; la partie postérieure à une dizaine de nervures secondaires.

Toutes les nervures secondaires qui partent de l'arcade terminale sont les analogues de la nervure postérieure des Pseudo-Névroptères. Elles forment les neuf dixièmes du versant postérieur, plus de la moitié de l'aile entière. Cette partie n'existe pas dans l'aile antérieure; elle n'y est représentée que par la bordure molle qui fait suite aux bords repliés de la terminaison de la nervure postérieure. Dans la partie postérieure de l'arcade terminale, on peut compter une dizaine de nervures, de plus en plus courtes, à mesure qu'on va d'avant en arrière: la première a 7 centimètres, la dernière 1 centimètre. Cette gradation se continue en avant; la submédiane mesure 8 centimètres et la portion lancéolée.

L'aile postérieure est plissée en *éventail*. Je tiens déjà à faire remarquer que *cet éventail n'est pas hélicoïdal*. Si l'on regarde les nervures de l'arcade terminale comme les génératrices du versant postérieur de l'aile, on voit, d'après leur direction, qu'elles n'iront jamais s'appuyer sur un axe commun, ce qui serait le cas d'une surface hélicoïdale.

Par suite du grand nombre de nervures secondaires, la base des ailes postérieures est plus large qu'au mésothorax. L'osselet terminal et le tampon sont plus volumineux.

Lorsque le tampon s'éloigne du côté postéro-interne de la lame carrée, la base de la nervure antérieure se rapproche du côté antérieur dans le déplissement, et inversement dans le repliement. L'osselet terminal s'insère en outre par la base commune renflée des nervures postérieures, entre les deux branches du postdorsum.

La *lame carrée* tourne sur le côté postérieur du coude dorsal, sur une charnière oblique de bas en haut, de dedans en dehors, d'arrière en avant. Elle est formée de deux parties: une partie interne qui roule sur le dorsum, et une partie externe qui se prolonge inférieurement et roule sur la partie posté-

rière de l'apophyse alifère. La *nervure subantérieure* chevauche sur la face antérieure.

La *nervure proantérieure* s'articule en syndesmose avec l'appareil de pronation, par l'intermédiaire d'une petite tige mobile, que nous retrouverons chez les Hyménoptères térébrants. Cette tige est homologue du bord antérieur de l'osselet antérieur des Pseudo-Névroptères.

Pénétrons dans la cage, dans la base de l'aile postérieure. Nous voyons l'entosternum s'enfoncer sous le rebord du dôme, où elle constitue une tête courbée en arrière, le *pivot fixe*. En avant du *pivot fixe*, l'antépleuron forme l'*appareil de pronation*, composé de deux lames spatuliformes; la postérieure s'appuie sur l'entopleuron; l'antérieure sur la crête antépleurale. Les deux lames s'affrontent par leurs parties élargies, et peuvent fléchir l'une sur l'autre, grâce à une articulation fissurale : c'est la *fente antépleurale*. Une crête transversale horizontale réunit l'entopleuron à la crête antérieure de l'antépleuron, et sert de base à l'appareil de pronation.

L'appareil de pronation constitue une espèce de ressort, qui tend à réagir si on presse sur l'articulation fissurale.

Nous pouvons maintenant analyser un peu plus à fond les mouvements de l'aile.

1° *Période de déplissement*. — Le versant antérieur pivote sur la face antérieure de l'apophyse alifère par la terminaison de la nervure subantérieure, s'avance et monte pendant que la lame carrée légèrement culbutée de dehors en dedans abaisse le coude dorsal. Le versant postérieur s'ouvre comme un livre, tourne sur la lame carrée; l'éventail se déploie. Ce mouvement de déplissement tire l'appareil de pronation en dehors.

2° *Période d'abaissement*. — La lame carrée s'abaisse, ainsi que l'appareil de pronation; par contre, le coude dorsal s'élève. Nous avons ainsi un levier du troisième genre, s'appli-

quant au coude dorsal. Le métanotum a assez de jeu en avant; mais en arrière, il peut simplement tourner autour d'un axe horizontal, transversal, comme nous le verrons plus tard. La résultante du levier aura donc pour résultat, soit en abaissant l'aile, de porter le dorsum en haut et en arrière, soit en élevant l'aile, l'inverse : dans le premier cas, il y a contraction, voussure du dôme tergal, dans le second extension.

Par conséquent, s'il y a des muscles qui déterminent soit la voussure, soit l'extension, ils seront soit abaisseurs, soit élevateurs. D'une manière générale, les muscles agissant sur le bras de levier externe seront abaisseurs; ceux, au contraire, qui agissent sur le bras interne seront élevateurs.

Pleuro-sternum. — On peut séparer à la lancette un mésopleuron et un métapleuron; mais le mésosternum est fortement soudé au métasternum.

Chaque segment alaire est partagé en deux parties par une grande crête allant du milieu du cercle pédieux au niveau du coude dorsal : c'est l'*entopleuron*. Elle se termine, en bas, par l'*apophyse pédio-pleurale*, en forme de bottine très pointue, dont le talon sert de pivot à la hanche. De chaque côté, sur la face externe du cercle, se trouve un parapet formant de chaque côté du pivot une petite éminence pour l'insertion des muscles. La hanche roule d'un mouvement conique autour du talon de l'apophyse pédio-pleurale.

L'*antépleuron du mésothorax* est intimement soudé au sternum, tandis que celui du métathorax en est séparé par une partie molle.

Nous avons vu que le bord supérieur des antépleures formait l'appareil de pronation. Leurs bords supérieurs se recourbent en dedans; on peut donner le nom de crêtes à ces parties recourbées.

Les *postpleures* sont plus grands que les antépleures; ils sont mollement réunis au sternum. Le bord postérieur du post-mésopleure est, comme chez l'*Æschna*, mollement uni au mésonotum; mais celui du postmétapleuron forme une forte crête,

qui se continue en haut avec le bord antérieur dorsal du premier anneau abdominal, de manière à faire un cercle rigide complet, sur lequel viendra basculer le métanotum.

Les deux *sternum* ont chacun la forme d'un toit trapézoïde à quatre versants ; partant d'une ligne de faite horizontale à celle-ci, correspond une forte apophyse à deux cornes : c'est l'*entosternum*. Chacune de ces cornes est creuse et s'ouvre inférieurement sous le plancher sternal. L'extrémité des cornes est élargie, creusée d'une rigole, sur laquelle s'appuie la pointe de l'apophyse pédio-pleurale. Le pont ainsi formé sert à l'insertion de muscles pédieux ; il donne, en outre, une grande solidité à l'union du pleuron et du sternum.

L'entosternum du mésothorax est suivi d'une apophyse médiane munie de deux paires de tendons musculaires.

Mésonotum. — Nous retrouvons chez les Orthoptères les trois principales divisions du mésonotum des Pseudo-Névroptères : *antédorsum*, *dorsum* et *postdorsum*. Seulement le *dorsum* est beaucoup plus convexe, et les deux autres segments profondément modifiés.

L'*antédorsum* forme une lame verticale échancrée en son milieu. De chaque côté de l'ouverture, elle porte deux palettes en forme de croissant, soudées à son bord inférieur. L'extrémité externe du croissant donne sur sa face postérieure insertion au pédicelle fibreux d'une forte plaque musculaire. L'*antédorsum* est solidement uni au prothorax par une forte membrane attachée à son bord supérieur, et par des muscles qui s'insèrent sur la face antérieure des palettes.

Le *dorsum* présente latéralement deux dépressions : une petite dépression en avant, la dépression antédorsale correspondant à celle du renfort chez les Libellules, et une postérieure beaucoup plus grande, la dépression postdorsale. Les deux dépressions sont séparées par une fente très étroite remplie de chitine moins dure. La dépression postdorsale est formée en avant par le versant postérieur du dôme dorsal, et en arrière par le versant antérieur du *postdorsum*.

Le bord latéral de cette dépression forme une ligne brisée dont les deux côtés correspondent à chacune de ces parties, et dont l'angle obtus de 120 degrés environ, regarde en dedans et en haut. Le côté antérieur s'articule avec le bord interne de la lame carrée; le côté postérieur avec un osselet triangulaire, très convexe supérieurement, articulé en dehors avec le terminal, et que pour cette raison nous appelons *dorso-terminal*.

Ces articulations sont des charnières simples; la première est linéaire. Celle du dorso-terminal avec le *postdorsum* est légèrement sinueuse avec peu de jeu. Celle du dorso-terminal avec le terminal est très lâche.

Si nous joignons à cette ligne brisée la ligne qui va de la fente à l'extrémité de l'*antédorsum*, nous aurons tout le bord latéral du *mésnotum*. L'ensemble est une ligne brisée à trois côtés. Nous avons vu les deux derniers; le premier est lié mollement à la nervure antérieure (nous n'avons pas ici d'antésigmoïdes); il forme avec le second côté un angle de 120 degrés environ, ouvert en dehors et surtout en bas. Cet angle est le plus important de cette ligne brisée: c'est un des premiers facteurs du dièdre basilaire formé par les deux versants de l'aile.

Le *postdorsum* forme une lame verticale arciforme, à concavité inférieure. Le milieu ou sommet de l'arc est séparé du dorsum par une *éminence nasiforme*, à laquelle correspond une fosse sur la face intrathoracique; il y a aussi une fosse à ce niveau chez les Pseudo-Névroptères, mais moins prononcée. Que signifie cette éminence nasiforme? Nous la retrouvons à peu près chez tous les Insectes, là surtout où les muscles dorsaux sont très développés. Elle doit avoir une certaine importance mécanique: c'est un rendez-vous, un centre de passage pour les forces de contraction ou d'extension de la voûte dorsale, pour toutes les forces qui agissent sur le versant postérieur de l'aile.

Je schématiserais volontiers le *mésnotum* par un X bissecté par un T, le point d'entre-croisement correspondant à l'éminence nasiforme. Nous reviendrons sur ce schéma à propos des Coléoptères.

Le postdorsum est lié mollement et en écaille par son bord inférieur avec le bord supérieur de l'antémétopleuron. Quant à son extrémité externe, nous avons vu qu'elle était en relation avec le dorso-terminal.

Nous ne voyons pas d'appendice analogue à la surface trilobée des Libellules.

Métanotum. — Il est plus long et plus flexible que le *mésanotum*. L'*antédorsum* est plus faible que son homologue ; le *postdorsum* y est plus développé. Il est formé d'abord d'une partie semblable à celle du *mésanotum*. Son bord inférieur est lié mollement et en écaille au méridien antérieur d'un petit dôme fusiforme, découpé en tranche de melon. Le méridien postérieur fait corps avec le cercle postérieur ; nous avons dit plus haut que ce cercle était formé par la fusion du postpleuron et du premier anneau abdominal. La crête du postpleuron s'élargit supérieurement sous forme de palette étroite et mince.

L'extrémité externe du *postdorsum* présente deux apophyses remarquables : 1° en dedans et en bas, une apophyse anguleuse qui s'enfonce dans une échancrure concordante du cercle postérieur, au niveau de l'extrémité du dôme fusiforme. Il en résulte que le *postdorsum* peut fléchir légèrement sur le dôme, autour d'un axe horizontal passant par les extrémités de ce dôme ; 2° en dehors et en avant, une apophyse s'articulant avec le terminal. C'est l'analogue du dorso-terminal. Elle est flexible sur le *postdorsum*. Plus en arrière, on voit le bord supérieur du *postdorsum* donner attache à l'arcade des nervures secondaires postérieures.

Le bord latéral du *métanotum* présente une ligne brisée à trois côtés comme au *mésanotum*. Unissons les deux lignes brisées, leur ensemble forme une sinussoïde non plane, dont la courbure générale est concave inférieurement. En projection verticale, deux angles dominant, les antérieurs de chaque segment, ceux qui correspondent au dièdre basilaire. Nous pouvons négliger les autres, correspondant au dorso-terminal,

au repliement de l'aile, c'est-à-dire à une fonction moins importante dans le vol. Lorsque les deux ailes sont étendues, on voit nettement les quatre versants basilaires correspondant à ces deux angles. Mais ces versants ne se continuent pas jusqu'au bout de l'aile.

Par suite de la prédominance du versant antérieur dans l'aile antérieure, du versant postérieur dans l'aile postérieure, l'ensemble des deux ailes a le facies d'une aile simple dont les versants constitutifs seraient formés par le versant antérieur de l'aile antérieure, et par le versant postérieur de l'aile postérieure. Un autre fait qui milite en faveur de cette assimilation des deux ailes à une aile unique, c'est la direction de deux lignes de bascule, des lames carrées. J'appelle ainsi la ligne de soudure qu'on voit sur la face supérieure de la lame carrée, et qui correspond à la lame de roulement sur la face postérieure de l'apophyse alifère. La première, celle du mésothorax, se dirige de bas en haut, en avant et en dehors, à peu près à 45 degrés dans tous les sens, tandis que la seconde est presque parallèle à l'axe du corps, et légèrement inclinée de bas en haut. On en conclut que le versant antérieur de la première aile est poussé à peu près également en avant, en dedans et en bas, tandis que le versant postérieur de la deuxième aile se porte surtout en avant ou en dedans. Ces directions sont conformes à celles des versants antérieur et postérieur d'une aile type unique.

On pourrait en tirer cette conclusion que, *dans un système de deux couples d'ailes, le dièdre basilaire existe non seulement dans chacun d'eux, mais dans leur ensemble.*

MUSCLES DU VOL

Je suivrai la même division que chez l'*Æschna*.

Muscles du mésothorax. Dorsal. — Puissant muscle qui s'insère en avant sur la palette de l'antédorsum, en arrière sur la face antérieure de la palette antédorsale du métanotum.

Il y a en outre d'autres faisceaux, qui s'insèrent sur l'antédorsum au-dessus de la ligne de soudure de la palette, et se rendent soit sur la palette antémétadorsale du même côté, soit sur sa symétrique. Il y a donc croisement de fibres.

Ce muscle raccourcit le diamètre longitudinal; le diamètre transversal augmente; le sommet de l'angle au dièdre, le coude dorsal, marche en dehors, en haut et en arrière. La lame carrée bascule sur l'entopleure. Le versant antérieur de l'aile situé de l'autre côté va en sens contraire, c'est-à-dire en bas et en avant.

Ce que devient le versant postérieur est peu important, car il ne joue pas un grand rôle au mésothorax; mais dans le métathorax, sous l'influence du muscle homologue, le versant postérieur déplisse graduellement ses dernières nervures, et roule sur la colonne d'air.

Hâtons-nous d'ajouter que le déplissement, pour être complet, réclame le concours des préaxillaires.

Muscle dorso-latéral. — Je nomme ainsi un muscle de moyen volume, plus court que le précédent, qui va d'arrière en avant, et en haut de la palette antémétadorsale au bord latéral postérieur du dorsum.

Il porte ce bord et par suite la charnière de la lame carrée en arrière et en bas. Il peut donc agir comme satellite soit du dorsal, soit des sternali-dorsaux.

Muscles sternali-dorsaux. — Il y en a cinq :

- 1° { Tendon antéro-interne de la hanche.
Face inférieure de l'angle antéro-externe du dorsum.

Ce muscle abaisse l'angle antéro-externe du dorsum. Il peut agir dans le relèvement de l'aile, dans la torsion de l'aile, et dans ce dernier cas, il coopère avec le muscle du tampon.

- 2° { Antésternum, en avant de la base de la grande corne entosternale.
Extrémité externe de la palette antédorsale.

Tire l'angle antéro-externe du mésonotum en dedans et en bas.

- 3° { Tendon postéro-interne de la hanche.
Sur le dorsum au niveau et en dedans de la fente dorsale.

Tire le coude dorsal en bas et légèrement en arrière. Porte la hanche en arrière.

- 4° { Face postérieure de la hanche par un tendon plus profond que le précédent.
Zone latérale du dorsum, un peu en avant et en dedans du précédent.

Même action que le précédent, auquel il est accolé, mais non parallèle. L'ensemble forme une espèce de surface gauche, dont l'importance mécanique m'échappe pour le moment (1).

- 5° { Tendon postéro-externe de la hanche.
Dépression postdorsale, un peu en avant et en dehors de l'articulation du postdorsum avec le cercle postérieur.

Tire en bas et légèrement en dehors la dépression postdorsale. Porte la jambe en arrière et en dehors.

Tous ces muscles agissant ensemble, abaissent le bord latéral du mésonotum, et avec lui la lame carrée, et par suite élèvent l'aile. Mais on voit aussi que chacun a une action spéciale dont il faudrait tenir compte dans les hypothèses sur le vol.

Remarquons encore que de ces cinq muscles, le second est le seul qui soit vraiment sternali-dorsal ; les autres sont plutôt des pédio-dorsaux et servent à deux fins.

(1) A ce point de vue, les muscles des Invertébrés ont été peu étudiés. En revanche, la géométrie des muscles chez les Vertébrés a été savamment observée et exposée par le Rév. Samuel Houghton : *Principles of animal mechanics*. London, 1873.

Muscles axillaires antérieurs. — Ils se composent de deux grands préaxillaires et d'un petit antédorso-axillaire.

1° L'un des deux préaxillaires s'insère en bas sur l'anté-sternum à côté et en dehors du deuxième sternali-dorsal; en haut, sur la moitié antérieure de l'appareil de pronation.

2° L'autre préaxillaire va du parapet antérieur de la hanche à la moitié postérieure de cet appareil.

Ces deux puissants muscles tirent en bas et en dedans l'appareil de pronation, et par suite, le versant antérieur de l'aile.

3° L'antédorso-axillaire est un petit muscle qui va de la face supérieure intrathoracique de l'appareil de pronation à la face postérieure de l'extrémité externe de l'antédorsum sur la plaque pédicellée déjà mentionnée.

Ce muscle joue un rôle de ligament élastique, réagit contre les tiraillements des précédents. Dans tous les cas, il est dirigé d'arrière en avant, en dedans et en haut. Il sera complémentaire du grand dorsal, ou antagoniste des préaxillaires, suivant que l'on supposera fixée l'extrémité antérieure ou l'extrémité postérieure.

Muscles axillaires postérieurs. — On y remarque un grand postaxillaire et le muscle du tampon.

1° Le *postaxillaire* est un muscle volumineux, allant du parapet postérieur de la hanche à une cupule, qui est fixée à la face inférieure du terminal.

Tire en bas l'extrémité inférieure du terminal.

2° Le muscle du tampon va de l'apophyse de ce nom à la face postérieure de l'apophyse alifère.

Il réagit contre les tiraillements du postaxillaire, porte en avant et en bas le terminal et par suite le versant postérieur du dièdre basilaire.

Muscles du métathorax. — Les muscles du métathorax sont entièrement comparables à ceux du mésothorax. Ils en diffèrent par le volume seulement. Les préaxillaires et surtout le postaxillaire sont beaucoup plus volumineux; la cupule du

postaxillaire est énorme, ce qui concorde avec le grand développement du versant postérieur.

COMPARAISON ENTRE ORTHOPTÈRES ET PSEUDO-NÉVROPTÈRES.

Après avoir étudié le thorax chez des types aussi tranchés que les Orthoptères et les Pseudo-Névroptères, il est intéressant de voir les points de comparaison.

Chez l'*Æschna*, les quatre ailes sont membraneuses; chez les Orthoptères, les antérieures sont dures, rigides, et les postérieures membraneuses à surfaces beaucoup plus grandes, par la forte prédominance du versant postérieur; l'ensemble de ces deux ailes se comporte comme une aile unique de l'*Æschna*. Chez celle-ci, en effet, quoique le versant antérieur de l'aile antérieure et le versant postérieur soient respectivement l'un plus fort, l'autre moins étendu que leurs homologues de l'aile postérieure, cette différence n'altère en rien la perfection et l'indépendance de chaque couple. L'*Æschna* peut continuer de voler avec une seule paire d'ailes; cela est impossible à la Sauterelle: celle-ci cabriole en arrière ou en avant, suivant que vous lui enlevez les ailes antérieures ou postérieures.

Chez les deux espèces, le vol est supprimé si on détruit l'incidence des deux versants. Cette opération consiste à exciser les nervures postérieures et submédianes au niveau de leur jonction avec l'arcade terminale; si l'on n'excise que la nervure postérieure, l'Insecte conserve, quoique avec difficulté, le vol ascendant.

Le squelette et la myologie chez les deux types sont beaucoup plus comparables qu'ils n'en ont l'air. L'appareil de pronation est comparable au système de la plate-forme et de la fente médio-frontale. Seulement le grand préaxillaire de l'*Æschna* est franchement et forcément abaisseur, tandis que celui des Orthoptères est surtout tenseur et pronateur du versant antérieur.

Chez les deux types, le sommet de l'antépleuron est tricé-

phale, avec un pivot antérieur mobile, un pivot fixe médian et un pivot mobile postérieur. Ce dernier est cependant très modifié chez les Orthoptères. La symphyse de l'*Æschna* est ici une condylarthrose nécessitée par le repliement de l'aile ; la pièce correspondant au pivot postérieur fait partie de la lame carrée avec laquelle elle est soudée.

Les différences les plus saillantes consistent dans les formes du grand dorsal, de la tubérosité antérieure et de la tubérosité postérieure.

La tubérosité postérieure de l'*Æschna* s'est tellement concrétée qu'il devient difficile d'y reconnaître l'arcade terminale, l'osselet terminal, et la surface de plissement située en arrière de la nervure médiane.

La description des organes du vol telle que nous l'avons exposée s'applique également aux autres Orthoptères, sauf de légères modifications.

Je noterai seulement une particularité des Acridiums, qui nous permettra plus tard d'aller plus facilement aux Coléoptères. La soudure des pièces basilaires n'est pas si forte chez l'Acridium que chez la Locustide de Saïgon. L'arcade terminale s'y dédouble nettement en une partie antérieure qui est le terminal et une partie postérieure qui est le soutien, l'arcade proprement dite des nervures secondaires.

III. — NÉVROPTÈRES.

On a divisé les Névroptères en deux groupes principaux, les *Planipennes* (ailes étendues au repos) et les *Tricoptères* (ailes postérieures se plissant et recouvertes par les antérieures). Le premier se rapproche des Névroptères par le port des ailes, le second des Orthoptères. Voici quelques observations sur un type du premier groupe, chez la *Panorpa communis*.

Les ailes postérieures sont assez semblables aux ailes antérieures. En général, chez les Planipennes le métathorax est pareil au mésothorax ; il lui est même plus facilement comparable que chez les Pseudo-Névroptères. Chez les Libellules

en effet, la musculature se reproduit assez fidèlement d'un segment à l'autre, mais les notum présentent de notables différences, et les pleuron ne sont pas séparables. Chez la Panorpe au contraire, le mésopleurosternum n'est réuni que par une membrane molle au métapleurosternum. Les sternums sont séparables, ce qui n'est pas possible chez les Orthoptères.

Le métanotum est un peu plus élargi et un peu moins allongé que le mésonotum, tout en ayant une organisation identique.

Je n'ai encore trouvé dans aucun autre ordre une pareille similitude dans les segments alifères. Cette disposition doit être évidemment la plus ancienne; la dissemblance des anneaux dans les colonies linéaires est un fait de différenciation plus avancée. Nous voyons du reste les Névroptères ouvrir la marche des Insectes dans les couches géologiques; on en a récemment trouvé de très haute taille, ce qui prouve que le type du rameur excessif tel que l'Insecte est comparable avec de grandes dimensions (1).

A ne considérer que les organes du vol, deux branches distinctes semblent sortir des Névroptères : les Pseudo-Névroptères et les Orthoptères. On arriverait aux Orthoptères par les Tricoptères.

Au premier abord, les Pseudo-Névroptères semblent mieux que les Orthoptères, se rapprocher des Orthoptères. Ils ont les quatre ailes étendues, peu disproportionnées, réticulées, d'égale consistance, et répétition des mêmes pièces sous les mêmes formes d'un segment à l'autre. Mais si les segments mésothoraciques et métathoraciques sont comparables entre eux chez la Libellule, ils le sont beaucoup moins avec les segments correspondants des Planipennes. Il y a même des différences telles qu'on pourrait réunir les Planipennes et les Orthoptères, et les englober dans la même description du vol. C'est ce qui m'a décidé à ne pas donner l'analyse complète des Névroptères, me bornant seulement aux comparaisons.

(1) On a constaté des envergures d'aile de plus de 30 centimètres.

Notum. — Le notum présente trois parties : antédorsum, dorsum, postdorsum.

Le dorsum se recourbe en avant en formant la double palette; il s'articule par son bord latéral: 1° en avant avec l'antépleuron par l'intermédiaire d'une pièce ou commissure allongée, élastique; 2° par le coude dorsal avec la base interne de l'aile; 3° en arrière, avec le postdorsum. Le coude dorsal n'a pas de fente proprement dite, mais il est très flexible.

Le postdorsum du mésothorax est soudé à la face antérieure de l'antédorsum du métathorax, au niveau supérieur de la palette antédorsale. Il se continue latéralement par une palette externe (extrémité externe du croissant des Orthoptères) verticale, qui en dehors fait corps avec le postpleuron, et en avant s'articule avec la partie antérieure du postdorsum. Car les deux postdorsum de la Panorpe sont comparables au postdorsum métathoracique des Orthoptères, c'est-à-dire qu'il est formé de deux parties : une partie antérieure roulant en charnière sur une partie postérieure.

Ce roulement est tout différent de celui des Pseudo-Névroptères. Ceux-ci n'ont pas de forts tiraillements dans le sens antéro-postérieur. De minces calottes élastiques (surface trilobée et son homologue métanotale) suffisent à adoucir le frottement des pièces dorsales entre elles et sur l'abdomen. Mais avec un puissant dorsal, il faut un antagoniste sérieux; de là la formation d'un cercle postérieur rigide.

Les Névroptères ont un cercle pareil au métathorax, ce qui dénote une certaine indépendance dans le vol des deux ailes antérieure et postérieure, indépendance qui n'a pas lieu chez les Orthoptères.

Pleurosternum. — Même schéma que chez les Orthoptères : 1° deux échancrures de chaque côté de l'apophyse alifère. Ce sont les golfes d'évolution du versant antérieur et du versant postérieur de l'aile. Je les nomme *golfe antérieur* et *golfe postérieur*; 2° une échancrure sternale pour la hanche; 3° une

apophyse pédio-pleurale et une crête médio-sternale longitudinale avec deux cornes.

Le sternum de la Panorpe n'est pas plat, mais fortement incliné de bas en haut et en dehors. Les hanches sont énormes, de forme conique. Elles contribuent à donner au thorax une forme cunéiforme, analogue à celle des Sphingides, de certains Diptères (*Culex*, *Tipula*).

Base de l'aile. — Elle présente un type tout différent de celui des deux ordres déjà décrits. Il se rapproche néanmoins beaucoup plus de celui des Orthoptères; j'exprimerai assez bien les comparaisons, en disant que les Pseudo-Névroptères sont des petits-neveux perfectionnés, et les Orthoptères des fils dégénérés, alourdis, ankylosés.

La lame carrée a les deux parties nettement séparées, sous forme de deux osselets distincts : 1° un osselet supérieur en rapport avec le coude dorsal, et que je nomme *sigmoïde*, en me servant d'une désignation bien méritée, imaginée par Chabrier à propos des Bourdons seulement; 2° un osselet inférieur, roulant sur la tête postérieure de l'appui des ailes, et que je nomme *submédian*. C'est l'analogue de l'omoplate Chab. des Bourdons.

Le dorso-terminal a une forme allongée et joue librement dans la dépression postdorsale.

Le terminal a aussi plus de jeu dans la dépression submédiane.

L'appareil de pronation est formé de deux osselets, le postérieur très large.

Les muscles sont entièrement comparables à ceux des Orthoptères.

Nervures des ailes. — Mêmes nervures fondamentales que dans les deux ordres précédents; elles forment aussi deux plans basilaires et un plan de raccordement centrifuge. Nous pouvons généraliser cette loi.

En réalité, ce que nous nommons plan antérieur n'est pas un plan mathématique, certaines nervures (proantérieure,

subantérieure, submédiane) étant externes et les autres internes (antérieure, médiane, postérieure). Cette disposition est alterne, de sorte que la section est une ligne brisée; mais alors nous retrouvons en petit la structure générale de l'aile composée, et, dans l'espèce, nous pouvons dire que l'aile membraneuse des Névroptères, Orthoptères, Pseudo-Névroptères peut être géométriquement considérée comme une réunion de trois ailes: 1° l'aile antérieure s'arc-boutant d'un côté aux flancs par les nervures proantérieure et subantérieure, de l'autre au notum par la nervure antérieure; 2° l'aile médiane, formée par les nervures subantérieure, médiane et submédiane, faisant spécialement basculer le coude dorsal, tandis que la précédente s'attacherait à l'antédorsum; 3° l'aile postérieure formée par les nervures submédiane, postérieure et voile qui s'attache au postdorsum.

Cette proposition paraîtra moins étonnante, si l'on réfléchit aux profondes divisions alaires des Alucitides. Ces papillons ont l'air en effet d'avoir six paires d'ailes. Il pourrait être intéressant de connaître la valeur morphologique et mécanique de ce genre d'ailes.

IV. — HYMÉNOPTÈRES.

On a divisé les Hyménoptères en deux groupes bien distincts, les *Térébrants* et les *Porte-aiguillons*. Les noms de ces groupes sont basés sur une différence anatomique, dont je n'ai pas à me préoccuper ici; seulement cette différence est accompagnée de modifications intéressant les organes du vol. L'abdomen est sessile chez les Térébrants, pédiculé chez les Porte-aiguillons; corrélativement, la musculature et le squelette sont très différents d'un groupe à l'autre. Il était donc nécessaire, pour avoir une idée assez complète de l'organe du vol chez les Hyménoptères, de chercher dans l'un et l'autre groupe ses sujets de dissection.

Je débute par un Térébrant, par le *Sirex gigas*; il nous servira de terme de comparaison et de transition entre les Névroptères et les Porte-aiguillons.

I. — ORGANES DU VOL CHEZ LE SIREX GIGAS (1).

Considérations générales. — Jetons un premier coup d'œil d'ensemble sur la face dorsale par exemple. Le pronotum se projette horizontalement comme une section de lentille à myope, et le métanotum s'y emboîte comme un tonneau sur son support. Ce pronotum s'appuie par ses angles postérieurs sur la base des ailes antérieures, comme chez les Sauterelles. Mais une différence frappante consiste dans la prédominance du mésonotum sur le métanotum; corrélativement, l'aile antérieure est beaucoup plus développée en surface que l'aile postérieure. Celle-ci s'insère plus bas que l'aile antérieure; son bord antérieur est replié en dessus, dentelé et forme une sorte de gouttière hélicoïdale, dans laquelle glisse le bord postérieur de l'aile antérieure.

Les deux ailes sont réunies dans le vol et leurs mouvements sont solidaires.

L'ensemble des deux ailes ainsi réunies et vues dans le maximum de relèvement, offre assez bien l'aspect du schéma alaire tracé par Borelli, et semble au premier abord donner raison à sa théorie, théorie d'après laquelle le volatile s'enfoncerait dans l'air comme un coin. Si l'on remarque en outre que la surface alaire semble entièrement plane, on est bien tenté de conclure dans le sens de M. Marey. Mais chez le Sirex, comme chez l'*Æschna*, cet aspect est trompeur.

Abaissons l'aile; à mesure que son bord antérieur se porte en avant et en bas, on voit la base de l'aile former un dièdre; le plan antérieur se porte en dedans, le plan postérieur en dehors. Un voile membraneux s'insère sur la base des nervures postérieures et assure ainsi la continuité du gouffre

(1) J'ai déjà figuré les organes du vol des Hyménoptères dans la *Revue des sciences naturelles*, 1884 : *Sur les organes et le vol des Hyménoptères*, 2 pl., Amans.

Les planches de ce dernier Mémoire s'accordent avec le texte actuel; la nomenclature seulement a été modifiée. Car, à cette époque, je n'avais pas encore adopté une nomenclature unique pour tous les types.

axillaire ; ce versant basilaire postérieur, replié, inappréciable au repos, se développe et s'étend de plus en plus, à mesure que l'aile s'abaisse.

Si dans cet ordre, comme dans les précédents, j'insiste tant sur la géométrie de la base de l'aile, sur son importance au point de vue du vol, c'est que personne n'y a jusqu'ici attaché d'importance. Chabrier, Saussure, notent et mentionnent simplement un élargissement de la portion postérieure de la base de l'aile.

Chabrier écrit (1) : « Chez plusieurs espèces, l'espace qui sépare l'aile supérieure de l'aile inférieure près de leurs bases est occupé, dans le vol, par une membrane adhérente au côté postérieur de l'aile supérieure. Les élytres de quelques Coléoptères, Orthoptères et Hémiptères offrent aussi en arrière un appendice membraneux propre à augmenter l'étendue de leur base. » C'est dans la bouche de Chabrier un détail anatomique sans importance, manquant de généralité ; il est vrai que cet appendice n'est qu'une partie du versant basilaire postérieur. Cet appendice membraneux peut être plus ou moins développé, peut même manquer (Agrion), mais sans que jamais l'existence du dièdre basilaire soit compromise.

Chabrier a cependant manié de main de maître les osselets basilaires des Hyménoptères ; les insertions de l'ongulaire et du claviculaire ne lui ont pas échappé ; les détails de formes, de limites sont bien analysés, mais les axes de rotation de ces osselets, les positions respectives de ces axes ne l'ont nullement frappé. Aussi n'en est-il nullement question dans sa physiologie du vol. Qu'en résulte-t-il ? C'est que sa description physiologique pourrait tout aussi bien s'appliquer à une aile tournant autour d'un seul axe oblique ; de là à être rangé parmi les partisans du coin alaire, il n'y a qu'un pas ; c'est du reste le rang que lui assigne Petitgrew. C'est regrettable de voir un si bon anatomiste de la base de l'aile, en compagnie de physiologistes qui l'ont totalement négligé.

(1) *Mémoires du Muséum d'histoire naturelle*, t. VII, p. 77 : *Essai sur le vol des Insectes*, par Chabrier.

En 1868, Saussure (1) écrit à propos des Blattaies : « Presque tous les Insectes qui, au repos, ramènent les organes du vol sur le dos, suivant une direction parallèle à l'axe du corps, offrent à la base des élytres et des ailes un petit champ membraneux qui se glisse et se renverse en dessous de l'organe. » Il distingue plus loin dans l'aile des Orthoptères une partie antérieure et une partie postérieure, celle qui comprend les nombreuses nervures de l'arcade terminale. Mais cette distinction n'a pour lui d'autre but que de favoriser le plissement ; elle ne porte pas du reste sur les relations géométriques.

Dans un travail plus récent (2), déjà analysé, M. de Lendenfeld a minutieusement décrit la base de l'aile chez les Libellulides ; il tient compte, lui, des diverses pièces chitineuses dans sa description physiologique du vol. Mais je ne vois pas qu'il donne une très grande importance à l'existence du versant basilaire postérieur ; il va même, dans son épure du 8 de chiffre, jusqu'à figurer la base de l'aile par une ligne droite (3). Après avoir justement fait observer que les ailes des Vertébrés sont toujours plus larges à la base que dans n'importe quelle partie, il place au contraire chez les Invertébrés le maximum de largeur dans les parties centrifuges. Tout en faisant la règle de cette disposition, il est obligé d'ajouter que chez les Insectes à quatre ailes, cette règle ne s'applique qu'à l'aile antérieure ; elle est aussi en défaut chez les Insectes qui planent (Libellulides Acridiens).

J'ajouterai de mon côté qu'elle est en défaut chez la majorité des Diptères et des Hyménoptères ; en un mot, je dirai que la règle mise incidemment en avant par M. de Lendenfeld est au contraire l'exception. Loin d'assimiler l'aile d'Insecte à une pièce rétrécie à la base, élargie dans le milieu ou dans les parties centrifuges, je schématiserai plus volontiers l'ensemble des deux ailes (de l'aile antérieure et de la postérieure

(1) De Saussure, *Études sur l'aile des Orthoptères* (*Annales des sciences naturelles*, 5^e série, t. X, p. 161).

(2) R. v. Lendenfeld, *Der Flug der Libellen*, loc. cit.

(3) *Id.*, *Ibid.*, tafel VII.

réunies) par une surface gauche triangulaire, à base centripète.

R. de Lendenfeld cite plus loin l'expérience de Petitgrew, d'après laquelle l'insecte continue à voler, malgré la section du bord postérieur. Mais, comme je l'ai antérieurement démontré, cette expérience n'est plus juste si on détruit l'angle dièdre de la base. L'Insecte continuera à voler, tant que vous ne couperez que des bords postérieurs centrifuges de l'aile ; il cessera de voler, si vous excisez les nervures submédiane et postérieure dans leurs parties centripètes.

Ce dièdre sert donc plus qu'à planer, puisque sans lui le vol est supprimé, tout en ayant la même surface alaire.

De Lendenfeld a disséqué un animal qui semblerait donner tort à ma théorie, l'Agrion. Les ailes de l'Agrion sont étroites à la base, élargies dans les parties centrifuges ; cette disproportion n'est qu'apparente. Dans l'abaissement de l'aile, toute cette partie élargie, centrifuge flotte en arrière et en haut, cédant mécaniquement à la résistance de l'air. La partie vraiment agissante et résistante de l'aile se réduit à un triangle biplane, à sommet centrifuge.

Cette loi est aussi vraie pour l'ensemble des deux ailes que pour une aile unique ; elle est aussi rigoureusement exacte pour chacun des deux couples alaires, lorsqu'ils sont physiologiquement indépendants (Libellulides, Névroptères) que pour leur ensemble, si leurs mouvements sont solidaires (Orthoptères, Hyménoptères). Abaissons, par exemple, l'ensemble des deux ailes chez le Sirex. On voit le bord postérieur de l'aile antérieure glisser dans la gouttière dentelée de l'aile postérieure, en allant de la base vers l'extrémité, et pendant ce temps les membranes basilaires se développent ; en d'autres termes, mon triangle s'effile par le sommet centrifuge, pendant que la base se développe en son maximum de surface.

ANATOMIE DES AILES.

Surface de l'aile antérieure. — Il y a beaucoup moins de nervures, et le réticulum est bien moins riche que celui des

ailes d'Orthoptères. Néanmoins les nervures principales existent et sont entièrement comparables à celles des Orthoptères.

La *nervure proantérieure* n'est, comme chez les Orthoptères, bien nette qu'au niveau de la tubérosité antérieure; elle se termine par une tige mobile, articulée mollement à ses deux extrémités, d'un côté avec la nervure antérieure, de l'autre avec l'appareil de pronation.

La *nervure antérieure*, qui forme le bord antérieur proprement dit, se termine à la base par une pièce assez large, la *tubérosité antérieure*. Cette pièce s'articule mollement en arrière avec la tête du *sigmoïde*, et en avant avec l'antédorsum par l'intermédiaire de l'*écaillette*. L'*écaillette* est une petite lame oblongue, convexe supérieurement, dont nous ignorons la signification morphologique. Nous serions tenté, en voyant ses rapports et sa position, de la comparer à l'antésigmoïde des Pseudo-Névroptères. Sa fonction est d'ailleurs un peu différente; elle a pour but de repousser en arrière la tubérosité antérieure. Elle agit ainsi de concert avec la lame de pronation pour faciliter la rapidité du coup d'aile ascendant. C'est en même temps un organe de protection pour la base antérieure de l'aile, qui n'est pas ici recouverte par le prothorax comme chez les Orthoptères.

La *nervure subantérieure* n'apparaît bien distincte qu'un peu au-dessus du niveau de l'humérus, à un quart environ de la longueur comprise entre la base de l'aile et le ptéropsigma. Si dans ce quart inférieur, on fait des sections perpendiculaires au plan antérieur de l'aile, on voit très nettement distinctes les sections des nervures antérieure et subantérieure. La nervure subantérieure se termine à la base par un prolongement qui pivote sur la tête antérieure de l'apophyse alifère. Ce prolongement est situé au-dessous du prolongement terminal de la nervure antérieure; il lui est en outre soudé, et leurs mouvements sont solidaires. Ces prolongements font avec la direction des nervures correspondantes un angle de 30 degrés environ, ouvert en avant et en bas, et mobile

dans cette direction, grâce à une *articulation par flexion* de son sommet.

Ce sont ces prolongements, y compris la petite tige proantérieure, qui forment la base du versant antérieur de l'aile. c'est la tubérosité ou osselet antérieur. C'est ainsi que nous interprétons cette pièce ailleurs si diversement dénommée et si mal comprise. L'inflexion de cette tubérosité sur les nervures correspondantes s'observe également chez les Orthoptères.

La *nervure médiane* est fondue avec la nervure antérieure vers l'extrémité de l'aile, dans tout le cinquième centrifuge. Puis vient le *ptéropstigma*, épaissement chitineux formé par l'accolement des nervures médiane et antérieure. La nervure médiane en sort sans solution de continuité, tandis que la nervure antérieure est articulée avec cet épaissement. Il y a là une *commisure articulaire* analogue à celle des Pseudo-Névroptères, et qui est en rapport avec la torsion du bord antérieur de l'aile. La nervure médiane continue son chemin, s'écartant de plus en plus de la nervure antérieure. Elle se termine à peu près de la même façon que chez les Orthoptères, c'est-à-dire qu'elle n'arrive pas directement au dorsum. Elle se termine en pointe entre la tête du sigmoïde et le bord postérieur de la tubérosité antérieure, à laquelle elle est soudée. Ce genre d'articulation lui permet de se replier en arrière, en entraînant avec elle cette tubérosité postérieure.

Le versant postérieur de l'aile présente deux nervures, moins fortes que celles du plan antérieur, et en direction divergente à partir de la base : nervures submédiane et postérieure.

La *nervure submédiane* se termine en bas sur une convexité, qui s'articule d'une part avec la nervure médiane et l'intermédiaire, de l'autre avec l'arcade de la nervure postérieure. Cette dernière articulation est très lâche, grâce à un petit osselet allongé, qui facilite le repliement, en pliant la convexité sur l'arcade postérieure. Je nomme l'ensemble de cette convexité et de la pièce qui le suit *rétro-médian*. C'est l'ana-

logue du *livre submédian* des Orthoptères. Le *rétro-médian* varie de forme suivant le port de l'aile.

La *nervure postérieure* se termine en bas par une *arcade terminale*, articulée avec le terminal de façon à compléter le plissement de l'aile. Elle va y former le repli qui glisse dans la gouttière dentelée de l'aile postérieure. Un voile membraneux s'attache à la partie ondulée de cette nervure, ainsi qu'à tout le long du bord postérieur du terminal, de façon à remplir tout l'espace qui sépare la base des deux ailes. Ce voile est flasque à l'état de repos, mais il se développe au fur et à mesure que l'aile antérieure entraîne en avant l'aile postérieure.

Surface de l'aile postérieure. — La surface est beaucoup plus petite, les cellules chitineuses moins nombreuses, le voile membraneux envisage davantage en haut et en avant. La tubérosité antérieure est moins compliquée; car on n'y voit aboutir distinctement qu'une seule nervure antérieure, au lieu de deux comme en avant. Celle-ci se termine par une bifurcation dont les deux branches sont réunies par une membrane rigide de chitine; la branche antérieure pivote dans le golfe antérieur. La branche postérieure s'articule d'une part avec l'anté-métadorsum par une écaillette analogue à celle de l'aile antérieure, et de l'autre avec l'alifère. La partie inférieure de cette branche correspond à la nervure subantérieure.

La nervure médiane se termine en pointe sur le bord postérieur de la branche postérieure de bifurcation.

La tubérosité postérieure est formée par des pièces analogues à celles de l'aile antérieure. Nous ferons cette étude à propos des osselets basilaires.

Anatomie du squelette de la cage thoracique. — *Prothorax.* — On y distingue deux parties : une partie antéro-inférieure, grêle, donnant attache à la tête et aux pattes antérieures, et une partie postéro-supérieure, beaucoup plus large, le *collier*,

en forme de capote de voiture. On peut y distinguer trois faces : 1° une face antérieure donnant attache au moyen de membranes molles au pédicule de la tête; 2° une face supérieure à surface convexe, à bords transversaux concaves, à bords longitudinaux convexes; en somme, une vraie section de lentille divergente; le mésonotum glisse sous son bord postérieur; 3° une face latérale qui se dirige en bas, en dedans et en avant; elle forme une sorte de coin jeté entre le pro- et le mésopleuron. Son bord postérieur limite en avant le golfe antérieur. Ces trois faces en se réunissant forment de chaque côté une *saillie triédrique*, dont l'extérieur est garni de muscles. Cette saillie a en outre, par ses rapports avec la tubérosité antérieure, un rôle spécial dans le vol; nous y reviendrons.

Remarquons encore que l'articulation du collier avec le mésonotum est très serrée; l'axe de cette articulation est horizontal transversal, et permet de faire basculer une partie de la saillie en avant et l'autre en arrière, ou inversement, suivant l'action du grand dorsal.

Mésonotum. — C'est la partie la plus considérable du dorsum, soit par son volume, soit par ses fonctions. Comme chez les Névroptères et Orthoptères, il affecte la forme d'un dôme à bosse médiane postérieure, à flancs postérieurs excavés; mais cette bosse dépasse de beaucoup en arrière le niveau d'insertion de l'aile postérieure, qui se trouve ainsi intimement liée à tous les mouvements du mésonotum. Ainsi apparaît chez le Sirex cette *tendance du mésonotum à absorber les fonctions du métanotum*, tendance qui aboutira chez les Porte-aiguillons à une absorption presque complète.

La bosse cordiforme médio-postérieure, le *postdorsum*, est séparée de la partie antérieure du dôme par un sillon transversal qui se bifurque latéralement. 1° La branche antérieure de cette bifurcation aboutit au niveau de la tubérosité antérieure; elle correspond à la branche antérieure de l'X typique, et forme le bord postérieur d'une fente en V, la *fente dorsale*.

2° La branche postérieure forme le bord postérieur de la dépression postdorsale, immédiatement en avant de l'insertion de l'aile postérieure. Cette insertion est plus basse que celle de l'aile antérieure, par rapport à l'axe longitudinal du thorax; il est aussi un peu plus en dehors de cet axe. Nous avons déjà observé la même relation entre les points d'insertion des ailes chez les Demoiselles et les Sauterelles. Je dois dire cependant que si, chez l'*Æschna*, l'aile postérieure est manifestement plus écartée de l'axe longitudinal, cet écartement n'est chez les Orthoptères et Sirex bien évident que pour le versant postérieur de l'aile; chez l'*Acridium* et le Sirex, *la tubérosité antérieure de l'aile postérieure est plus rapprochée de la ligne médiane du dorsum que son homologue de l'aile antérieure*. Ce fait est encore plus frappant chez les Porte-aiguillons.

L'*antédorsum* glisse en avant sous le collier et se termine au-dessous, c'est-à-dire dans la cage, par une palette angulaire simple, analogue de la palette double des Orthoptères. Restons dans la cage : à l'extrémité opposée, nous voyons une palette double, qui semble appartenir au mésonotum et non au métanotum, comme chez les Orthoptères. En avant de cette palette, on voit deux crêtes, correspondant justement aux branches postérieures du sillon bifurqué, décrit plus haut.

Le point de rencontre de cette crête avec la base de la palette est un point assez important. C'est à ce niveau qu'a lieu en arrière la relation du mésonotum avec la tubérosité antérieure de l'aile postérieure, et en avant l'articulation avec le mésopleuron. Cette articulation se fait au moyen d'une lame triangulaire, donnant attache en avant aux ligaments de la nervure postérieure. C'est l'analogue du *dorso-terminal* des Névroptères et des Orthoptères. Cette lame peut tourner légèrement sur ses côtés entre le postdorsum et le postpleuron, intimement unis au niveau de son sommet. Au niveau de cette soudure, le postdorsum présente une apophyse, l'*apophyse pleuro-postdorsale*, située en dehors de la palette.

Partout ailleurs le dorsum et les flancs sont séparés par les pièces de la base de l'aile.

La géométrie des bords latéraux du mésonotum est la même que celle des Libellules et des Orthoptères, c'est-à-dire qu'ils forment une ligne brisée allant de bas en haut, en avant et en dedans, jusqu'au niveau du coude dorsal, puis de haut en bas et en dedans, à partir de ce coude.

Métanotum. — Le métanotum, quatre ou cinq fois moins volumineux que le mésonotum, est réuni assez fermement à celui-ci. Il est très rétréci au milieu, où on remarque une dépression pour loger la pointe cordiforme du mésonotum, dans le maximum d'extension. De chaque côté de la dépression, on remarque deux éminences ovales formées par une membrane tendre de chitine (*granula* de Hartig, *cenchri* de Thomson). On remarque encore en arrière du coude dorsal une fente en V, et plus en arrière une pièce flexible, le *dorso-terminal*, qui donne attache au ligament de la nervure postérieure.

Le postdorsum consiste dans cette crête transversale qui termine en arrière et en dedans les bords postérieurs du métanotum. Il s'attache d'une part au premier segment abdominal, de l'autre au métapleuron.

Il en résulte la formation d'un anneau complet rigide, le *cercle postérieur*, sur lequel le métanotum peut tourner à peu près de la même façon que chez les Orthoptères. Cette rotation est importante, si on veut se rendre compte des mouvements du versant postérieur.

Pleuron. — Il est formé de quatre pièces, deux au mésopleuron, deux au métapleuron.

Le segment antérieur du mésopleuron ou antépleure, de beaucoup le plus volumineux (contrairement aux Orthoptères), est séparé du prothorax par des membranes molles. En se réunissant au-dessous avec son symétrique, il forme le mésosternum. Le segment postérieur ne descend pas si bas ; il s'écarte en bas de l'antépleure et forme ainsi le côté antérieur d'un angle où s'emboîte le sommet externe du cercle des pattes.

Les deux segments du métapleuron forment par leur adossement la crête de l'*entopleuron*. Le sommet de l'*entopleuron* ou l'*alifère* apparaît comme toujours sous la forme d'un cap, entouré de deux golfes. L'aile s'attache au cap, et roule dans les golfes.

La face antérieure de l'alifère donne insertion et sert d'axe en même temps à une pièce triangulaire, pouvant se fléchir de dehors en dedans. C'est l'osselet de pronation ou *subantérieur*, analogue aux pièces mobiles de pronation des Orthoptères.

Le postpleuron limite le golfe postérieur et s'unit solidement au postdorsum.

Le *métapleuron* est plus petit, mais semblable au mésopleuron. Son segment postérieur forme avec le premier anneau abdominal le cercle postérieur.

En somme, *la charpente de l'ovoïde thoracique est soutenue par deux cercles verticaux transversaux*, le cercle mésothoracique et le cercle métathoracique.

Sternum. — Le plancher mésosternal est divisé par une cloison longitudinale verticale, portant deux apophyses : c'est l'entosternum. Il est formé par l'adossement des antépleures. Les apophyses ont une forme triangulaire, leurs angles antérieurs se soudent et ont un prolongement commun. De la base de l'entosternum, part une tige qui vient se placer entre les cornes antérieures des apophyses métasternales. Chacune de celles-ci présente une corne antérieure et une corne postérieure.

Des ligaments réunissent ces cornes aux entopleuron. Leur tête est moins massive que celle des apophyses mésosternales, où l'on peut distinguer une corne postéro-externe, et une corne antéro-interne.

Le mésosternum renferme une autre crête allant transversalement de l'entosternum à l'entopleuron. Le cercle supérieur de la hanche tourne sur le dehors sur le bord post-inférieur du postpleuron, en dedans autour d'un point situé à la base de l'entosternum. Le deuxième cercle coxal a une struc-

ture semblable; seulement son axe de rotation est oblique sur celui du premier, avec lequel il fait un angle ouvert en dehors.

Le métasternum présente aussi une autre crête transversale.

Grâce à l'entosternum et aux crêtes transversales, on peut distinguer soit une partie droite et une partie gauche, soit une partie antérieure et une postérieure (antéster-num, postster-num).

L'abdomen tourne sur le métasternum par l'intermédiaire de membranes molles. C'est le seul endroit où l'abdomen a un peu de jeu; car dans le haut, nous avons vu que sa suspension était très serrée.

Base de l'aile antérieure. — C'est, pour toute espèce d'ailes, la partie la plus importante et la plus épineuse.

L'aile repose, comme nous l'avons vu, sur l'alifère et roule de haut en bas, de dehors en dedans, d'arrière en avant pendant l'abaissement, et inversement dans le relèvement. Il y a pour faciliter ces déplacements deux espaces pleuro-dorsaux: le golfe antérieur et le golfe postérieur.

Le *golfe antérieur* est formé par une membrane molle renforcée par trois écailles, dont l'une, l'écailllette, a déjà été décrite. Les deux golfes sont séparés par le détroit situé entre le coude dorsal et l'alifère, détroit qui est rempli par une série d'osselets. Pour en avoir une idée nette, il ne suffit pas de les dessiner sur place; il est bon de les disséquer un à un. Ce genre de microtomie demande de ces tours de main spéciaux, impossibles à décrire, que chacun doit se créer suivant les cas.

Le premier osselet qu'on remarque entre la base de l'aile et le dorsum est un osselet en forme d'S, le *sigmoïde*. La partie antérieure, grêle, recourbée en dehors, est articulée au

(1) Le sommet de l'entopleuron est désigné par Chabrier sous le nom d'*appui*, par Strauss sous celui d'apophyse alifère. Cette dernière dénomination serait préférable, comme étant latine, et par suite cosmopolite.

bord postérieur de la tubérosité antérieure, au niveau de la terminaison de la nervure médiane. Elle est encore du même côté, mais plus en arrière, articulée avec l'intermédiaire. La partie postérieure, beaucoup plus grosse, massive, s'attache au dorsum en regard de la pente dorsale. C'est sur elle que roule le plan postérieur de l'aile. Cet osselet est représenté chez les Orthoptères par la moitié interne de la lame carrée; chez les Névroptères il est distinct.

En dehors et en arrière du sigmoïde se trouve l'*intermédiaire*; il s'articule en avant avec la pointe du sigmoïde, la nervure médiane et le rétro-médian; en dedans avec la partie renflée du sigmoïde; en dehors avec la membrane molle de la *dépression submédiane*; en arrière avec le terminal.

Cet osselet ne figure pas dans le travail de Chabrier; il est vrai qu'il n'est pas distinct chez les Bourdons, et que Chabrier a eu le tort d'appliquer à tous les Hyménoptères ce qu'il n'avait bien observé que chez les Bourdons. Je m'abstiens autant que possible de compliquer la nomenclature en mettant des noms nouveaux; cette fois-ci, cependant, je me suis vu obligé de baptiser un osselet dont je ne vois nulle part la description. Il correspond à la partie supérieure du submédian des Névroptères.

La partie inférieure du *submédian* est représentée par un osselet allongé, qui s'articule sur la face postérieure de l'ali-fère, dans une sorte de gondole. La tête du submédian est plus grosse que la queue; elle forme deux saillies, une externe-inférieure qui pénètre dans la gondole, l'autre interne-supérieure qui s'accôle à l'osselet intermédiaire. L'extrémité postérieure du submédian est en rapport avec le terminal.

En arrière de l'intermédiaire et du submédian se trouve le terminal. Il s'articule en haut et en dehors avec l'arcade des nervures postérieures; en bas et en dedans avec le dorso-terminal et voici comment: il se dirige d'abord en dehors, en bas dans le golfe postérieur; il fait ensuite un coude, et arrive sur le dorso-terminal en haut et en dedans au moyen d'un long ligament.

La courbure antérieure du sigmoïde regarde en haut et en dehors; si donc une force le pousse dans cette direction, elle entraînera le roulement de l'intermédiaire, et par suite du submédian proprement dit sur l'alifère. L'intermédiaire entraînera le terminal; celui-ci agira à son tour sur l'arcade terminale, et portera le versant postérieur de l'aile en avant. Ce dernier mouvement n'est possible que si l'arcade est elle-même tirée en avant, ce qui a lieu par l'osselet subantérieur, la tubérosité antérieure et le rétro-médian.

Le versant postérieur de l'aile ne peut donc se porter en avant que par la traction de la base du versant antérieur, et la poussée du sigmoïde, de même qu'il est tiré automatiquement en arrière par l'élasticité du ligament du terminal, et la réaction de l'appareil de pronation.

Base de l'aile postérieure. — Le golfe antérieur présente aussi trois écailles; elles séparent le mésopleuron du métapleuron. L'écaillette s'attache au bord antéro-interne de la tubérosité antérieure et se fixe dans une encoignure formée par le coude postérieur du mésonotum et le bord antérieur latéral du métanotum. Ce bord antérieur constitue le coude dorsal du métanotum: c'est sur ce coude que s'attache la pointe du sigmoïde, en avant de la fente dorsale.

La pointe du sigmoïde se fléchit sur la partie postérieure renflée du sigmoïde. En effet, la chitine qui forme le sigmoïde est plus molle au niveau de la partie médiane, de sorte qu'on peut distinguer deux parties très légèrement mobiles l'une sur l'autre: même fait chez les Xylocopes.

Le *rétro-médian* n'a plus la même forme dans l'aile postérieure. Ses fonctions sont tenues par deux plans de chitine pouvant se plier l'un sur l'autre. La ligne qui sert de charnière va de la fin de la nervure médiane à l'extrémité externe de l'osselet terminal. Même ligne et mêmes rapports dans l'aile postérieure des Orthoptères.

L'analogie avec les Orthoptères se poursuit dans la structure de la base du versant postérieur. On peut y distinguer: 1° une

partie postérieure, l'analogue de l'arcade terminale; 2° une partie interne, pédiculée sur la postérieure, massive en avant; c'est une apophyse du terminal, l'analogue du tampon; 3° une partie externe servant spécialement au plissement et à la torsion de l'aile (intermédiaire et rétro-médian).

En somme, la base de l'aile est semblable dans les deux segments, et elle est de plus comparable presque pièce à pièce avec celle des Névroptères et Orthoptères. Une différence caractéristique consiste dans la prédominance du mésothorax sur le métathorax. De plus chez les Orthoptères, il y a soudure complète du sigmoïde avec sa propre partie antérieure et avec le submédian. Cette soudure rend le vol plus automatique, dénué d'aisance et de souplesse. Elle explique le vol direct des Orthoptères, la difficulté insurmontable qu'ils éprouvent pour se tourner, pour voltiger, pour modifier la direction primitivement donnée soit par le coup de pattes postérieures, soit par le vent qui les emporte.

MUSCLES DU VOL.

En allant de dedans en dehors on trouve :

Muscle dorsal. — Muscle longitudinal volumineux, allant de la double palette postérieure à la palette triangulaire antérieure.

Il est élévateur et rétracteur du sigmoïde.

Sternalis-dorsaux. — Ce sont des muscles obliques, verticaux, parallèles à l'entopleuron. On peut distinguer deux groupes principaux, un groupe antérieur et un groupe postérieur.

1° Les *faisceaux antérieurs* s'insèrent : en haut sur la partie antérieure du bord latéral du dôme, sur une zone allant de la naissance de la palette antérieure à la marge antérieure de la fente. Nous savons qu'à cette zone s'attachent l'écaïlle supérieure et la pointe du sigmoïde. Ils s'insèrent en bas à la base de l'entosternum.

2° Les *faisceaux postérieurs* s'insèrent en haut sur la partie postérieure du bord latéral du dorsum, en bas, au pied de l'apophyse mésosternale.

Les *sternali-dorsaux* abaissent le bord latéral du mésonotum, et par suite le sigmoïde.

Latéro-dorsal. — En arrière de l'insertion des faisceaux postérieurs, justement dans l'espace qui la sépare du second coude mésonotal, s'insère un muscle court, le latéro-dorsal. Il s'insère en arrière et en bas sur l'apophyse pleuro-post-dorsale. Son action est analogue à celle du latéro-dorsal des Orthoptères.

Axillaires. — Nous avons deux muscles volumineux, le *pré-axillaire* et le *postaxillaire*. Chacun d'eux s'insère à la base de l'aile, au moyen d'une cupule munie de son tendon. La cupule du *préaxillaire* a son tendon fixé entre l'écaille supérieure, l'osselet de pronation et l'écaille moyenne. Cette cupule est très large, et le muscle correspondant très volumineux; sa largeur est, comme celle du premier sternali-dorsal, liée à celle du premier segment mésopleural. Il s'insère en bas, en dehors des fibres du premier sternali-dorsal.

La cupule du *postaxillaire* est plus petite et fixée au coude du ligament postérieur, dans le golfe postérieur. L'insertion inférieure a lieu sur le parapet du premier cercle coxal.

Le *préaxillaire* attire la petite tige proantérieure et l'osselet pronateur en dedans et en bas. La résultante de cette action et du grand dorsal produit un abaissement en avant. Le *pré-axillaire*, combiné au premier sternali-dorsal, porte le plan antérieur de l'aile en haut, en dedans et en avant.

Un troisième muscle les aide dans cette dernière action; c'est le *tenseur de l'écaille*, un petit muscle qui s'insère en haut sur l'écaille, en bas sur l'antépleure.

Le *postaxillaire* attire le ligament postérieur en bas et en arrière; le terminal se porte dans la même direction et le versant postérieur se replie. Le second sternali-dorsal porte ce

repliement plus ou moins en dedans; le grand dorsal en haut et en dehors; mais son action est peu sensible.

Il faut encore citer un muscle du tampon, qui augmente la courbure du creux de l'aisselle.

On voit qu'il est possible de concevoir les actions isolées et combinées de ces divers moteurs. L'anatomie seule ne me permet pas de représenter toutes les combinaisons effectuées par l'Insecte qui vole, mais elle me donne la clef des principales. En voici, par exemple, une série très rationnelle.

1° *Déplissement*. — Au repos, les deux versants de l'aile sont repliés l'un sur l'autre et rapprochés des flancs. L'Insecte qui va voler commence par ouvrir les ailes : ce mouvement peut être exécuté par le préaxillaire, le tenseur de l'écaille et les sternali-dorsaux. Le versant postérieur se porte en haut en avant, le versant postérieur se déplisse. Voilà une première pose de mise au point. Le sigmoïde sert de pivot médian dans ce premier mouvement.

2° *Abaissement*. — Contractons maintenant le grand dorsal et les axillaires seulement : avec le tenseur de l'écaille, le versant antérieur se porte en avant et en dedans. Le dorsal et le préaxillaire produisent le même résultat dans ces deux sens. Le bord antérieur de l'aile se porte en avant et en bas; sa torsion longitudinale est possible grâce à la commissure articulaire et à l'articulation en flexion de la tubérosité antérieure (l'analogue de l'articulation radio-antérieure des Pseudo-Névroptères).

La nervure médiane suit l'antérieure et entraîne en avant avec elle toutes les nervures postérieures. Si le postaxillaire n'agissait pas, le plan postérieur se développerait imparfaitement, tandis que sous l'action combinée de ce muscle et du dorsal, le ligament postérieur et le terminal sont bridés en arrière et en bas. Les surfaces flexibles déplissables qui forment la base postérieure de l'aile étant sollicitées en arrière par cette force rétractive et en avant par la nervure médiane,

n'ont qu'une ressource, c'est de se tendre. De cette façon, le versant postérieur peut se développer complètement, mais, une fois tendu, il subit la résultante de ces deux forces et s'abaisse en bas et en avant.

La concavité du creux axillaire est maintenue et augmentée par une troisième force, par le muscle du tampon, qui va de la partie antérieure du terminal à la face postérieure de l'ali-fère. Ainsi, plus l'aile se porte en bas et en avant, et plus ce muscle se contractant, le plan postérieur se porte en avant. La base de l'aile acquiert ainsi plus de solidité, pour résister à la torsion de l'extrémité centrifuge.

Je puis supposer que les muscles agissent avec leur maximum d'intensité; ils déterminent alors le maximum d'abaissement, avec le maximum d'expansion du creux axillaire. Les deux plans de mon dièdre roulent alors sur le maximum de segment courbe qu'ils peuvent décrire. Mais il y a d'autres combinaisons possibles; toutes choses égales d'ailleurs, un des moteurs peut diminuer de force. Il en résulte alors une modification dans la courbure et la surface métrique du segment.

3° *Relèvement.* — Le dorsal cessant d'agir, les sternali-dorsaux entrent en jeu et relèvent l'aile. Les axillaires antérieurs continuent d'agir pour empêcher l'aile de se plisser. L'aile se porterait en arrière toute seule sans le secours d'aucun muscle, par l'action seule des pièces élastiques. Seulement elle se plisserait, si les axillaires antérieurs n'étaient là pour s'y opposer. Il doit y avoir aussi dans le relèvement plusieurs combinaisons de muscles destinées à rendre le trajet de l'extrémité de l'aile plus ou moins longitudinal ou vertical.

C'est à la physiologie à voir quelles sont ces combinaisons et la nature du trajet. La résistance de l'air doit jouer un grand rôle dans les variations de la trajectoire décrite par l'extrémité de l'aile (figures en 8 de chiffre de Marey, Petitgrew; sinussoïdes bouclées, etc.). La boucle elle-même peut se concevoir comme le fait de la colonne d'air entraînée, soit en descendant par la convexité, soit en remontant par la

concavité. Dans l'un et l'autre cas, l'extrémité de l'aile subit une déviation qui se traduit par des points d'inflexion dans la trajectoire.

Muscles du vol de l'aile postérieure. — A l'exception du dorsal, nous retrouvons tous les muscles de l'aile. Il faut citer cependant une paire de muscles dorsaux allant de la palette à la voûte du métanotum. Leur position latérale les rapproche des latéro-dorsaux.

Les muscles dominants sont les sternali-dorsaux et les axillaires postérieurs. L'entraînement en avant est presque passif, grâce au niveau de l'insertion alaire vis-à-vis du postdorsum du mésothorax, grâce aussi à la gouttière qui relie les deux ailes.

II. — ORGANES DU VOL CHEZ LE XYLOCOPE VIOLACEA.

(Pl. VIII).

J'ai choisi ce type parce qu'il est très commun et très volumineux. Jurine avait aussi étudié le Xylocope, pendant que Chabrier étudiait le Bourdon. Les différences sont peu considérables; les travaux ont été faits à peu près à la même époque (1). Celui de Chabrier est plus complet, et sa nomenclature toute différente; il emprunte, lui aussi, des noms à l'anatomie des Vertébrés, mais moins que Jurine. Les dissections de Chabrier sont fort remarquables; car les Porte-aiguillons offrent de sérieuses difficultés d'observation par leur corps sombre, velu, à pièces basilaires compliquées, et néanmoins la plupart de ces difficultés ont été heureusement vaincues par l'anatomiste français. Je lui reprocherai seulement de n'avoir pas tenté un rapprochement plus serré avec les autres ordres, et surtout de n'avoir pas séparé les Térébrants des Porte-aiguillons.

(1) Jurine, *Observation sur les ailes des Hyménoptères* (Mém. Ac. sc. Turin, t. XXIV, 1820).

(2) Chabrier, *Essai sur le vol des Insectes*, t. VI, 1820 (Mémoires du Muséum. Paris).

Anatomie des ailes. — La forme générale des ailes rappelle le type du Sirex; mais il y a dans la structure des nervures et des pièces basilaires des différences essentielles, qui ne me paraissent pas encore avoir été signalées.

Les nervures antérieures se réduisent à une seule, accolée à la nervure médiane : la concentration du versant antérieur est plus forte que chez les Sirex. La nervure médiane est un peu à la nervure antérieure ce que la nervure antérieure des Libellules est à la nervure proantérieure.

La nervure secondaire qui suit la nervure postérieure existe encore, mais fondue à la base avec celle-ci. Dans la partie centrifuge, elle s'en écarte et forme une gouttière de glissement, non dentée. Le voile, qui chez les Sirex s'attache à la nervure secondaire, est remplacé ici sur l'aile antérieure par une membrane assez dure qui ne se prolonge pas sur la base de l'aile. Cette pénurie n'entraîne nullement la discontinuité du gouffre axillaire; car l'aile postérieure est beaucoup plus rapprochée de l'antérieure que chez les Sirex, et le vide interalaire est insignifiant. Le voile existe dans l'aile postérieure.

La base de l'aile est massive, formée de deux parties, l'antérieure correspondant au versant antérieur de l'aile, la postérieure, au versant postérieur. On remarque dans cette base :

1° En avant, un bord antérieur, dont l'extrémité externe limite, en haut, la course de la nervure antérieure; c'est une sorte de cran d'arrêt;

2° Au-dessous, une arête, le seul représentant de la nervure subantérieure; cette arête est effilée à son union avec la marge antérieure de l'aile, de manière à pouvoir se plier sous elle; c'est une articulation à flexion;

3° La terminaison de la nervure médiane est effilée et enclavée entre les deux tubérosités de la base de l'aile.

Ces trois premières parties sont soudées ensemble et correspondent à la tubérosité antérieure du Sirex. Seulement, la première était mobile chez le Sirex (tige proantérieure). Le versant antérieur de l'aile peut tourner sur cette tubérosité légèrement, suivant l'axe de la terminaison de la nervure

médiane qui forme un coude avec flexion au niveau de son entrée sur la tubérosité.

Ainsi, voilà un fait constant : le bord antérieur de l'aile, qu'il soit formé par une concrétion des deux premières nervures (*Æschna*) ou des quatre premières (*Xylocope*), présente à sa base un renflement, sur lequel il s'articule par une double articulation en haut et en bas. Cette articulation permet à l'aile de fléchir dans le coup ascendant, mais résiste vigoureusement dans le coup descendant. Une forte pression de bas en haut amène, chez le *Xylocope*, une rotation longitudinale qui est limitée en avant et en haut par le cran d'arrêt antérieur.

4° La tubérosité antérieure se continue en arrière par une lame très bombée, qui se réunit au terminal au moyen d'un petit prolongement. C'est le système du rétro-médian. Le petit prolongement est difficile à apercevoir, car la dépression sub-médiane est encaissée et fort étroite.

La partie postérieure de la base de l'aile sera décrite à propos des osselets basilaires.

ANATOMIE DU SQUELETTE THORACIQUE.

La forme générale du thorax est sphéroïdale et non plus ovoïde comme chez les *Locustides* et les *Sirex*.

Pronotum. — Cette pièce forme un anneau complet à l'entrée du mésothorax; de là aussi son nom de *collier*. Sa surface est convexe, sans solution de courbure avec le dorsum en haut. Sa moitié inférieure est très étroite; la partie externe du collier est la plus large, je veux parler de celle qui est enclavée entre le dorsum et le mésopleuron, dont les bords sont à ce niveau taillés en biseau et glissent sur la face interne du collier. Il en résulte entre les mouvements du dorsum et du mésopleuron une solidarité moins étroite que si leurs bords affrontaient ceux du collier. Le bord du mésopleuron se fixe au moyen d'un fort ligament blanc, d'une consistance chondroïde; ce ligament pénètre dans une excavation aplatie du

collier; les bords du dorsum forment un angle aigu dont les côtés sont enclavés dans une dépression au fond de laquelle est soudé son sommet. Ce genre d'articulation rend le collier beaucoup plus esclave du dorsum que du mésopleuron. Le restant du prothorax est uni lâchement au collier, comme chez les Sirex et les Orthoptères.

Mésonotum. — On y distingue deux segments régulièrement convexes supérieurement, faciles à séparer au scalpel. Ils correspondent au dorsum et au postdorsum du Sirex, mais avec des modifications profondes. La palette intrathoracique du postdorsum, celle qui reçoit les fibres du dorsal, s'est complètement séparée de la partie supérieure et externe du postdorsum. C'est cette pièce que Chabrier nomme costal; Audouin, *postscutellum*, et que pour être fidèle à notre nomenclature du début, nous nommerons simplement subpostdorsum ou plus simplement encore la *palette du postdorsum*.

Le *dorsum* forme avec le collier plus de la moitié de l'hémisphère supérieur; sa surface ne présente rien de particulier, si ce n'est un léger sillon médian longitudinal, comme chez les Bourdons, entouré de deux sillons plus courts et moins marqués. La partie antérieure du dorsum forme un léger rebord interne, l'*antédorsum*. Les bords externes offrent plus d'intérêt par leurs rapports avec l'aile et le pleuron. Il est séparé en avant du mésopleuron par le coin postérieur du collier; mais en arrière les bords dorsaux et pariétaux sont juxtaposés jusqu'au niveau de l'insertion de l'osselet de pronation. Ce bord dorsal est retroussé en dessus et forme une sorte de gouttière; c'est sur cette portion du bord dorsal que s'insère l'écaïlle. Plus loin, en arrière, sont deux saillies adjacentes, entre lesquelles passe le bord antérieur du sigmoïde; ces deux saillies forment la *coulisse sigmoïdale*, l'analogue de la fente dorsale des autres types d'Insectes.

Le *postdorsum*, deux fois et demie moins large que le dorsum, a la forme d'un fuseau sphérique; il est par suite plus large au milieu qu'aux extrémités. Les bords antérieur et

postérieur sont longuement repliés en dessous, l'antérieur en arrière, le postérieur en avant. *Cette disposition augmente la force d'élasticité dans le sens transversal.* La surface si régulièrement convexe dans toute son étendue, se montre vers les extrémités beaucoup plus accidentée. Une arête médiane transversale la sépare en deux dépressions : une antérieure, se fondant avec l'analogue de la *dépression postdorsale* du Sirex ; l'autre postérieure, en regard de l'aile postérieure.

Les bords de cette dernière dépression pénètrent dans l'intérieur de la cage ; ils sont soudés à la palette du postdorsum. Si l'on détache le terminal et le sigmoïde de leurs attaches alaires, et qu'après avoir enlevé le collier et le dorsum, on cherche à désarticuler le postdorsum par pesées successives, lentes et légères, on finit par le détacher, et on entraîne du même coup le vectiforme, l'équerre, le terminal et le sigmoïde. Ces osselets sont réunis au postdorsum par des ligaments mous.

Le *subpostdorsum* (1) ou *palette du postdorsum* est une pièce tout à fait interne, fusiforme, formée d'une partie médiane élargie, à concavité antérieure, et d'une partie externe allongée et forte. L'ensemble a l'air d'une spatule dont la palette serait médiane et isolée, et dont le manche serait soudé tout le long du postérieur de l'extrémité externe du postdorsum.

Métanotum. — C'est ce que Chabrier appelle la demi-ceinture. C'est une pièce très étroite au milieu, plus large aux extrémités. Ses bords antérieur et postérieur sont repliés, l'antérieur en arrière, le postérieur en avant. Ils forment ainsi une gouttière, une sorte de canal, à bords très rapprochés ; mais aux extrémités les bords s'écartent, par suite de l'élargissement du métanotum à ce niveau. Chaque extrémité est destinée à faire basculer l'aile postérieure. Elle porte à cet effet une saillie en avant de laquelle s'insère le sigmoïde, en

(1) Nous écrivons aussi *podorsum* et *subpodorsum* ; c'est plus court et plus euphonique.

arrière, le terminal. Le métanotum s'appuie en arrière sur le métapleuron, qui complète en arrière l'hémisphère dorsal de la cage alaire et le raccorde avec l'hémisphère inférieur.

Mésopleurosternum. — Ce nom indique que, de même que chez le *Sirex*, une seule pièce constitue le mésopleuron et le mésosternum. Ces deux pièces sont intimement soudées, mais néanmoins séparables.

Le *mésopleuron* a sa surface externe peu accidentée. On y remarque seulement dans la partie supérieure un court sillon qui se dirige vers le bord postérieur du mésopleuron, mais s'arrête bientôt sans l'atteindre; à ce sillon externe correspond en dedans une crête : c'est là ce qui nous reste de l'entopleuron. Suivons ce sillon dans le haut; il nous conduira à un appui des ailes encore plus singulier et différant notablement de ceux que nous avons vus jusqu'ici. La configuration générale est évidemment la même : un cap, l'alifère, entouré de ses deux golfes; mais les surfaces articulaires sont mieux détachées, plus nettes, se rapprochant davantage des condylarthroses des Vertébrés.

Ce rapprochement entre des embranchements si éloignés est manifeste et compréhensible, dans le cas des mouvements exécutés par des pièces dures, à base soit de chitine, soit d'osséine. Les téguments des Porte-aiguillons sont très durs. On peut faire la même remarque à propos de la méso-alifère des Coléoptères.

L'*alifère* est une petite pièce massive, épaisse. On peut y distinguer un bord antérieur, un bord supérieur et un bord postérieur.

Le bord antérieur ou bord supérieur de l'antépleuron présente cette lame chondroïde qui sert à l'agencer au collier.

Le bord supérieur est creusé d'une gondole pour recevoir l'osselet de pronation.

Le bord postérieur présente une sorte de throclée oblique, formée d'une rigole supérieure interne pour le submédian, et d'une rigole inférieure externe pour le roulement du ter-

minal. La rigole supérieure aboutit à une fosse où s'insère le ligament du submédian. L'axe de cette rigole est oblique de haut en bas, en arrière, en dedans, pendant que celui de la gondole supérieure est presque horizontal et dirigé de haut en bas, en avant, en dehors.

Conclusion : *la surface articulaire du bord supérieur du mésopleuron, sur laquelle pivote l'aile, n'est ni cylindrique ni sphérique.*

La direction générale du roulement a lieu autour des deux axes cités plus haut.

Le bord antérieur de l'antépleuron forme une saillie qui se prolonge jusqu'à la tête de l'alifère. Celle-ci est elle-même saillante sur la surface interne du mésopleuron, comme elle se continue en arrière par la crête rudimentaire déjà mentionnée ; il en résulte que le haut du mésopleuron a des bords solidement fortifiés. La crête rudimentaire de l'entopleuron part de la rigole du submédian ; le bord postérieur du mésopleuron, très saillant lui aussi, part de la rigole du terminal. La gouttière profonde et étroite qui sépare ce bord postérieur et l'entopleuron est tout ce qui nous reste du *postpleuron*, si développé chez les Sauterelles, mais déjà en décadence chez les Sirex. C'est la *gouttière postpleurale*.

Le *mésosternum* ne présente rien de notable sur sa surface externe ; il est limité en avant par la portion étroite, inférieure du collier. Son bord postérieur forme le bord antérieur du cercle pédieux. Il se termine sur une pointe médiane comme chez le Sirex. Cette pointe sépare le cercle pédieux gauche du droit. Elle a l'air d'appartenir au mésosternum, mais en réalité elle constitue le bord médian antérieur du métasternum. Dans la cage, on voit s'élever tout le long de la ligne médiane jusqu'à cette pointe, une crête élevée, formée par l'adossement des deux côtés du mésosternum ; cette crête, l'*entosternum*, se termine en arrière par deux longues cornes, qui montent vers les flancs du pleuron.

Métapleurosternum. — Cette pièce est formée de deux par-

ties intimement soudées, le métapleuron proprement dit et le métasternum. La ligne de soudure est visible sur la surface externe. Le métapleuron a lui-même une ligne de soudure très visible avec le mésopleuron. Il n'en est pas de même entre le méta- et le mésosternum, dont la ligne de démarcation est moins facile à reconnaître; on peut cependant la délimiter. En somme, malgré la soudure intime des pièces pleurales et sternales, on peut les délimiter et les comparer aux pièces plus mollement réunies d'autres Insectes.

Le *métapleuron* présente à étudier des bords antérieur, postérieur, inférieur, supérieur, une surface externe et une surface interne.

Le bord antérieur est légèrement concave en arrière; il est adossé au bord postérieur du mésopleuron, et contribue à former la crête postérieure de la gouttière postpleurale.

Le bord supérieur sert d'appui à l'aile inférieure et au métanotum. Il débute en avant par une surface articulaire, en continuité de direction avec la rigole terminale du mésopleuron. Elle est bordée en dehors par une *écaille mobile*; cette écaille est tout ce qui nous reste du golfe antérieur d'évolution.

Les ailes, déjà si rapprochées chez les Sirex, atteignent ici leur maximum de rapprochement; l'aile postérieure s'insère immédiatement à la suite du golfe postérieur de l'aile antérieure. Ce détail me fournit une arme précieuse contre ceux qui, considérant une aile isolée de Frelon, par exemple, seraient tentés de me la présenter comme un échantillon d'aile nue à la base, et de conclure que par suite l'élargissement diédrique de la base n'est pas un facteur constant.

Mais, si le golfe antérieur de l'aile postérieure n'a pas grande raison d'exister, il n'en est pas de même pour le golfe postérieur. Immédiatement après la surface articulaire citée plus haut, le bord supérieur du métapleuron plonge en bas, d'abord en avant, puis en arrière, et finalement remonte sans s'éloigner beaucoup de l'horizontale. Le bord supérieur continue sa course en arrière, intimement accolé au bord postérieur du métanotum.

Le bord inférieur du métapleuron longe les bords externes des cercles pédieux; un très léger sillon le sépare du métasternum, qui du reste, sur tout ce parcours, est très étroit et apparaît comme une simple dépendance marginale du métapleuron.

Le bord postérieur du métapleuron est intimement soudé avec son symétrique; on voit néanmoins très distinctement le sillon de séparation.

La région postérieure du métapleuron est généralement désignée sous le nom de *scutellum* (1); c'est, croyons-nous, une fausse désignation. Le scutellum ou postdorsum des Névroptères est une pièce dont le plus ou moins de développement est sous la dépendance de celui des muscles dorsaux (c'est le muscle qui fait l'os); elle est très développée chez les Névroptères, les Orthoptères, très réduite au métanotum des Térébrants, inappréciable chez les Porte-aiguillons. Le métanotum des Hyménoptères et surtout des Porte-aiguillons est à peu près privé de muscles dorsaux: le métanotum se réduit à une seule pièce, et les métapleuron se sont rejoints sur la ligne médiane.

Il ne faut pas s'étonner outre mesure de ce fait: nous avons bien vu les mésopleuron de l'*Æschna* se rejoindre en avant sur la ligne médiane (2).

La surface externe du métapleuron présente un sillon vertical de l'entopleuron beaucoup plus complet que celui du mésopleuron. Il part du bord postérieur du deuxième cercle pédieux et arrive jusqu'au bord supérieur, au pied de la saillie formée par l'articulation pleuro-alaire (saillie alifère), vers le milieu de ce pied. Un peu en arrière du sillon, se trouve le faux stigmat.

(1) Sic Westwoods, *Introduction to entomology*, vol. II, p. 75.

Mac Leay, *Zoological Journal*, vol. V, p. 172.

(2) Nous devons tenir compte néanmoins d'une troisième opinion d'abord émise par Audouin et Latreille, et d'après laquelle le prétendu scutellum serait une différenciation du premier anneau abdominal. M. Hammond ferait valoir à l'appui de cette opinion des considérations tirées du développement des larves. Voy. Hammond, *Thorax of the Blow-Fly* (*Linn. Journ. Zoology*, vol. XV, p. 17).

La surface interne du métapleuron est divisée en deux compartiments par la crête de l'entopleuron. Cette crête monte d'avant en arrière; elle forme dans le haut un large rebord au-dessus du faux stigmate.

Le *métasternum* forme un anneau complet très étroit : les bords internes de cet anneau forment trois saillies, une antérieure médiane, et deux postérieures latérales. Il en résulte donc trois golfes : deux golfes antérieurs, où se meut la troisième paire de hanches, mais en arrière la liaison des bords est plus serrée tout le long du golfe postérieur. Cette liaison présente sur la ligne médiane une forme toute spéciale; les bords en regard sont repliés en dessus et fortement échancrés; l'échancrure de l'anneau abdominal est moins grande que celle du métasternum. L'une est soudée à l'autre par les bords en regard; une membrane ligamenteuse s'étend d'une échancrure à l'autre, formant ainsi une gouttière renversée, presque un canal.

La face intrathoracique du plancher sternal présente : 1° de chaque côté, une crête transversale qui s'appuie sur le plancher des bords des golfes antérieurs et monte sur les flancs du métapleuron; 2° une crête longitudinale courte faisant suite à son homologue du mésosternum, et allant mourir à la saillie médiane dont nous avons parlé plus haut. Elle présente dans le haut deux cornes réunies entre elles par un pont chitineux, et réunies aussi aux cornes du mésosternum. Ce pont forme, par sa soudure aux extrémités confondues de ces cornes, une longue apophyse qui chemine en regard et au-dessus de la crête transversale, et arrive ainsi au niveau du rebord supra-stigmatique.

La corne mésosternale se sépare cependant de la métasternale; elle s'attache par un fort ligament à la gouttière post-dorsale.

Cette bifurcation nous permet de comparer les entosternum du *Sirex* et du *Xilocope*, malgré leur extrême différence de facies. Chez les deux espèces, le mésosternum porte une apophyse médiane (entopleuron) et celle-ci est munie de chaque

côté d'une corne latérale destinée à soutenir le mésopleuron; chaque corne est, dans ce but, réunie au mésopleuron au moyen d'un ligament; même fait au métasternum.

Seulement chez le Xylocope, *par suite de la concentration générale du thorax, les deux paires de cornes entosternales se sont portées l'une sur l'autre*. Elles ont pris en outre une forme très différente; de là, au premier abord, une grande difficulté pour les comparer l'une à l'autre.

Base de l'aile antérieure. — Cette base est plus compliquée que celle du Sirex. Nous y retrouvons les osselets de celui-ci, mais avec de profondes modifications et de nouvelles pièces. Ce sont : osselet de pronation, submédiane, sigmoïde, équerre, terminal, et le vectiforme.

Il y a encore le rétro-médian, situé en arrière de la tubérosité antérieure, et que nous avons décrit à propos de celle-ci (1).

L'*osselet de pronation* ou *subantérieur* (petit radial Jur., claviculaire Chab.) est arciforme; il chevauche par sa concavité sur la face antérieure de l'alifère, dans la gondole citée plus haut. Cette gondole comprend en avant et en dedans une cavité, en arrière et en dehors une crête. Le subantérieur de son côté présente en avant une tête pour rouler dans la cavité, en arrière un sillon pour glisser sur la crête. Le bras externe de cet osselet montre une échancrure reliée par des ligaments à la partie antérieure de la tubérosité antérieure; le bras interne donne insertion à un double muscle. Lorsque ce muscle se contracte, le bras interne s'abaisse en arrière; l'externe s'élève et la tubérosité antérieure aussi, mais en avant. Le subantérieur est séparé en arrière du sigmoïde par des membranes molles donnant attache au ligament de l'écaille.

Le *submédian* (petit huméral Jur., omoplate Chab.) est

(1) Chabrier est muet sur le rétro-médian et sur les divisions de l'humérus (tubérosité antérieure); aussi n'a-t-il pas observé les phénomènes de torsion du bord antérieur de l'aile.

un osselet triangulaire, infléchi. Il s'attache par l'un des sommets à une cavité située sur la face postérieure de l'alifère. Son bord inférieur glisse sur l'arête de séparation des deux rigoles; son bord supérieur est logé dans la concavité de la branche antérieure du sigmoïde. Les mouvements du submédian et du subantérieur sont inverses : lorsque l'un se porte en dehors, l'autre se porte en dedans et diversement.

Le *sigmoïde* (grand huméral Jur., sigmoïde Chab.) est un osselet très allongé en forme d'S. La branche inférieure s'articule sur le bord interne de la tubérosité antérieure, en arrière du subantérieur, sur le prolongement basilaire de la nervure médiane. La branche postérieure passe entre les deux saillies du bord latéral du dorsum, dans la coulisse sigmoïdale. Après s'être appuyé sur cette vallée par sa concavité, elle se prolonge par une longue queue; celle-ci présente d'abord un tubercule qui est fixé au moyen de ligaments au-dessous des deux saillies, entre ces saillies et l'extrémité du postdorsum; elle se termine enfin sur le subpostdorsum par l'intermédiaire des appendices costaux.

La queue du sigmoïde est située dans l'intérieur de la cage. Le passage du sigmoïde à travers les saillies du dorsum (dans la coulisse sigmoïdale), et l'extrémité du postdorsum assure à son axe vertical une certaine fixité de direction, lorsque les mouvements de l'aile se bornent au plissement et au déplissement. Cette disposition n'existe pas chez le Sirex, où le sigmoïde est simplement soudé au dorsum, en charnière linéaire, compliquée, il est vrai, de la fente dorsale.

Le *terminal* (petit cubital Jur., osselet terminal ou onguilaire Chab.) est un osselet allongé, renflé à ses deux extrémités. Il s'articule en dehors avec la base de la nervure postérieure et en dedans avec les appendices costaux et l'équerre.

Un ligament allongé accompagne le terminal sur tout son parcours et le dépasse de manière à lui servir de prolongement; ce procédé n'est pas nouveau pour nous (Névroptères Pseudo-Névroptères).

L'*équerre* (naviculaire Jur., équerre Chab.) est un des plus

petits osselets de la base de l'aile ; il mérite assez bien son nom, sa surface étant courbée presque à angle droit. Il sert, avec le submédian, d'intermédiaire entre le sigmoïde et le terminal, et plus spécialement, il fait rouler la queue du terminal sur celle du sigmoïde dans le plissement et le déplissement. Cet osselet est peu visible, de quelque côté qu'on le regarde, soit de dedans, soit de dehors. On peut le voir cependant de dehors, dans le maximum d'extension de l'aile.

Chabrier prétend que cet osselet se retrouve chez les Lépidoptères et les Diptères. Il oublie malheureusement d'en reparler à propos de ces deux ordres, si bien qu'il nous est impossible de critiquer le rapprochement annoncé. Dernièrement M. Künckel d'Herculais (1) donne, chez les Diptères, le nom de naviculaire à une pièce qui, pour nous, est le dorso-terminal, et n'a rien de commun avec le naviculaire de Jurine ou équerre de Chabrier. Nous en reparlerons à propos des Diptères.

Les *appendices costaux* sont au nombre de deux : l'un antérieur, l'autre postérieur. L'appendice antérieur est placé entre la queue du sigmoïde, l'appendice postérieur et le terminal, au-dessus de l'équerre. L'appendice postérieur, d'une forme plus allongée, est articulé sur l'extrémité du vectiforme, dont il suit tous les mouvements, par rapport à la tête du subpostdorsum.

Le *vectiforme* est un osselet très long par rapport aux dimensions des appendices. Il est accolé au subpostdorsum par son extrémité externe seulement ; il va en s'effilant graduellement vers son extrémité interne. Lorsque celle-ci descend sous l'action d'un muscle spécial, l'appendice postérieur monte, pousse l'appendice antérieur et transmet ainsi son mouvement à la queue du sigmoïde. Le sigmoïde bascule sur son tubercule, et finalement fait basculer la tubérosité antérieure par l'alifère. L'aile se porte en arrière et en haut. Lorsque l'aile se porte en sens contraire, c'est-à-dire en avant et en bas, le

(1) Künckel d'Herculais, *Organisation et développement des Volucelles*, 1^{re} partie, p. 110. Paris, 1875.

vectifforme est entraîné en haut et dehors par l'intermédiaire des appendices costaux. Mais il est probable qu'à ce moment, le muscle du vectifforme se contracte pour maintenir la concavité du gouffre axillaire. Pareil rôle était dévolu chez le Sirex au faisceau postérieur du sternali-dorsal et au postaxillaire; seulement la fente dorsale et le dorso-terminal sont les seules pièces de ce rouage si compliqué chez les Xilocopes. Les Sirex sont privés d'appendices costaux et d'équerre; une seule pièce paraît, par ses relations, se rapprocher du vectifforme; c'est le dorso-terminal. Le dorso-terminal des Diptères est plus semblable encore.

Base de l'aile postérieure. — Chabrier ne dit presque rien sur la base de l'aile postérieure. « Il y a, dit-il, quatre ou cinq osselets », et c'est tout. J'ai omis cette question dans mon premier mémoire; je n'étais nullement convaincu que la base de l'aile postérieure était une simple répétition de la base de l'aile antérieure.

Je puis dire actuellement que la base de l'aile postérieure se compose de cinq osselets : subantérieur, sigmoïde, submédian, terminal et un appendice du terminal, donnant attache à des muscles analogues au muscle du tampon et au postaxillaire de l'aile antérieure.

L'extrémité externe du métanotum présente, en avant, un prolongement flexible qui s'intercale entre le subantérieur et le sigmoïde, et en arrière, une pointe plus rigide sur laquelle s'articule le sigmoïde. C'est au niveau de cette pointe qu'aboutit le sternali-dorsal du métathorax. Cette pointe est le coude dorsal qui sépare le golfe antérieur du golfe postérieur. Elle est un peu en arrière de l'alifère.

L'échancrure latérale du métanotum correspond à la fente dorsale du Sirex. Nous n'avons pas ici de différences aussi grandes qu'au métathorax, où les appendices costaux, équerre, rectifforme, constituent un appareil tout à fait spécial aux Porte-aiguillons.

MUSCLES DES AILES.

Nous avons vu que les ailes étaient très rapprochées, encore plus solidaires dans leurs mouvements que celles du *Sirex* ; que corrélativement, il y avait condensation, tendance à la fusion des pièces méso- et métathoraciques. Rien d'étonnant par conséquent à ce que nous trouvions les mêmes caractères dans la musculature. Les deux muscles les plus volumineux leur sont communs : le dorsal et le sternali-dorsal.

Le *dorsal* s'insère : 1° en arrière, sur la face antérieure de la partie centrale élargie du subpostdorsum ; 2° en avant sur les trois quarts de la voûte du dorsum, à partir du rebord antédorsal, jusqu'au postdorsum exclusivement, il forme une ligne dirigée d'avant en arrière et en dehors. Sa contraction augmente la voussure du dorsum, élève les bords du dorsum, et par suite, abaisse les ailes.

A la suite du dorsal, je placerai un muscle encore non signalé, qui s'insère en arrière vers l'extrémité du métanotum, au quart externe de cette extrémité, par un court et solide tendon ; il s'élargit en avant en patte d'oie, et s'insère dans la cavité du postdorsum, sur le bord antérieur de cette cavité. Il se dirige d'arrière en avant et en dedans. Est-ce là un muscle spécial aux Hyménoptères ou bien un souvenir du latéro-dorsal, si développé dans d'autres ordres (Orthoptères) ?

Sternali-dorsal. — Muscle en tronc de cône fixé par son sommet, sur le plancher mésosternal, et par sa base sur la zone latérale du dorsum. Son axe monte en avant et en dehors.

Sternali-postdorsal. — Petit muscle allant du sternum à l'extrémité externe du postdorsum. Il est situé dans la gouttière du postpleuron.

Il est, ainsi que le précédent, abaisseur des bords latéraux du mésonotum.

Muscles axillaires. — Ils peuvent se diviser en axillaires antérieurs et axillaires postérieurs, les uns se rendant au golfe antérieur, les autres au golfe postérieur.

1. *Préaxillaires.* — Un double muscle répond à ce nom : le premier va de l'antépleuron aux bords internes du subantérieur ; le second s'insère aussi sur le subantérieur, mais plus en arrière, son tendon n'est pas si résistant que celui du précédent ; en bas, il s'insère en avant et en dessus du premier.

2. *Postaxillaire.* — Ce muscle va du bord externe de la hanche à l'appendice antérieur du subpostdorsum. Il peut être comparé au postaxillaire du *Sirex*.

3. *Muscles du tampon.* — Je devrais dire de l'équerre et du terminal, car ils s'insèrent à l'union de l'équerre et du terminal. Mais leur position et leur direction ne me laissent aucun doute sur leur analogie, peut-être même homologie avec les muscles du tampon d'autres Insectes.

Jusqu'à présent nous avons vu un seul muscle s'insérant à l'apophyse antéro-inférieure du terminal, au tampon. Ici, à peu près à la place du tampon, nous avons un osselet mobile, isolé, l'équerre et une paire de muscles accolés, s'insérant à ce niveau. Nous verrons aussi une paire de muscles chez les Hémiptères et les Diptères.

4. *Muscle du vectiforme.* — Ce muscle va de la base des cornes mésosternales à l'extrémité interne du vectiforme.

La plupart de ces muscles ont leurs analogues dans le métathorax. On y remarque :

1° Un *préaxillaire*, placé tout le long du bord antérieur du métapleuron. Il descend du subantérieur à l'angle externe de la hanche. Son tendon supérieur est très faible, ce qui concorde avec ce fait que le versant antérieur de l'aile postérieure est entraîné presque mécaniquement par l'aile antérieure. Il résulte de l'insertion inférieure que ce muscle atteint son maximum de raccourcissement, la deuxième paire de pattes

étant pendantes en avant. Cette attitude des pattes doit cependant avoir une influence peu considérable sur la propulsion de l'aile postérieure, vu que, d'une part, le préaxillaire s'insère à l'extrémité de l'axe de rotation de la hanche, un point par conséquent qui subit très peu de déplacements, et que, d'autre part, l'aile postérieure est entraînée passivement ;

2° Un *postaxillaire*, dont la partie inférieure, massive et volumineuse, s'attache aux bords postérieurs de la crête transversale du sternum. Son tendon supérieur très dur est fixé au niveau de la queue du terminal ;

3° Un *muscle du tampon*, allant de l'antépleuron du métathorax à l'appendice du terminal.

Au-dessous de ces muscles axillaires, se trouve une série de muscles, la plupart exclusivement pleuraux :

1° Le *muscle du collier* allant de l'antépleuron à l'angle postérieur du collier ;

2° Un *métapleural antérieur* s'insérant en avant et en bas, sur la face postérieure de la crête de séparation méso-métapleurale, en haut, à la base de l'alifère.

3° Un *métapleural postérieur* s'insérant en avant et en haut, au-dessus du rebord supérieur postpleural, en arrière et en bas dans la gouttière du pédicule abdominal.

4° Un *dorso-métapleural*, allant de la même gouttière à la face postérieure du subpostdorsum.

5° Entre les deux têtes alifères se trouvent encore quelques petits ligaments.

Ces derniers muscles ne jouent qu'un rôle secondaire dans le vol.

Facteurs constants des organes du vol. — En résumé, du Xylocope aux Pseudo-Névroptères, en passant par les Térébrants, Locustides et Névroptères, nous trouvons comme éléments constants les facteurs suivants :

1° Comme *forme générale* de la machine, un ovoïde plus ou moins allongé, à grosse extrémité dirigée en avant ;

2° Comme *charpente*, un plancher solide, des parois latérales plus ou moins élastiques, plus ou moins réunies en

arrière, de manière à constituer une ligne transversale fixe de pivotement (cercle postérieur), maintenues chacune par une colonne verticale (entopleuron) et un toit (notum) mobile sur ses parois autour de cette dernière ligne et des sommets de la colonne. Cette dernière rotation a lieu par l'intermédiaire d'organes particuliers, les ailes ;

3° Comme *forme générale schématique de l'aile*, une surface élastique triangulaire dont l'épaisseur va en diminuant graduellement d'avant en arrière et de la base au sommet, à base centrifuge. Cette surface est gauche, formée à la base de deux plans, un plan antérieur et un plan postérieur, mobiles l'un sur l'autre autour d'une ligne très variable, mais allant de la base vers les parties externes, dans le sens longitudinal de l'aile. L'existence de ce dièdre est constante ;

4° Comme *articulation* de l'aile, en bas, une double face articulaire, l'une en avant, l'autre en arrière du sommet de la colonne (alifère), l'une pour le roulement du versant antérieur, l'autre pour le roulement du versant postérieur, — en haut, articulation du toit mobile avec l'arête du dièdre ;

5° Comme *moteurs* : (a) des forces à la fois élévatrices, rétractrices et abductrices du sommet du dièdre ; (b) des forces antagonistes des précédentes ; (c) des forces propulsives, rapprochantes et abaissantes du plan antérieur ; (d) des forces abaissantes et propulsives du plan postérieur. Les deux premiers groupes s'insèrent sur le toit et sur le plancher, les deux derniers à la racine de l'aile.

Ces forces motrices sont des muscles volontaires. Leurs actions se trouvent combinées avec des forces élastiques, involontaires. Les principales forces élastiques sont :

1° La résistance du toit à la courbure que lui impose le premier groupe ;

2° La résistance de l'appareil de pronation situé en avant de l'alifère, à la flexion communiquée par le groupe (c).

Tels sont les facteurs constants qui me paraissent se dégager de l'organe du vol chez les quatre premiers ordres décrits (Névroptères, Pseudo-Névroptères, Orthoptères, Hyméno-

ptères). Nous approfondirons et préciserons mieux la nature de ces facteurs par l'étude des ordres suivants.

V — HÉMIPTÈRES.

Je décrirai un type d'Homoptère, la *Cicada plebeia* ou Cigale du frêne.

La grande prédominance du mésothorax sur le métathorax, l'aplatissement des pleures, la pauvreté du réticulum alaire, le facies glabre, luisant et corné de la surface alaire, ainsi que la forme trapue de l'animal, tels sont les traits généraux qui vous frappent à la première inspection.

Un autre trait saillant est un prolongement cunéiforme partant de la tubérosité antérieure et finissant bientôt en pointe en arrière et parallèlement au bord antérieur.

Aile antérieure. — On l'appelle aussi élytre, comme étant plus rigide que l'aile postérieure. Mais il ne faut pas voir dans cette dénomination un fait spécial aux Hémiptères. Chez tous les Insectes, l'épaisseur va en diminuant, soit du bord antérieur au bord postérieur dans la même aile, soit du bord antérieur de l'aile antérieure au bord postérieur de l'aile postérieure, si on considère l'ensemble des deux ailes.

La chitine qui forme les ailes de la Cigale est transparente, glabre, élastique et dure; elle présente de nombreux plis, perpendiculairement au côté antérieur de chaque cellule alaire. Les côtés de ces cellules proviennent des cinq nervures fondamentales.

La nervure antérieure est très large près de la base. Elle est renflée en arrière, aplatie en avant. L'aplatissement en biseau du rebord antérieur est un fait constant chez tous les Insectes que nous avons jusqu'ici étudiés.

La nervure antérieure s'articule mollement à la base avec la tubérosité antérieure et peut tourner sur elle dans certains sens, mais jamais autour d'un axe, soit vertical, soit horizontal. Elle n'a, en effet, avec l'humérus d'autres rapports que par l'intermédiaire de la nervure médiane, sur laquelle elle

roule longitudinalement autour de son bord postérieur (charnière linéaire simple). Quant à la nervure médiane, elle tourne autour d'un pli oblique de bas en haut, en arrière et en dehors. Le mouvement résultant de la nervure antérieure est donc un mouvement spiral et non circulaire.

On peut en dire autant de la nervure subantérieure, intimement accolée à la nervure antérieure dans toute sa longueur. Son extrémité basilaire passe à la face inférieure de l'aile où elle s'articule avec la tubérosité antérieure en flexion.

La nervure médiane a, chez les Hémiptères, une forme tout à fait spéciale. Au lieu de se continuer d'un bout d'aile à l'autre, elle reste cantonnée dans la partie basilaire, où elle s'enfonce comme un coin entre le versant antérieur et le versant postérieur. On croirait avoir affaire à un prolongement de la tubérosité antérieure servant d'axe de rotation longitudinal entre la partie antérieure et la partie postérieure de l'aile. C'est cette saillie cunéiforme qui nous a frappé à la première inspection, et qui nous fera toujours reconnaître sans hésiter une aile d'Homoptère.

En arrière de la nervure médiane, nous éprouvons une certaine déception à ne pas trouver une nervure unique pour représenter la nervure submédiane des Névroptères. Nous avons là une fosse submédiane analogue à celles que nous avons vues jusqu'à présent, mais pas de nervure simple qui vienne y mourir. Il y a cependant une *commissure transversale* formant une ligne brisée ouverte en dedans, à trois branches, donnant naissance à trois branches secondaires qui se dirigent en divergeant et en se ramifiant vers l'extrémité postéro-centrifuge de l'aile.

La partie située en dedans de la commissure forme une lame triangulaire en chitine dure. C'est son bord postérieur épaissi que je nomme la nervure submédiane, à cause de ses relations avec la région de la dépression submédiane. Elle se continue en dehors par la commissure transversale, et plus spécialement, plus directement par la plus postérieure des nervures secondaires, issues de la commissure.

En arrière de la dépression submédiane, nous trouvons une grosse tubérosité, l'*arcade postérieure*. Cette arcade est formée par la réunion à la base de deux nervures postérieures, et plus en arrière par la série des osselets qui réunissent le plan postérieur de l'aile au mésonotum. C'est l'analogue de l'arcade postérieure des Orthoptères, mais avec des pièces plus nombreuses.

L'arcade postérieure des Hémiptères offre deux parties bien tranchées : 1° la portion limitée par les deux nervures postérieures, portion entièrement semblable aux autres cellules alaires ; 2° la portion la plus interne, occupée par une membrane molle et extensible. Cette portion roule le long du bord postérieur de la première, pendant que celle-ci roule le long de la nervure submédiane.

Pour terminer ce qui a trait au corps de l'aile proprement dite, nous remarquons qu'il se compose uniquement de la surface comprise entre les nervures antérieure, subantérieure, intermédiaire et submédiane. Cette surface n'a d'autres mouvements directs et immédiats que ceux qu'elle exécute longitudinalement autour de la nervure médiane et le long de la nervure submédiane. Ces mouvements sont oscillatoires, purement passifs, et dus à la résistance de l'air et au mode d'agencement de la tubérosité antérieure avec l'arcade postérieure.

Cette oscillation longitudinale de l'aile ne nous était pas encore apparue avec des lignes de rotation aussi nettement découpées.

Une autre ligne très accentuée est la *courbe de flexion* de l'extrémité de l'aile. La flexion elle-même est un fait constant, résultant de la convexité et de l'élasticité du bout de l'aile, qui se dérobe à l'air dans le coup ascendant ; le mode de flexion est variable. En général, l'aile fléchit suivant une ligne courbe qui se dirige en zigzaguant du sommet de l'aile vers la base du bord postérieur. Cette courbe est le lieu des points de flexion des principales nervures, lieu variable chez un même animal, suivant la force et l'étendue du coup d'aile. Cette

flexion est le résultat de l'élasticité et sans qu'il soit besoin d'une articulation spéciale. La nature en a décidé autrement pour la Cigale.

La flexion de l'extrémité de l'aile de la Cigale se fait au moyen de six articulations, allant du tiers externe du bord antérieur au sommet de la nervure submédiane, en décrivant une sinusoïde, dont la branche antérieure s'ouvre en dehors, et la branche postérieure en dedans.

Ces articulations consistent en une légère solution de continuité, transversale, surtout à la face inférieure. Les têtes en regard sont élargies transversalement, de manière à allonger l'axe de flexion, et à éviter tout autre mouvement en dehors de cet axe. Les nervures ainsi modifiées sont les nervures antérieure, subantérieure, une tributaire de la subantérieure, la fourche de la première nervure intermédiaire, et la seconde intermédiaire. L'extrémité de la troisième intermédiaire fléchit par élasticité, sans flexion.

On peut s'expliquer cette forme de flexion par de simples considérations mécaniques. Si l'aile était plane, elle aurait une tendance à fléchir ou à s'étendre autour d'une ligne droite, et cela indifféremment sur ses deux faces. Comme l'aile est une surface gauche, il faut distinguer la face concave de la convexe. La face concave ou inférieure opposera à la colonne d'air une résistance beaucoup plus grande que la face convexe, car par le fait même de sa concavité, elle ne peut fléchir de bas en haut sous peine de se rompre. La face convexe au contraire cédera à la colonne d'air ; car elle a plus de surface qu'il ne lui en faut pour fléchir vers la région où l'air la pousse. De là aussi la forme courbe de la ligne de flexion. De quelle nature est cette courbe ? Il faut alors faire intervenir la vitesse, le genre et l'étendue de la surface alaire, le mode de répartition de l'élasticité, sans compter le mode de mouvement communiqué par les différentes combinaisons des moteurs. Le problème devient encore plus embrouillé, si, à la flexion transversale des principales nervures, on ajoute un plissement longitudinal (ce qui est le cas chez les Ortho-

ptères). Contentons-nous de signaler *grosso modo* la forme sinusoïdale de cette courbe chez les Hémiptères.

Base de l'aile. — Elle se compose d'une forte tubérosité antérieure, et de nombreux processus et osselets en arrière et en dehors de cette tubérosité.

La *tubérosité antérieure* est une pièce massive à rapports complexes, s'articulant en dehors avec le corps de l'aile, et l'arcade postérieure, en dedans avec le mésopleuron et le métanotum. Nous distinguerons un bord interne, un bord externe, une face inférieure et une face supérieure.

Le bord interne forme un angle ouvert en dehors et en bas.

La face supérieure forme deux quadrilatères réunis par la nervure médiane. Ils sont placés dans l'extension, l'antérieur presque vertical, le postérieur presque horizontal. Le *quadrilatère antérieur* a ses deux sommets externes pointus et divergents. Ce sont des pointes d'arrêt destinées à buter l'inférieure contre la base de la nervure antérieure, la supérieure contre la base de la nervure médiane. C'est au pied de ce bord externe, dans une excavation, que s'insère un ligament destiné au bord antérieur de l'aile.

Le bord antérieur du quadrilatère est libre. Le bord interne est réuni au dorsum par un ligament mou. Le bord postérieur est séparé du quadrilatère postérieur par un grand sillon, qui arrive presque jusqu'à l'angle interne de la tubérosité. Un autre sillon part du sillon médian et court d'arrière en avant parallèlement au bord interne du quadrilatère. Il se bifurque bientôt en une branche interne et une branche externe. Tous ces sillons correspondent aux cloisons de séparation des cavités inférieures.

La face inférieure du quadrilatère antérieur est encore plus accidentée que la face supérieure. La pièce principale est une apophyse à face inférieure concave, dont les parois aboutissent aux sillons déjà cités. C'est par l'intermédiaire de cette apophyse que le versant antérieur de l'aile roule sur l'alifère.

On pourrait la nommer l'apophyse inférieure de la tubérosité antérieure.

Autour des parois de cette apophyse, on distingue de petites cavités : 1° en dehors, la cavité radio-antérieure, déjà citée, donnant attache au ligament de la nervure antérieure ;

2° En dedans, une cavité intrathoracique réunie au dorsum par un ligament mou, au pleuron par une lame assez dure ;

3° Une cavité postérieure, au-dessous de la racine de la nervure médiane.

Le *quadrilatère postérieur* est lié au dorsum par le sigmoïde, à la racine de la nervure médiane par une étroite commissure chitineuse, au tiers interne d'un léger sillon linéaire qui le sépare de cette racine. Ses bords externe et postérieur sont plus ou moins taillés à pic, et c'est autour d'eux que roule le plan postérieur de l'aile.

Son bord externe donne insertion au *processus retro-médian*. Ce processus est une lame divisible en deux parties flexibles l'une sur l'autre, autour d'une ligne allant de la dépression submédiane au sommet postéro-externe du quadrilatère postérieur.

La face inférieure du quadrilatère postérieur porte à sa partie postérieure une forte apophyse en forme de botte, le *processus submédian*, dont le talon est intimement lié, mais non soudé à l'angle postéro-externe de la cavité postérieure citée plus haut. La semelle est mollement unie au processus pleuro-terminal, et la ligne supérieure de l'empeigne au tampon.

On voit d'après ces rapports que le quadrilatère antérieur domine la région du golfe antérieur, et commande le plan antérieur de l'aile. Le quadrilatère postérieur commande le versant postérieur. C'est à la fois le point d'attaque du dorsum, et le centre de ralliement de l'arcade postérieure.

J'ai donné à l'osselet qui unit le quadrilatère postérieur au dorsum le nom de *sigmoïde*, par analogie de rapports et même de forme avec le sigmoïde des Hyménoptères. Mais il est relativement beaucoup plus petit. C'est un osselet allongé,

légèrement tordu en 5 et formé de deux parties : l'une en avant du coude dorsal, en chitine pâle, l'autre plus volumineuse en arrière, en chitine chlorée. La première correspond à l'angle interne de la tubérosité antérieure; elle est légèrement flexible sur la seconde. Celle-ci est mobile en charnière sur le côté interne du quadrilatère postérieur.

L'*arcade postérieure* est formée par la base des nervures postérieures, et par le terminal avec ses quatre aboutissants tampon ou proterminal, extra-terminal, pleuro-terminal et dorso-terminal. On peut aussi y ajouter les supports du voile.

La base des nervures postérieures forme une lame taillée en biseau qui surplombe la dépression submédiane. Elle est en avant séparée du rétro-médian par la membrane molle qui tapisse le fond de la dépression. En arrière elle pivote sur l'extraterminal. On pourrait considérer la grande *cellule postérieure* tout entière comme un osselet d'union entre l'aile antérieure et l'aile postérieure.

Il ne faut pas perdre de vue que les deux ailes sont solidaires. On aurait tort, par exemple, de vouloir fabriquer des ailes artificielles en prenant pour modèle une seule paire d'ailes.

L'anatomie de cette grande cellule en peut servir de preuve. Son bord antérieur presque linéaire roule en charnière tout le long de la nervure submédiane. Son bord postérieur, presque rectiligne, forme un tour de spire d'un très petit rayon et à grand pas; la moitié interne donne insertion au voile; la moitié externe, plus étroite et plus concave, forme une rigole hélicoïdale, dans laquelle vient courir le cran ou crochet du bord antérieur de l'aile postérieure (1). Le mouvement de cette rigole et par suite de l'aile postérieure est donc sous la dépendance des mouvements de la charnière et de la base de la grande cellule postérieure.

(1) Sur les divers modes d'accrochement des deux ailes dans la série des Hémiptères, voy. Moleyre, *Recherches sur les organes du vol chez les Insectes de l'ordre des Hémiptères* (Comptes rendus Ac. sc., t. XCV, n° 7, p. 349-352).

Nous avons déjà dit que cette base pivotait sur l'*extra-terminal*. Celui-ci forme une lame concave en dedans, verticale dans l'extension, coiffant la partie postérieure du processus submédian dans le repliement. Elle s'arc-boute en dehors sur la cellule humérale, en dedans sur le sommet supérieur du terminal. Son bord supérieur est mollement lié aux deux supports du voile. Son bord inférieur donne attache au ligament de la dépression postérieure.

Le ligament se continue sur le bord inférieur du tampon. Le *tampon* est un osselet fortement concave en dedans, soudé en avant sur le bord supérieur du processus submédian, basculant en arrière sur le sommet supérieur du terminal. Sa face externe ou convexe fait partie de la dépression postérieure; sa face interne, de la cavité thoracique et donne insertion à un muscle particulier.

Le *terminal* est un osselet de forme triangulaire allongée. Son sommet supérieur pivote en avant sur l'extra-terminal, en dedans sur le tampon. Son côté externe est mollement lié au petit support du voile. Son bord inférieur donne attache en arrière au voile, en avant au ligament du golfe postérieur, et son bord supérieur au ligament de la dépression postérieure. Le sommet effilé interne du terminal s'arc-boute mollement sur les extrémités en regard du dorso-terminal et du pleuro-terminal.

Cette pièce n'est pas constante dans la série des Insectes, en tant qu'osselet distinct; mais jusqu'à présent nous n'avons constaté son absence que chez les Pseudo-Névroptères.

Le *pleuro-terminal* comprend deux parties intimement soudées. L'antérieure s'articule avec le bord postérieur de la tête alifère, sur laquelle elle peut fléchir de dehors en dedans. La postérieure beaucoup plus large s'articule mollement avec les extrémités du terminal et du dorso-terminal. Elle forme une sorte de presque-île jetée au milieu du grand ligament du golfe postérieur. Sa face interne forme une capsule, ouverte dans la cavité thoracique, et donne insertion au postaxillaire.

Le *support du voile* est une lame triangulaire allongée, une

sorte de sésamoïde, située à l'angle de la cellule postérieure et de l'extra-terminal.

Le *voile* est une membrane souple, terminée en arrière par un bourrelet élastique; elle s'appuie sur la moitié interne du bord postérieur de la cellule postérieure, sur le support, sur le terminal et sur la commissure pleuro-dorsale.

Aile postérieure. — L'aile postérieure est beaucoup plus courte et plus souple que l'aile antérieure. Ses éléments peuvent se comparer presque pièce à pièce avec ceux de l'aile antérieure, mais avec de nombreuses modifications.

Une première série de modifications résulte de l'entraînement passif de son bord antérieur. A cet effet, il est creusé, sur le milieu de sa longueur, d'une petite rigole hélicoïdale de sens contraire à celle du bord postérieur de l'aile antérieure. L'extrémité externe de la rigole se termine par un crochet, qui maintient intimement accrochés les deux pas de vis, dans leur roulement réciproque. Au début du roulement, le crochet se loge au niveau de la pointe de la cellule postérieure. A ce moment, le bord antérieur de cette cellule et le bord antérieur de l'aile ont même projection horizontale; mais à mesure que le crochet glisse, leur angle augmente, et à la fin du coup descendant, c'est avec le bord postérieur de la cellule que vient coïncider le bord antérieur de l'aile.

Le bord antérieur est formé par les nervures antérieure, médiane et submédiane réunies. La nervure médiane ne forme plus cette saillie cunéiforme, caractéristique de l'aile antérieure. De la dépression submédiane partent des nervures intermédiaires sans commissure transversale; la première nervure qui suit le bord antérieur se bifurque à angle aigu dès son origine, et roule par sa branche postérieure sur un couple de nervures intermédiaires coudées en U à leur extrémité basilaire. A la place de la grande cellule postérieure, nous avons trois nervures postérieures à têtes basilaires isolées. La dernière est plus longue, mais de même forme que le support du voile à l'aile antérieure.

La *tubérosité antérieure* est moins massive et moins dure qu'au mésothorax. Le quadrilatère antérieur n'est plus reconnaissable; il est réduit à une bande étroite, qui donne attache au ligament antépleuro-basilaire. Le bord antérieur de l'aile tourne sur la partie antérieure de la tubérosité antérieure autour d'un axe, voisin de la verticale. La partie postérieure est plus développée : nous y retrouvons un processus submédian, et un rétro-médian. Le rétro-médian pousse le terminal par l'intermédiaire d'un extra-terminal; le processus submédian fait corps avec un prolongement qui, comme dans l'aile antérieure, le réunit à un tampon arciforme, en bas avec le *pleuro-terminal* qui est muni de sa cupule; le dorso-terminal est semblable à celui de l'aile antérieure.

Telle est l'analyse aussi minutieuse que possible du corps et de la base des deux ailes. On peut déjà se faire idée de la forme possible de la surface alaire. Si l'on accroche les deux ailes et qu'on les examine à l'état d'extension complète, alors qu'elles ne font plus qu'une surface continue, on voit que les insertions basilaires des nervures dessinent une ligne courbe à partir de laquelle elles vont en divergeant graduellement, comme les génératrices successives d'une surface gauche.

Nous avons négligé ce détail dans les ordres précédents; il est tout aussi net que chez les Hémiptères, et dorénavant nous le noterons soigneusement, afin d'en tirer quelques éclaircissements sur la nature possible de cette surface.

Pour compléter l'étude de la base de l'aile, il faudrait décrire encore l'appareil de pronation. Nous le verrons à propos du pleuron.

MÉSOTHORAX.

Mésopleuron. — On peut distinguer un antépleure et un postpleure, séparés par un sillon allant en zigzag du cercle pédieux à l'alifère. Ce sillon présente en bas, à son origine, une excavation à laquelle correspond en dedans une apophyse considérable, l'*apophyse pédio-pleurale*. A ce même niveau, il est croisé par un autre sillon, allant d'avant en arrière et en

haut. Il y a donc lieu de distinguer quatre segments rayonnant autour de ce trou, deux à l'antépleure, deux au postpleure.

1. Le segment supérieur de l'antépleuron a la forme d'un bouclier ovalaire. La moitié antérieure se courbe en dedans et disparaît sous le prothorax. Elle est en outre en haut séparée de la postérieure par une fente très prononcée, *fente antépleurale*, longue, remplie d'une chitine plus claire, qui facilite ainsi la flexion de dehors en dedans. Toute cette partie du bouclier située en dedans de la fente doit jouer un rôle important dans le vol : car 1° son bord supérieur s'articule avec le bord interne du quadrilatère par l'intermédiaire d'un osselet triangulaire, tordu, *l'osselet de pronation*; 2° son bord interne donne insertion à une commissure antépleuro-dorsale, formée de deux processus intimement accolés, mais flexibles l'un sur l'autre; ils offrent une certaine analogie avec la commissure de même nom chez la Panorpe. Le processus supérieur s'unit par son extrémité seulement au bouclier, tandis que l'inférieur y est soudé suivant une ligne assez étendue; par contre, le supérieur aboutit à l'autre dorsum avec lequel il fait corps, tandis que l'inférieur s'arrête à moitié chemin. Voilà donc finalement trois axes principaux de transmission de mouvement du mésonotum sur l'antépleure : axe des processus entre eux, de la commissure sur le bouclier, axe de la fente.

L'extrémité inférieure du bouclier présente un sillon servant à guider et à limiter la course d'une saillie inférieure du prothorax.

2. Le segment inférieur de l'antépleuron ne présente en dehors rien de particulier; en dedans il se fond avec l'anté-sternum.

3. Le segment supérieur du postpleuron a une forme quadrilatère; les deux bords inférieurs de ce quadrilatère sont riverains des sillons déjà cités. Le bord postéro-supérieur limite en avant le golfe postérieur, tandis que le processus postpleuro-dorsal le limite en arrière et le dorsum en dedans. C'est vers le milieu de ce bord que s'articule le pleuro-terminal.

Plus haut, nous sommes sur l'apophyse alifère; c'est une apophyse élancée, bien assise, formée par l'union de l'anté- et du postpleuron, c'est-à-dire par le sommet de l'entopleuron. Le sillon de l'entopleure se contourne à son extrémité de façon que la partie postérieure ait une position interne par rapport à l'antérieure (fait constant chez tous les Insectes).

L'articulation de l'alifère avec la base de l'aile a lieu par l'intermédiaire d'une lame de chitine assez épaisse, non colorée, soudée d'une part à la face interne de l'alifère, de l'autre au bord interne de l'apophyse basilaire inférieure. Nous avons, du reste, déjà parlé de cette lame à propos du bord interne du quadrilatère antérieur. Cette lame doit permettre une torsion de son axe vertical pour faciliter l'aller et le retour du bord antérieur de l'aile. Il faut bien qu'il en soit ainsi, puisque l'articulation pleuro-alaire n'est pas ici une condylarthrose, comme chez les Hyménoptères.

Signalons encore sur la face externe du segment supérieur une forte crête, sur laquelle s'appuient au repos la terminaison de la nervure antérieure et le bord antérieur de la tubérosité antérieure. Elle doit servir à protéger les parties molles du golfe postérieur.

4. Une autre crête, située sur le segment inférieur postpleural, protège un stigmatte intermédiaire au méso- et au métapleuron. La partie inférieure de ce segment se fond avec le poststernum.

Mésopleuron, face interne. — A chacun des sillons décrits sur la face externe correspond une crête sur la face interne. Au point de croisement, elles se tordent l'une sur l'autre, de manière à former une longue apophyse transversale, très concave inférieurement, qui surplombe le trou pédieux: c'est l'apophyse pédio-pleurale; c'est une sorte de nœud destiné à renforcer l'union des quatre segments mésopleuraux. La crête la plus large est la portion de l'entopleuron située au-dessus de l'apophyse. La crête antéro-postérieure est peu développée dans sa moitié antérieure; celle-ci se bifurque à son extré-

mité. Nous avons vu en effet, sur la face externe du bouclier, un sillon secondaire se détacher du principal pour loger une saillie du prothorax; la moitié postérieure s'unit au post-dorsum.

Mésonotum. — Il est de beaucoup plus volumineux que le métanotum. Cette disproportion marche de pair avec celle du méso- et du métapleuron; il forme une surface convexe, hexagonale; le bord antérieur est échancré sur son milieu. Cette échancrure est comblée par une lame de chitine claire, anté-dorsum, qui se continue en outre de chaque côté de l'échancrure par un étroit prolongement. Cette lame est intrathoracique; une membrane l'attache à son bord supérieur et l'unit au prothorax.

Le bord antéro-latéral du dorsum forme le bord interne du golfe antérieur, ou terrain d'évolution de la racine antérieure de l'aile. Ce terrain est limité d'autre part, en avant, par la commissure antépleuro-dorsale, en dehors par le segment supérieur de l'entopleuron.

Le bord postéro-latéral forme la rive interne du golfe postérieur; il forme avec le précédent un angle de 100 degrés environ; le bord postérieur est deux fois plus long que l'antérieur; le sommet de l'angle, ou *coude dorsal*, porte une *fente dorsale* tapissée par une membrane molle. C'est le point du dorsum le plus rapproché de l'alifère; il en est seulement séparé par la tubérosité antérieure, jetée comme un pont mobile au-dessus du mince détroit qui unit les deux golfes.

Le côté postérieur du mésonotum forme un rebord élevé, large et massif; le milieu est renflé et ressemble à un X dont les branches limitent sur la face supérieure du mésonotum une dépression médiane et deux latérales (dépression postdorsale), chacune de celles-ci avoisinant le golfe postérieur. Un sillon transversal parcourt les dépressions postdorsales et sépare le rebord postérieur mésonotal du mésonotum proprement dit; ce rebord postdorsal est extrathoracique; il masque complètement le métanotum dans sa partie médiane; il est inti-

mement uni par son extrémité externe avec la crête antéro-postérieure du mésopleuron. En avant et par sa face inférieure il est soudé au subpostdorsum.

Le subpostdorsum est formé par deux grandes lames triangulaires réunies en haut par une pièce médiane, à partir de laquelle leurs côtés internes divergent, formant ainsi une longue échancrure pour le passage des autres appareils (digestif, respiratoire, etc.). Les côtés externes sont libres comme les internes; ils sont éloignés des parois postpleurales. Ils descendent aussi verticalement, mais dans un plan plus postérieur que les internes; ils se raccordent avec ceux-ci, de manière à constituer une extrémité anguleuse repliée horizontalement en avant jusqu'au niveau de la corne entosternale.

Chacune des palettes du subpostdorsum ressemble à une langue pendante verticalement dans la cage, à concavité antérieure et à pointe recourbée en avant, parallèlement au sternum.

Le bord postérieur du subpostdorsum est soudé à la face inférieure du postdorsum et à l'angle postéro-supérieur du postpleuron. Cet angle est épaissi par le rapprochement de la crête antéro-postérieure du mésopleuron, et de la crête mésométopleurale (formée par l'adossement du méso- et du métapleuron).

Le mésonotum est donc lié au pleuron, de manière à constituer un cercle postérieur rigide (*sic* Névroptères).

Au milieu du tiers interne du bord supérieur subpostdorsal se trouve l'origine de la crosse. J'appelle ainsi l'élévation qui sépare la concavité médio-supérieure de chaque palette des concavités latérales. Cette crosse se continue en arrière et donne le dôme latéral du métanotum.

Mésosternum. — L'entosternum donne deux apophyses allongées montant jusqu'au niveau de l'apophyse pédio-pleurale.

Le poststernum se réduit à une zone mince située entre deux paires de cercles pédieux.

Métapleuron, face externe. — Il est divisé par le sillon entopleural en segment antérieur (antépleure) et segment postérieur (postpleure). Ces deux fragments se fondent en bas avec le métasternum. La partie supérieure, après s'être d'abord courbée en dedans, se retrouse finalement en dehors, de manière à former une crête verticale; cette crête se dirige d'arrière en avant, en décrivant une S. La boucle antérieure forme l'alifère, la boucle postérieure le rivage pleural du golfe postérieur.

La partie antérieure de l'alifère forme une apophyse pointue, sur laquelle s'articule la racine du bord antérieur de l'aile par un osselet allongé, l'analogue de l'osselet de pronation. La partie postérieure s'articule par une lame chiniteuse élastique claire avec la face inférieure de la tubérosité antérieure.

La partie antérieure de l'alifère est immédiatement au-dessous et en avant de l'osselet de pronation, intimement soudée au cercle postérieur, si bien que le golfe antérieur est presque nul. Corrélativement, l'antépleure est de plus en plus étroit vers sa partie supérieure. Ce sont là de profondes modifications si l'on compare le métapleure au mésopleure.

Signalons encore l'absence du sillon antéro-postérieur et la présence sur le postpleuron d'une grande crête, en forme d'oreille, dont la partie supérieure abrite le stigmate métathoracique.

Le postpleuron se prolonge supérieurement et forme avec son symétrique et le postdorsum le cercle postérieur.

Face interne. — Il est séparé du mésopleuron par une forte crête, la crête mésométapleurale, qui se bifurque en haut pour embrasser le stigmate : le bras antérieur s'unit au bord interne du subpostdorsum, le bras postérieur au bord supérieur.

C'est à ce bras postérieur, au niveau de son union avec le subpostdorsum, qu'est soudée la base de l'alifère.

L'entosternum est moins large que celui du mésopleuron; l'apophyse pédio-pleurale bien plus petite.

Le bord postérieur du postpleuron forme aussi une crête, fortement épaissie à sa partie supérieure, et percée d'un stigmate. Les bras présentent chacun une apophyse ; l'antérieure plus basse et plus petite que la postérieure. Ces apophyses limitent une excavation immédiatement au-dessous du stigmate. Au-dessus du stigmate, la crête se continue et se fond avec le postdorsum.

Métanotum. — Le métanotum est beaucoup plus réduit que chez les Térébrants, et plus même que chez les Porte-aiguillons. Chez les Porte-aiguillons, le métanotum se réduit à une demi-ceinture, comme l'appelle justement Chabrier. C'est une pièce étroite, mais dont la réduction a été assez uniforme, laissant les bords parallèles. Ce type de réduction n'a rien de commun avec celui des Hémiptères. La réduction du métanotum des Térébrants est plus voisine : le métanotum est très rétréci au milieu comme celui des Hémiptères, mais les diverses parties sont encore distinctes et reconnaissables.

Chez les Hémiptères, le métanotum se réduit à une pièce latérale, fortement concave inférieurement, soudée à la crosse du subpostdorsum. Cette pièce est de forme triangulaire. On dirait une coquille de Moule (*Mytilus*) dont le bord ventral serait tourné en avant et en dedans, et dont la charnière représentait le coude dorsal, en regard de l'alifère. Nous retrouvons ici la fente dorsale et un sigmoïde en regard.

Le dôme du métanotum est très mobile par son bord postérieur, qui est mollement lié au cercle postérieur.

En somme le squelette de la *Cicada* constitue un type fort original, qui s'éloigne à beaucoup d'égards de tous les ordres précédents. Certaines de ses dispositions ne se retrouveront plus que dans un seul ordre, dans celui des Diptères.

MUSCLES DU VOL.

Muscles de l'aile antérieure. — En ouvrant l'animal par une section médiane longitudinale, nous rencontrons successivement en allant de dedans en dehors :

Dorsal. — Grand muscle longitudinal, mais très incliné d'arrière en avant et en haut. Il s'insère : en arrière sur la face antérieure du subpostdorsum, au-dessus et en dedans de la crosse, en avant sur la palette médiane de l'antédorsum, et sur le dorsum dans toute la zone située en dedans du sillon latéral longitudinal.

Sternal-dorsaux. — Cette dénomination est juste pour les *faisceaux antérieurs*, qui en effet s'insèrent sur l'antésternum et de là se rendent au dorsum dans un espace triangulaire, immédiatement en dehors du sillon latéral longitudinal.

Pour les *faisceaux postérieurs*, la dénomination se trouve en défaut. Ils s'insèrent : en bas, non pas sur le sternum, mais sur le subpodorsum, en dehors et en dessous de la crosse, en haut sur un espace ovalaire du dorsum compris entre la fente, l'insertion des faisceaux antérieurs, le sillon latéral et le bord latéral du dorsum.

Cette insertion inférieure des faisceaux postérieurs s'explique aisément par la conformation spéciale du subpodorsum. Il descend plus bas que chez tous les autres Insectes, et se recourbe ensuite en avant, à peu de distance du plancher sternal. Cette partie recourbée est liée au sternum par de nombreux et courts faisceaux de muscles.

Muscles axillaires. — Il y a deux préaxillaires, deux muscles du tampon, un postaxillaire et un muscle du dorso-terminal.

1. L'un des *préaxillaires*, l'antérieur, s'insère en bas sur l'antésternum en avant de l'ouverture pédieuse, en haut sur l'angle antéro-inférieur de l'antépleure. Ce muscle est dirigé de haut en bas, en arrière et en dehors.

2. Le second *préaxillaire* est un coxali-pleural. Il va en effet du godet antérieur de la hanche au bord antérieur intrathoracique de l'antépleuron.

Ces deux muscles concourent à abaisser la tubérosité antérieure. Le postérieur sert en même temps à porter la hanche en avant.

3-4. *Muscles du tampon.* — Il y en a deux comme chez les Porte-aiguillons. Le muscle *supérieur* s'insère sur la rive antérieure de la *fente antépleurale*. Il s'insère en arrière, non sur le *tampon*, mais à côté et en dedans, sur la membrane du golfe postérieur.

Le muscle *inférieur* s'insère en arrière de la fente, sur l'angle postéro-inférieur de l'antépleuron.

5. Le *postaxillaire* s'insère en bas dans le godet postérieur de la hanche; en haut sur la cupule plate, située au-dessous des extrémités convergentes du terminal, dorso-terminal, et pleuro-terminal.

Il porte le terminal en bas, tandis que les muscles du tampon le tirent en avant.

6. *Muscle du dorso-terminal.* — En bas, par un fort tendon sur la zone membraneuse du bord postérieur de la hanche, en arrière du godet postérieur, en haut sur l'angle postéro-interne du dorso-terminal.

Ce muscle singulier n'a d'analogue que chez les Porte-aiguillons, où le muscle du vectiforme a à peu près les mêmes direction et relations.

Muscles de l'aile postérieure. — *Dorsal.* — Nul.

Sternal-dorsaux. — On peut comprendre sous cette rubrique cinq muscles distincts.

1. { Godet antérieur de la hanche.
Rebord antérieur du dôme.

Abaisse l'extrémité interne du métanotum et fait rouler la hanche en avant.

2. { Godet postérieur de la hanche.
Bord latéral du dorsum, au niveau de l'articulation de l'aile.

Abaisse le bord latéral du dorsum et fait rouler la hanche en arrière.

3. { Antésternum en avant du cercle pédieux.
 { Rebord antérieur du dôme dorsal.
4. { Zone membraneuse qui attache la hanche à l'anté-
 { sternum.
 { Rebord antérieur du dôme.
5. { Tendon allongé sur le poststernum, en arrière du
 { cercle pédieux.
 { Bord postérieur médian du métanotum.

Il semble destiné à brider le cercle postérieur du thorax, pour résister aux tiraillements du grand dorsal du mésothorax.

Muscles axillaires. — Il y en a trois :

1. L'un, puissant, se rend du godet postérieur de la hanche à la cupule écailleuse du golfe postérieur.

Il abaisse le terminal et fait rouler la hanche en arrière.

2. Petit muscle allant de l'antépleuron (partie supérieure) au tampon. Il tire le terminal en avant et en bas.

3. Plus petit encore, va de l'entépleuron, de l'apophyse pédio-pleurale à la membrane qui sépare le tampon du dorso-terminal. Il tire cette membrane en bas, verticalement.

Nous ne voyons pas de préaxillaire, ce qui ne saurait nous étonner, après ce que nous avons remarqué dans la conformation du squelette ; nous avons vu, en effet, que l'antéméta-pleuron était réduit à sa plus simple expression, et que l'aile postérieure était passivement entraînée par l'aile antérieure.

Nous avons aussi remarqué que le préaxillaire métathoracique des Porte-aiguillons était fort réduit. Par compensation, ces derniers Insectes possèdent comme les Hémiptères deux muscles du tampon. Les Hémiptères ayant une organisation générale fort différente de celle des Porte-aiguillons, il faut voir dans ces rapprochements musculaires surtout une similitude de fonction.

Dans l'un et l'autre groupe l'ensemble des deux ailes forme

une aile typique unique, à grosse tubérosité antérieure, à nombreuses oscillations (rouage compliqué du versant basilaire postérieur) des deux versants de l'aile autour de cette tubérosité. Il n'est donc pas étonnant si la musculature se ressent de cette similitude.

VI. — LÉPIDOPTÈRES.

Traits généraux. Corps très velu. Ailes très volumineuses par rapport au poids et aux dimensions du thorax ; elles ne se plient pas et restent étendues même au repos. Écailles axillaires velues, recouvrant toute la racine du plan antérieur de l'aile. Branches entopleuro-dorsales.

AILE ANTÉRIEURE.

Elle est comme chez tous les Insectes (sauf certains Coléoptères) plus longue que l'aile postérieure. Elle est recouverte d'écailles, et très volumineuse (sauf chez la *Sesia apiformis*, où elle est glabre et de moyen volume). Elle est beaucoup moins concave inférieurement que celle des ordres déjà étudiés ; chez un grand nombre d'espèces, elle paraît *peu élastique* et *quasi plane* (empressons-nous d'ajouter que le vol de ces espèces est très défectueux, et comparable à la démarche d'un ivrogne).

L'aile antérieure du Sphinx ou de la *Saturnia* présente à la base le même facies général que chez la Cigale, c'est-à-dire une pièce médiane autour de laquelle tournent le versant antérieur et le versant postérieur de l'aile. Cette pièce s'articule en dedans avec le dorsum, en dehors avec le pleuron, et en haut avec l'arête du dièdre basilaire, c'est-à-dire avec l'arête médiane. Seulement ici, l'arête est liée d'une façon rigide aux nervures voisines, et va d'un bout d'aile à l'autre ; tandis que chez la Cigale, elle formait une sorte d'axe longitudinal cunéiforme, permettant des mouvements plus étendus de pronation et de supination.

Il est vrai que les Lépidoptères tiennent leurs ailes relevées

au repos, et n'ont, par suite, aucun besoin de mouvement si étendus. D'une manière générale, les mouvements de l'arête avec les pièces voisines sont beaucoup moins souples que chez la Cigale.

Ce caractère de rigidité de la base, l'aspect planiforme du reste de la surface, et le port des ailes sont des éléments trompeurs, peu propres à faire naître une saine théorie sur le vol.

A priori, une aile ainsi conformée semblerait devoir jouer un rôle plus passif que celle des ordres précédents (les Orthoptères exceptés). En revanche, les autres parties du thorax sont plus actives et plus compliquées, tant pour la pronation que pour la rétraction.

La première pièce qui nous frappe à la base de l'aile est une grande *écaille* qui en recouvre toutes les parties membraneuses. Elle est plus volumineuse et plus allongée que chez les Hyménoptères. Sa partie postérieure forme une grande échancrure pour mieux embrasser le contour de la base. Elle est formée de deux membranes superposées, l'inférieure molle; elles limitent une cavité communiquant par une fente de la membrane inférieure avec la cavité générale du thorax.

L'*écaille* est fixée au milieu de la membrane du golfe antérieur, dans l'espace qui sépare l'antépleuron de la branche entopleuro-dorsale. Le rôle de l'*écaille* vis-à-vis du golfe antérieur est surtout un rôle protecteur, analogue à celui du pronotum des Cigales.

Les cinq nervures fondamentales sont ici très accusées, et aussi distinctes que chez les Pseudo-Névroptères; mais leurs articulations basilaires diffèrent notablement.

La *nervure antérieure* est très large à la base. C'est là que sa distance à la nervure subantérieure est maximum. Son union avec la tubérosité antérieure ne devient compréhensible qu'en le comparant à celle des Hémiptères. Chez ces derniers, la terminaison basilaire de la nervure antérieure s'arrondit et peut rouler dans une excavation externe de la tubérosité, grâce

à un ligament assez mou. Ce ligament est devenu chez les Lépidoptères une pièce à chitine plus dure. Elle est séparée de la nervure antérieure par un pli rigide, et en arrière de la tubérosité par un pli mou. En arrière de ces plis, elle se fond avec la tubérosité; il s'ensuit que la rotation de la nervure antérieure des Lépidoptères autour de la tubérosité doit être moins prononcée que chez les Hémiptères.

La *nervure subantérieure* n'est saillante que sur la face inférieure de l'aile. Au niveau du pli rigide, elle plonge tout à fait sous l'aile et s'articule avec la face inférieure de la tubérosité. Cette articulation est élastique et de flexion. Elle forme avec le *pli mou* le système spécial d'articulation du bord antérieur sur la tubérosité antérieure.

La *nervure médiane* est très saillante sur la face supérieure de l'aile, surtout au voisinage de la base. Au niveau du pli rigide, elle s'étrangle, et finit sur la tubérosité par une extrémité effilée. Cette courte portion correspond à la longue pièce médiane si caractéristique des Hémiptères.

L'extrémité centrifuge de la nervure médiane se ramifie : une des branches, l'antérieure, se porte à côté de la nervure subantérieure, qui est déjà accolée à la nervure antérieure. On peut donc dire que le bord antérieur de l'aile est, dans sa partie centrifuge, formé par l'accolement graduel des trois premières nervures.

La *nervure submédiane* se termine dans la dépression submédiane au pied du rétro-médian. Elle n'est saillante que sur la face inférieure de l'aile. Sa terminaison basilaire se fond avec la membrane molle qui tapisse la face inférieure du plan postérieur de l'aile.

Les *dépressions submédiane* et *postérieure* sont peu étendues : elles se bornent au sillon étroit et encaissé qui fait le tour du processus submédian.

La *nervure postérieure* est formée de deux branches vers sa terminaison basilaire; ces deux branches, en se réunissant, forment une tête massive analogue à celle des Hémiptères. La *cellule postérieure* ainsi formée est entièrement comparable à

la cellule postérieure ou *lancéolée* des Hyménoptères Térébrants et des Hémiptères ; mais elle n'est pas conformée de manière à s'accrocher avec l'aile postérieure. Elle présente en outre une grande rigidité dans ses rapports basilaires, rigidité déterminée par le port des ailes.

Ce dernier fait rapproche les Lépidoptères d'un ordre diamétralement opposé sous tous les autres rapports, des Pseudo-Névroptères. Il y a un grand intérêt à voir ce qu'une même fonction (extension des ailes) peut produire dans des machines si différentes à d'autres égards. On voit que chez les Lépidoptères les dépressions submédiane et postérieure tendent à se combler par l'ankylose de pièces ailleurs (Hémiptères) si mobiles ; chez les Pseudo-Névroptères, les dépressions sont comblées : l'ankylose et la fusion des pièces sont complètes.

La *tubérosité basilaire* est divisible en une portion antérieure spécialement réservée au pleuron, aux nervures antérieure et subantérieure et une portion postérieure réservée au dorsum et aux nervures du versant postérieur de l'aile. Il y aurait donc lieu ici comme chez les Pseudo-Névroptères de distinguer la tubérosité antérieure et la tubérosité postérieure. Ces deux divisions correspondent aux quadrilatères antérieur et postérieur des Hémiptères ; elles prennent même chez la *Saturnia* une forme quadrilatère, ce qui complète l'analogie. Le mot de tubérosité est cependant meilleur, parce que la forme quadrilatère peut ne pas être si évidente (par exemple chez certains Sphingides).

La *tubérosité antérieure* diffère du quadrilatère antérieur des Hémiptères par son mode d'union avec la nervure antérieure (pli mou).

La face inférieure porte une apophyse entourée des trois cavités antérieure, interne, postérieure.

La *tubérosité postérieure* s'articule avec le pleuron, le versant postérieur et le mésonotum par de nombreux processus ou osselets qui sont : rétro-médian, submédian, extra-terminal, terminal, proterminal ou tampon, pleuro-terminal et un double sigmoïde.

Le *rétro-médian* se présente sur la face supérieure sous la forme d'un parallélogramme à angles émoussés, sauf l'antéro-interne qui est effilé et s'unit à la tubérosité postérieure au même niveau que la nervure médiane. L'angle opposé s'arc-boute entre la nervure submédiane et la tête terminale des nervures postérieures. Ce processus sépare la dépression submédiane de la dépression postérieure. La première se réduit à un sillon étroit, la seconde est plus spacieuse. On voit au fond de celle-ci un osselet qui sépare le submédian du pleuro-terminal.

Le processus *submédian* est intimement soudé au processus pleuro-terminal, tandis qu'il en était séparé par une membrane molle chez la Cigale. On peut donc décrire deux parties dans le submédian, une partie supérieure (intermédiaire des Térébrants) et une partie inférieure. La partie supérieure s'articule : 1° en avant avec l'apophyse inférieure de la tubérosité antérieure, de manière à pouvoir se fléchir sur cette apophyse ; 2° en arrière, elle fait corps avec un osselet fortement concave, en avant, avec le tampon. La portion inférieure s'articule : 1° en avant sur la face postérieure de l'alifère ; 2° en arrière et en bas avec une cupule énorme, qui remplit toute la partie inférieure du golfe postérieur ; 3° en arrière avec le terminal.

Cette portion inférieure ayant mêmes rapports que le *pleuro-terminal* d'autres Insectes, il n'y aurait pas d'inconvénient à lui donner le même nom.

Le *terminal* est une pièce allongée formée de deux branches coudées. La branche postérieure fait corps avec le processus dorso-terminal et se dirige de haut en bas en avant et en dehors. L'antérieure part du coude et monte en avant et en dedans (au repos) ou en dehors (abaissement) pour s'articuler avec la cellule postérieure. C'est au niveau de cette articulation qu'elle porte en avant une lame arciforme fortement concave en avant, le tampon ou proterminal.

Le *tampon* fait corps en avant avec le processus submédian. La branche arciforme donne insertion au muscle du Tampon.

Le prolongement *dorso-terminal* ne constitue pas une pièce distincte : même fait chez les Pseudo-Névroptères.

Tous les osselets qui viennent d'être décrits ont beaucoup moins de jeu que chez les Hémiptères, ce qui aussi en rend la dissection plus délicate.

Le *sigmoïde* des Lépidoptères est une pièce volumineuse et caractéristique ; il semble formé de deux osselets qui se seraient soudés à leur base, du côté du dorsum.

Le sigmoïde antérieur s'articule avec la branche antérieure de la fente dorsale, le postérieur avec la branche postérieure. Leurs sommets s'articulent avec le bord interne de la tubérosité postérieure. Leurs bases sont réunies en regard de la fente par une chitine plus souple, de manière que l'antérieur puisse se fléchir légèrement sur le postérieur. Leur direction générale de la base au sommet est verticale, mais dans des plans différents.

Le postérieur, le plus volumineux, s'articule en charnière simple, linéaire, avec la branche postérieure de la fente dorsale.

Les articulations mésonotales des deux portions du sigmoïde sont écartées au repos, mais susceptibles, grâce à la fente, de se déplacer l'une par rapport à l'autre. Ainsi, sous l'influence du dorsal, ces articulations tendent à se rapprocher, s'élèvent, produisent une flexion dans le sens transversal qui se traduit sur les deux points d'attaque de la tubérosité postérieure par une traction dirigée en arrière. Cette traction détermine un roulement avec abaissement du bras de levier externe de la tubérosité postérieure.

Ainsi apparaît nettement le rôle du sigmoïde, rôle plus difficile à concevoir dans certains des ordres précédents. Le sigmoïde des Lépidoptères peut se comparer avec celui des Sirex, dans lequel nous avons aussi constaté deux portions, mais bien moins isolables.

On pourrait déjà schématiser le sigmoïde par une pièce double à cinq articulations, deux internes, deux externes et une médiane entre les deux moitiés de cette pièce.

Y a-t-il lieu de comparer ce double sigmoïde aux deux pièces décrites chez les Pseudo-Névroptères sous les noms de d'antésigmoïde et de sigmoïde? Dans les deux ordres, les relations topographiques sont semblables (union du dorsum et des tubérosités basilaires; situation en avant et en arrière de la fente dorsale), mais les fonctions sont bien différentes.

Le double sigmoïde des Pseudo-Névroptères n'est pas chargé de transmettre aux tubérosités une force d'abaissement, puisque le dorsal est rudimentaire. Il transmet seulement une force de relèvement (action des sternali-dorsaux), et dans ce cas sa besogne est peu considérable, le relèvement étant prompt et aisé (moindre résistance de l'air, réactions élastiques élévatrices du squelette). De là, sans doute, le moindre volume et l'isolement des pièces situées en avant et en arrière de la fente dorsale.

AILE POSTÉRIEURE.

Elle est plus courte, plus large, plus flexible que l'aile antérieure.

La nervure antérieure n'est pas chargée d'attaquer l'air comme dans l'aile mésothoracique. Elle est réduite à un court moignon en forme de yatagan, courbé en avant en dedans et en haut. Sa pointe est appliquée contre la face inférieure de l'aile antérieure, en regard de la racine de la nervure submédiane. Son bord inférieur est fortement velu; il a, grâce à ses poils, un contact assuré avec le voile de l'aile antérieure.

La nervure subantérieure présente une forte courbure, à concavité tournée en arrière. Sa courbure est parallèle à celle de la nervure submédiane de l'aile antérieure. Tout l'espace compris entre la nervure antérieure et la nervure subantérieure est comblé par une lame mince, semi-membraneuse, qui constitue le bord antérieur de l'aile postérieure. Cet espace forme donc un rectangle très allongé, caractéristique de l'aile postérieure, logé sous le versant postérieur de l'aile antérieure, et destiné à assurer la continuité du gouffre axillaire.

Chez les Lépidoptères bons voiliers, ce contact est encore plus sûr grâce à une articulation en spirale conique (voy. au début de notre travail).

La *nervure médiane* est ramifiée à son extrémité centrifuge, mais elle n'a pas la branche qui, dans l'aile antérieure, vient renforcer le bord antérieur, en s'accolant à la nervure subantérieure.

La *nervure submédiane* se ramifie de la même façon que dans l'aile antérieure.

La *nervure postérieure* est simple, sans ramifications; elle ne forme pas de cellule à sa terminaison basilaire. Mais, à ce niveau, la marge postérieure de l'aile est épaissie en avant, et contribue à former la tubérosité, le renflement intermédiaire au terminal et au rétro-médian.

En résumé, les nervures de l'aile postérieure sont ici beaucoup mieux comparables à celles de l'aile antérieure que chez les Hémiptères. Les modifications les plus importantes consistent dans l'adaptation de la nervure antérieure à un nouveau rôle dans la direction générale des nervures, et dans leur mode de terminaison basilaire.

La *tubérosité antérieure* est très peu développée, tandis que la tubérosité postérieure est au complet (sigmoïde, submédian et pleuro-terminal). Le sigmoïde est divisible en deux portions comme dans l'aile antérieure, le sigmoïde antérieur est en relation avec la tubérosité antérieure et avec le submédian.

On pourrait désigner la tubérosité postérieure tout entière sous le nom de submédian; car c'est une pièce unique servant d'intermédiaire entre le sigmoïde, le terminal, la tubérosité antérieure et l'alifère.

La *nervure subantérieure* fait avec la postérieure un angle de 90 degrés. Les trois nervures subantérieure, médiane et submédiane forment à leur base un coin presque rigide de 60 degrés environ d'ouverture. On peut considérer deux pointes à ce coin: une pointe supérieure articulée en flexion avec l'angle antéro-supérieur du submédian; une pointe inférieure

articulée mollement avec l'appareil de pronation. Ce coin est articulé avec l'angle postéro-inférieur du submédian par l'intermédiaire du rétro-médian et du terminal.

Ce type de coin est caractéristique des Lépidoptères. L'angle du coin est plus aigu dans l'aile antérieure.

Les épидèmes du versant postérieur sont semblables dans les deux ailes. Elles ne diffèrent donc essentiellement que par la base du versant antérieur.

Mésopleurosternum. — Je désigne sous ce nom l'ensemble des segments qui ferment la cage thoracique par côté et en bas. Il y a plutôt une région intérieure ou ventrale (sternale) et une région verticale (pleurale) que des pièces distinctes, exclusivement sternales ou pleurales. En un mot, il n'y a pas de sillon horizontal antéro-postérieur qui délimite une zone nettement ventrale d'une zone nettement pariétale. Cette délimitation devait être possible au début (elle l'est encore chez les Orthoptères), mais elle est à peu près impossible chez les Hémiptères et les Lépidoptères. Nous avons néanmoins des lignes de repère pour faciliter la description : le sillon de l'*entopleuron* et un sillon oblique antéro-postérieur. On a ainsi quatre segments sur la face externe de la conque thoracique.

L'*antépleuron* est une lame mobile en bas, sur l'antéster-num suivant une ligne courbe sinueuse, qui constitue la moitié antérieure du sillon antéro-postérieur. La partie supérieure de l'antépleuron est complexe. Elle comprend en arrière un osselet triangulaire, l'osselet *subantérieur* ou de *pronation*, articulé : 1° par le sommet antérieur avec le reste du bord supérieur de l'antépleure ; 2° par le sommet postérieur dans une concavité de la face antérieure de l'alifère ; 3° par le sommet supérieur et son bord supérieur avec le bord interne de la tubérosité antérieure, et plus spécialement de son apophyse inférieure. Le côté postérieur est mollement lié à l'alifère de manière que le triangle puisse tourner en dedans, dans le coup d'aile d'arrière en avant. Le reste du bord supérieur de l'an-

tépleuron s'articule mollement à la branche entopleuro-dorsale par l'intermédiaire d'une vaste membrane molle.

Ce dédoublement de l'antépleure en deux pièces flexibles l'une sur l'autre n'est pas nouveau pour nous ; nous l'avons déjà observé en particulier chez les Orthoptères et les Hémiptères, avec deux types différents. La forme de l'*appareil de pronation* constitue un troisième type : celui des Lépidoptères. La pièce postérieure est analogue au *subantérieur* ou osselet de pronation déjà observé dans tous les ordres précédents ; elle est plus constante que l'antérieure, dont les formes sont très variables (écailles secondaires des Térébrants, néant chez les Porte-aiguillons, etc.). Le sommet supérieur du *subantérieur* est très pointu chez les Lépidoptères. C'est le *pivot mobile antérieur*.

La *commisure entopleuro-dorsale* (branches claviculaires Chab.) est une branche de chitine épaisse et forte qui relie la face interne de la crête entopleurale au bord antérieur du mésonotum. Cette branche monte d'arrière en avant, s'élargit et se coude à angle droit sur le dorsum. Jusqu'à présent, nous n'avons pas vu une telle disposition. (Comparer avec front antépleural des Libellulides, collier des Hyménoptères, processus antépleuro-dorsaux des Névroptères, Hémiptères.)

Le *postpleuron* forme une bande étroite séparée du poststernum par le sillon antéro-postérieur. Son bord supérieur est fortement échancré, plus que partout ailleurs, et forme le rivage pleural du golfe postérieur. Son bord postérieur est replié en dedans de manière à s'adosser au bord antérieur du métapleuron, replié dans le même sens ; l'adossement se fait par une membrane molle. Chemin faisant, ce bord postérieur est soudé à l'apophyse entosternale ; enfin, réuni au bord supérieur, il constitue une tête articulaire, presque une symphyse, sur laquelle pivote l'extrémité externe du postdorsum. De cette façon, le cercle postérieur jouit de légères oscillations d'avant en arrière. Le même mouvement était possible, mais par simple flexion chez les Névroptères. Ici nous avons une symphyse et *la moitié inférieure du cercle postérieur est ren-*

forcée par une dépendance de l'entosternum, ce qui est nouveau.

L'*anté sternum* est une pièce pentagonale avec deux côtés postérieurs, un interne, un externe et un antérieur. Une crête part du sommet postéro-interne, et se rend au milieu du côté externe qui le sépare de l'antépleuron. Elle forme avec ce côté une sorte de T destiné à supporter l'appareil de pronation. Son côté interne, en s'adossant avec son symétrique, forme la crête médio-longitudinale de l'*entosternum*. Son côté antérieur est aminci, replié en dedans; une membrane molle l'unit au prothorax.

Le *poststernum* est une pièce très bombée, cunéiforme. La base de ce coin fait corps avec le postpleuron. Son bord antérieur forme la marge postérieure de l'ouverture pédieuse. Son bord postérieur est replié en dedans, lié mollement au métapleuron.

L'ensemble des régions ventrales et pleurales vu de dehors a un aspect cunéiforme, analogue à celui des Névroptères planipennes. Dans les deux groupes, le mésopleurosternum est mollement uni au métapleurosternum.

La face interne de cet ensemble est charpentée latéralement par des crêtes verticales et horizontales, ventralement par la crête de l'entosternum. Nous avons déjà parlé de la crête médio-longitudinale, dont les deux longues apophyses vont renforcer le cercle postérieur et plus spécialement la partie postpleurale de ce cercle.

Les crêtes verticales sont au nombre de trois, dont deux déjà mentionnées: l'une en avant, la crête antérieure ou branche à T; l'autre en arrière, la crête postpleurale du cercle postérieur. La troisième est médiane: c'est l'*entopleuron*. Celle-ci décrit un zigzag à trois branches (inférieure, moyenne, supérieure). L'inférieure et la moyenne montent verticalement avec un angle ouvert en avant. Le sommet de l'angle est renflé, et correspond à l'apophyse pédio-pleurale des Hémiptères, Névroptères, etc. L'apophyse pédio-pleurale des Lépidoptères est fort réduite, ce qui tient probablement au moindre développement des muscles pédieux. La branche

supérieure s'incline en arrière et en dedans avec un angle de 100-120 degrés sur la branche moyenne. Cet angle doit être immobile, car l'espace en est comblé par une lame triangulaire allant de l'apophyse pédio-pleurale à l'alifère.

Cette lame était beaucoup plus large chez les Hémiptères ; une grande cavité était située entre cette lame et la zone antéro-supérieure du postpleuron. La cavité est plus petite chez les Lépidoptères.

Pendant que la branche supérieure se fait remarquer en arrière par cette cavité, la face antérieure donne naissance à la forte commissure entopleuro-dorsale.

Le système des commissures entopleuro-dorsale et entosterno-pleurale forme un facteur spécial à la machine Lépidoptère.

L'extrémité supérieure de l'entopleuron constitue l'appui fixe de l'aile, l'*alifère*. C'est une apophyse élancée, qui s'insinue entre l'apophyse inférieure de la tubérosité antérieure et le processus submédian. Elle est liée mollement à la cavité postérieure de la tubérosité. Elle se dirige dans le même sens général que le double sigmoïde, sans être néanmoins dans le même plan.

Remarquons ce type d'articulation pleuro-alaire, sous forme d'apophyses mobiles (submédian, subantérieur), se mouvant dans des cavités mobiles (intervalle des deux pivots pleuraux, intervalle de la tubérosité antérieure et du submédian). Nous sommes bien loin du type Bourdon, bien plus loin encore des diarthroses des Vertébrés.

Schématiquement, je représenterais la charpente du mésopleurosternum par une poutre horizontale (entosternum) donnant attache à trois paires de cerceaux verticaux. Ceux-ci sont réunis par un quatrième cerceau, coupant le médian en passant par la tête des extrêmes.

Ce quatrième cerceau correspond à la crête du sillon antéro-postérieur.

Métapleurosternum. — C'est une pièce deux fois moins large que le mésopleurosternum.

L'*antépleure* est relativement au postpleure plus étroit qu'au mésopleuron. L'appareil de pronation se compose : 1° d'un osselet triangulaire analogue au subantérieur de l'aile antérieure ; 2° d'une lame hémisphérique semblable à celle des Panorpes, mobile sur l'excavation du bord supérieur de l'antépleuron.

Le bord antérieur de l'antépleure se réduit à une bande étroite et mince située en avant de la crête entopleurale. Cette bande s'élargit seulement sur la ligne médio-ventrale de chaque côté de l'antésternum.

Le *postpleuron* diffère de son homologue par son mode d'attache avec le sternum. Son bord postérieur est lui aussi relié à l'entosternum, mais par une commissure beaucoup plus large. Supposons qu'au mésothorax, tout l'espace compris entre la commissure, sa base entosternale et le bord postérieur du postpleuron soit comblé par une chitine molle, et nous aurons la forme de commissure du métathorax. Il en résulte la formation d'une grande poche cunéiforme, située en arrière et en haut du cercle pédieux métathoracique.

Le postpleuron est soudé avec le métanotum, tandis que son homologue est articulé. Nous en verrons plus tard les conséquences mécaniques.

Le *métasternum* renferme un entosternum à quatre apophyses. Les deux postérieures sont réunies au postpleuron (voir plus haut), les deux antérieures sont beaucoup plus courtes, mais néanmoins plus développées que leurs homologues du mésosternum.

Mésonotum. — Le *dorsum* est une pièce très allongée, bombée, à contour hexagonal. Le bord antérieur est plus court que le postérieur. Ils sont l'un et l'autre échancrés, l'antérieur pour se souder à l'antédorsum, le postérieur au postdorsum. Les bords latéraux forment à leur sommet commun, au coude dorsal, une large fente (fente dorsale), comblée par une chitine molle, et courbée en arrière. Le sigmoïde est à cheval sur l'embouchure de la fente, et roule par cha-

cune de ses moitiés sur la partie des bords latéraux qui précède la fente. La moitié postérieure du sigmoïde pénètre dans la cavité thoracique de manière à former un petit bras de levier. Un muscle s'y insère et peut faire basculer le sigmoïde postérieur sur le dorsum. Nous avons omis cette particularité en décrivant le sigmoïde; nous y reviendrons avec les muscles.

Les bords latéraux sont en outre renforcés par une crête allant de l'angle antérieur de notre hexagone à l'extrémité postérieure de la fente du coude. C'est la crête latérale antérieure du dorsum.

L'*antédorsum* est une petite pièce logée dans l'échancrure du dorsum. Elle est allongée dans le sens transversal, grâce à deux longs prolongements (fourchette Chab.), dont les extrémités sont liées à celles des commissures entopleuro-dorsales. Comme ces dernières sont liées en même temps au dorsum et à l'appareil de pronation, les mouvements de l'*antédorsum* retentiront ainsi sur ces dernières pièces. La moitié supérieure de l'*antédorsum* est extrathoracique, la moitié inférieure est intrathoracique.

Le *postdorsum* forme un triangle isocèle dont le sommet et les côtés adjacents sont soudés au dorsum. Cette soudure est marquée en dehors par un sillon, en dedans par une crête, l'*entodorsum*. La base ou côté postérieur de notre triangle se replie verticalement en dedans, et forme un ourlet à son insertion avec le *subpostdorsum*. Les prolongements latéraux sont tordus en avant. Il y a lieu de considérer deux lames dans chacun de ces prolongements : une lame postérieure verticale, suite de l'ourlet, et une lame antérieure, horizontale, plus large, triangulaire.

La lame postérieure forme avec le postpleuron une ligne d'articulation concave en avant. Elle porte en outre inférieurement une apophyse angulaire, plate : la palette latérale.

La lame antérieure est soudée à la précédente par son bord postérieur, à l'extrémité du *postdorsum* par son bord interne, au terminal par son sommet externe, qui est libre en dehors de son attache au terminal et peut basculer sur l'articulation

postpleuro-dorsale. Cette lame antérieure est l'analogue du *dorso-terminal* des Hémiptères. Elle en diffère par ce même caractère de rigidité, qui se remarque dans ses autres pièces du versant basilaire postérieur.

Le *subpostdorsum* est une grande lame triangulaire, articulée par son bord supérieur avec le rebord inférieur de l'ourlet postdorsal. Sa surface n'est pas uniformément concave en avant. Ainsi sa partie inférieure, allongée, qui pend librement dans la cavité thoracique, est tordue en dedans, tandis que son extrémité externe est tordue en dehors. Ce sommet externe a l'air de se continuer directement avec le bord latéral postérieur du scutum. Ce dernier bord épaissi semble se différencier du reste du dorsum. N'y aurait-il pas là une étape vers cette différenciation complète du subpodorsum, telle que nous l'avons observée chez les Porte-aiguillons.

Nous avons vu en effet que cette dernière pièce était triangulaire, en forme de spatule dont le manche longe les bords latéraux postérieurs du dorsum, et va s'unir au sigmoïde, ou du moins à ses aboutissants (appendices, équerre, vectiforme).

Le bord interne du subpostdorsum est soudé avec son symétrique, dans sa moitié supérieure seulement. Les deux moitiés inférieures s'écartent l'une de l'autre pour former une grande échancrure.

La face postérieure présente une bande épaissie, plus colorée, correspondant à la crosse des Hémiptères.

Métanotum. — Il est beaucoup plus petit que le mésonotum et étranglé en son milieu (*Cicada*, *Sirex*). L'antédorsum et le dorsum sont à peu près nuls sur la ligne médiane.

L'antédorsum est une lame mince, triangulaire, verticale, s'articulant par son bord supérieur avec les deux tiers internes du dorsum; il est soudé par son bord interne avec la crosse du subpodorsum mésothoracique.

Le bord antérieur du dorsum se réduit dans son tiers interne à un mince ourlet, réuni mollement à l'antédorsum. L'union

du méso- et du métanotum n'est solide que latéralement par l'intermédiaire de l'antédorsum et de la crosse; le bord interne du dorsum forme aussi un coude dorsal avec une légère fente; mais, comme il fallait s'y attendre, la partie antérieure est très réduite; corrélativement le sigmoïde antérieur est très peu développé.

Le postdorsum est séparé du dorsum par un profond sillon qui se traduit intérieurement par une crête plus forte qu'au mésonotum. Son bord postérieur est aussi plus épais; la commissure postpleuro-dorsale est plus large, plus épaisse que son homologue: elle en diffère surtout en ce qu'elle est non articulée, mais ankylosée avec le postpleuron. La lame dorso-terminale s'enfonce comme un coin entre le dorsum et l'extrémité externe du postdorsum; une petite crête la sépare du dorsum. Son extrémité externe est flexible comme au mésothorax.

Le subpostdorsum est bien moins développé qu'au mésothorax. Son bord inférieur ne dépasse pas celui de la commissure ou apophyse postpleuro-dorsale. Son bord externe est soudé avec cette apophyse; la ligne de soudure forme une forte crête sur la face antérieure.

MUSCLES DU VOL.

Muscles de l'aile antérieure. — Dorsal. — Il s'insère en arrière sur la face antérieure du subpodorsum, et sur un prolongement supérieur de celui-ci, qui flotte librement dans la cavité du postdorsum, en avant sur l'antédorsum et le dorsum jusqu'à 2-3 millimètres en avant de la crête entodorsale.

Latéro-dorsal. — Il s'insère en haut en dedans de l'extrémité postérieure des sternali-dorsaux postérieurs, en bas sur l'apophyse de la commissure postpleuro-dorsale. Par la nature de ses insertions, il mériterait plus exactement le nom de postpleuro-dorsal, faisant ainsi le pendant d'un autre muscle situé en avant, qui serait l'entopleuro-dorsal.

Ce muscle tire en bas et en arrière le bord latéral postérieur

du dorsum ; il peut être adjuvant, soit du dorsal, soit des sternali-dorsaux.

Antépleuro-dorsal. — Ce muscle singulier est masqué par la partie antérieure de l'écaïlle, dont la membrane inférieure recouvre et protège l'espace compris entre le bord latéral antérieur du dorsum et la face interne de la commissure ento-pleuro-dorsale. C'est dans cet espace qu'est situé le muscle antépleuro-dorsal, reliant ainsi la commissure et le dorsum.

Ce muscle est antagoniste du précédent ; c'est une sorte de frein modérateur pour résister aux violentes tractions du dorsal.

Les Pseudo-Névroptères nous ont montré un muscle analogue, différent par les directions seulement.

Sternali-dorsaux. — 1. Il y a plusieurs faisceaux de sternali-dorsaux antérieurs ; ils s'insèrent en haut sur un espace ovoïde allongé d'avant en arrière et en dehors, à grosse extrémité en avant, sur la moitié antérieure du bord latéral du dorsum, en bas sur l'antésternum.

Ces faisceaux correspondent aux sternali-dorsaux antérieurs des Hémiptères ; leur insertion supérieure est intercalée entre celle du postpleuro-dorsal et du suivant.

2. *Sternali-dorsaux internes* s'insérant en haut, en dehors de la crête latérale antérieure du dorsum, dans cette dépression triangulaire qui est située en avant de la fente dorsale, en bas dans le poststernum.

Muscles axillaires. — Il y a deux muscles préaxillaires, deux muscles du tampon, un postaxillaire, un postpleuro-axillaire et un antédorso-axillaire.

1-2. Les *préaxillaires* s'insèrent en haut dans la concavité du rebord supérieur de l'antépleuron ; leurs insertions inférieures sont, l'une en avant et au-dessus de l'autre, sur la crête antéro-postérieure de l'antépleuron. Le muscle postérieur est le plus volumineux.

Ils tendent le double ressort formé par l'appareil de pronation.

3-4. L'un des muscles du tampon va du tampon à l'antépleuron dans un espace situé au-dessus de la crête antéro-postérieure et en avant de l'entopleuron.

L'autre, plus court, est situé plus en dehors; il s'insère aussi sur l'antépleuron, mais plus haut.

5. Le postaxillaire est un muscle très volumineux allant de la cupule subterminale ou postpleuron, au-dessus du sternali-dorsal interne.

6. Le postpleuro-axillaire, ainsi que le suivant, sont des muscles spéciaux, tels que nous n'en avons pas encore observés.

Ce petit muscle s'insère en avant sur la face postéro-supérieure de la cupule subterminale, en arrière sur la partie supérieure de la crête verticale postpleurale.

Ce petit muscle joue un rôle de ligament élastique vis-à-vis du postaxillaire.

7. *Antédorso-axillaire*. — Ce petit muscle, de petit volume, va de l'extrémité externe de l'antédorsum à la face supéro-antérieure convexe du rebord intrathoracique de l'antépleuron, c'est-à-dire de l'appareil de pronation.

Les deux extrémités sont essentiellement mobiles; c'est un agent de liaison entre le dorsal et les préaxillaires. Son action est différente, suivant que l'on suppose fixée son extrémité antérieure ou son extrémité postérieure.

Il joue en somme, vis-à-vis des préaxillaires, le même rôle que le précédent vis-à-vis du postaxillaire. Ce sont des accessoires modérateurs ligamenteux.

Muscles de l'aile postérieure. — *Dorsal* = 0.

Latéro-dorsal. — Ce muscle va de l'apophyse postpleurale au rebord antérieur du mésonotum. Il est dirigé d'arrière en avant, en haut et en dehors.

Abaisse et rétracte le bord antérieur du mésonotum. Adjuvant du grand dorsal ou des sternali-dorsaux.

Sternal-dorsaux. — Ils se composent de plusieurs faisceaux allongés verticaux, allant de l'antésterneum à la face inférieure du métanotum.

Abaissent cette ligne inférieure.

Il faut ajouter à ces faisceaux un petit muscle qui part du bord latéral du métanotum, au niveau de l'articulation sigmoïdale et s'insère sur la partie supérieure de la crête entopleurale. Il se rapprocherait par la position de ses insertions du pleuro-dorsal des Pseudo-Névroptères.

Axillaires. — Nous avons les mêmes muscles qu'au mésothorax.

1-2. L'un des *préaxillaires* est en avant et en dedans de l'autre.

L'*antérieur* s'insère en bas sur l'antésterneum, en haut sur la membrane qui sépare le métapleure du mésopleure.

Le *postérieur* s'insère en bas sur la partie inférieure de l'antésterneum, en haut sur le bord antéro-supérieur de la calotte hémisphérique de pronation.

3. *Antédorso-axillaire.* — Très petit muscle allant de cette calotte au bord antérieur du mésonotum.

4-5. Les muscles du *tampon* vont, l'un à la partie supérieure de la crête antépleurale verticale, l'autre en avant de l'entopleuron.

6. Le *postaxillaire* va de la cupule subterminale au poststerneum, en arrière de l'extrémité externe de la hanche.

VII. — COLÉOPTÈRES.

Les Coléoptères diffèrent considérablement des Insectes précédemment étudiés. Les caractères tirés des ailes et des thorax suffiraient à en faire un ordre à part. Tous offrent la grande prédominance du métathorax, et la transformation des ailes antérieures en élytres.

L'ouvrage si remarquable de Strauss (1) sur le Hanneton

(1) Strauss-Dürckheim, *Anatomie descriptive du Hanneton*. Paris, 1828.

avait été précédé de l'ouvrage non moins remarquable de Chabrier (1), et si les planches du premier sont des modèles pour la forme, celles du second sont dignes d'être comparées pour le fond. Ces travaux, néanmoins, présentent des lacunes au point de vue mécanique et géométrique, quelquefois même descriptif. Nous les signalerons chemin faisant. Le travail de Strauss renferme une nomenclature tout à fait spéciale aux Coléoptères ; Chabrier a généralisé davantage, mais avec timidité et réserve. Nous tâcherons de faire rentrer les Coléoptères dans la même nomenclature que les ordres précédents, nous y arriverons aisément par l'intermédiaire des Orthoptères.

AILE ANTÉRIEURE OU ÉLYTRE.

Les élytres sont composées d'une chitine durcie et rigide qui empêche toute inflexion ou déplissement de la surface. Elles sont fortement concaves inférieurement, en forme de triangle rectangle sphéroïdal. L'un des côtés de l'angle droit est antéro-postérieur, assemblé avec son symétrique par le système de languette et rainure. L'autre côté est antérieur, transversal, replié verticalement et portant au tiers interne de ce repli, l'articulation de la base de l'aile. Le sommet de l'angle droit est tronqué, c'est-à-dire qu'à ce niveau les élytres ne se touchent pas, et sont séparées l'une de l'autre par une saillie médiane du mésonotum.

L'hypothénuse est épaissie, surtout à l'angle antérieur qui forme une espèce de fosse triédrique, destinée à recouvrir et protéger la base de l'aile postérieure. Cette hypothénuse tourne sa concavité en dedans et en bas ; elle a le même sens de courbure que le bord antérieur de toute espèce d'aile antérieure. Les deux côtés de l'angle droit tournent leur concavité en bas dans un plan vertical.

La courbure du côté antérieur est plus ou moins prononcée, suivant les espèces : très forte chez les Bousiers, beaucoup

(1) Chabrier, *Essai sur le vol des Insectes* (Mémoires du Muséum, t. VI).

moins chez les Dytiques. Cette courbure est l'analogue de notre facteur constant, le dièdre basilaire. Quant à la courbure du côté médian, elle pourra se tourner en avant dans les mouvements de l'élytre; seulement elle est quasi rigide.

L'ordre le plus voisin pour la forme de l'aile antérieure est celui des Orthoptères. L'élytre des Orthoptères se fait aussi remarquer par la dureté de sa membrane, par l'étendue du rebord proantérieur, et par le rapprochement des bords postérieurs sur la ligne médiane. Mais les nervures fondamentales y sont très nettement visibles, tandis qu'elles sont méconnaissables chez les Coléoptères.

L'articulation de l'élytre est placée au tiers interne du bord transversal. On la distingue immédiatement sous forme d'une saillie enfoncée comme un coin entre le mésonotum et le mésopleuron. Nul autre ordre n'a le moignon basilaire de l'aile antérieure si rapproché de l'axe du corps; aucun, en outre, ne l'a aussi tordu autour de son axe vertical.

Nous voyons en effet la base du versant basilaire postérieur occuper au repos la même ligne horizontale que la base du versant antérieur. Les pièces basilaires de l'élytre sont serrées les unes contre les autres, difficiles à séparer. Nous y retrouverons les mêmes éléments que partout ailleurs, mais avec de profondes modifications.

Prenons d'abord un *Melolontha* ou une *Cetonia*. Le moignon de l'élytre (ensemble des deux tubérosités antérieure et postérieure) forme une saillie épaisse qui, au repos, est dirigée parallèlement à l'axe du corps, et dont la tête forme une cavité couronnée de trois apophyses. Deux sont supérieures, l'une interne du côté mésonotal, l'autre antérieure du côté antépleural, l'autre inférieure du côté postérieur. Notons une quatrième apophyse, l'apophyse postérieure située à la base du moignon du côté postérieur, et qui contribue à former la paroi supérieure d'une dépression ou fosse creusée dans le bord transversal.

On conçoit déjà que toutes ces apophyses soient séparées par des échancrures. L'apophyse inférieure et l'échancrure qui

la sépare de l'apophyse antérieure roulent par emboîtement réciproque sur l'alifère. L'apophyse antérieure s'articule avec l'osselet de pronation.

L'échancrure postéro-interne reçoit le prolongement d'un osselet, basculant d'autre part sur le mésonotum. C'est évidemment le sigmoïde (épaulière antérieure Str.).

La fosse postérieure située au-dessous de l'apophyse postérieure s'articule mollement avec un autre osselet, basculant sur le postpleuron. Cet osselet est l'épaulière postérieure Str. Enfin un osselet intermédiaire (épaulière moyenne Str.) comble l'espace qui sépare les deux osselets précédents et l'apophyse postérieure. Il est mollement soudé à ces parties, peut se fléchir sur elles.

N'est-ce pas là à grands traits le schéma d'une base d'aile : une apophyse inférieure correspondant à celle de la tubérosité antérieure des Lépidoptères par exemple, ou à l'extrémité de la nervure subantérieure des Orthoptères? — Une apophyse antérieure au rebord antérieur de la tubérosité antérieure, ou à l'extrémité de la nervure proantérieure, — l'apophyse interne et la postérieure à la tubérosité postérieure, plus spécialement aux extrémités des nervures médiane et submédiane ; — l'épaulière antérieure ou l'osselet mésonotal au sigmoïde ; — l'épaulière postérieure à l'ensemble du terminal et du pleuro-terminal ; — enfin, l'osselet épaulière moyenne ou intermédiaire, à l'ensemble des pièces qui assurent soit le repliement de l'aile, soit l'abaissement et la pronation du versant postérieur de l'aile.

Le sigmoïde se termine inférieurement par un prolongement qui se rend à la face postérieure de l'alifère, jouant ainsi le rôle du submédian.

L'*Hydrophyle* est plus instructif encore. Car l'osselet postérieur est formé de deux pièces distinctes, l'une correspondant au pleuro-terminal des Hémiptères, l'autre au terminal ; une cupule subterminale se trouve fixée au niveau de leur articulation. Une lame membraneuse semblable au voile des autres ordres, s'insère sur le bord postérieur du terminal.

AILE POSTÉRIEURE.

L'aile proprement dite des Coléoptères présente une structure assez uniforme. Les différences (1) de l'aile dans les diverses espèces portent surtout sur les parties centrifuges de l'aile. Il y a cependant certaines variations dans les parties basilaires; ces variations sont du plus grand intérêt pour la parenté des Coléoptères.

On peut distinguer à la base de l'aile un moignon solide, formant, comme dans l'élytre, la partie centrale de l'articulation. Ce moignon présente trois apophyses, l'une supérieure, interne, du côté métanotal; les deux autres inférieures, l'une antérieure, l'autre inférieure proprement dite. Ces apophyses sont naturellement séparées par des échancrures, mais elles ne sont pas liées d'une façon rigide comme dans l'élytre.

L'*apophyse antérieure* est articulée avec le moignon suivant une faille concave antérieurement et située sur la face supérieure, de façon que le bord antérieur de l'aile puisse se tordre autour d'un axe longitudinal. Cette apophyse est complètement comparable à celle de l'aile postérieure des Orthoptères, mais avec une articulation plus serrée. Cela tient probablement à ce qu'elle a un rôle plus actif que chez les Orthoptères; son rôle est de résister à la pression de l'air dans la pronation.

Ce rôle est surtout dévolu à l'aile antérieure dans les autres groupes; mais l'élytre est une aile antérieure quasi pétrifiée, qui doit en partie être suppléée par l'aile postérieure.

L'*apophyse inférieure* est massive; elle roule dans l'espace qui sépare le pivot mobile (tête de la tige de pronation) du pivot fixe ou alifère. C'est l'analogue de la nervure subantérieure des Orthoptères.

L'*apophyse interne* est séparée de l'antérieure par une cou-

(1) Roger (*Das Flügelgeäder der Käfer. zugleich ein fragmentärer Versuch zur auffassung der Käfer in Linne der descendenz theorie*. Erlangen, 1875) a étudié ces différences dans tout l'ordre des Coléoptères. Seulement c'est à un autre point de vue que celui de notre travail.

pure très étroite, mais longue, se continuant avec le sillon du rebord antérieur de l'aile. L'échancrure qui la sépare de l'apophyse inférieure est beaucoup plus petite que l'échancrure antéro-inférieure. Elle s'articule avec la tête du sigmoïde. Tout le reste de l'apophyse interne (en avant de cette échancrure) est libre, et vient, au maximum d'extension, butter contre la face antérieure de la tête du sigmoïde.

La tubérosité antérieure des Coléoptères est formée par ces trois apophyses, qui, on le voit, sont entièrement comparables aux terminaisons des nervures antérieure, proantérieure et subantérieure des Orthoptères.

Le *sigmoïde* (axillaire antérieur Str.) des Coléoptères se rapproche de celui des Hyménoptères Térébrants; seulement il est plus aplati, surtout chez les Dytiques. La face interne est amincie, à contours sinueux et roule en charnière sur le métanotum. La face antérieure forme un triangle vertical, à sommet interne, à base externe. Cette base est creusée d'une rigole pour recevoir et guider l'apophyse interne de la tubérosité antérieure.

La face externe est fortement excavée pour embrasser l'arête médiane du submédian. La face postérieure est libre; une membrane molle la réunit au tampon.

Le *submédian* (deuxième axillaire St., omoplate Chab.) est un osselet allongé, une sorte de quadrilatère gauche, soudé suivant une de ses diagonales avec la face externe du sigmoïde, et plié autour de cette diagonale comme arête, de manière à faire un angle obtus, ouvert en avant. La soudure de cette diagonale avec le sigmoïde est plus ou moins forte suivant les espèces, très forte chez les Dytiscides, moins forte chez l'Hydrophyle, assez lâche chez le *Melolontha*. La moitié inférieure du submédian n'est visible que sur la face inférieure de la base de l'aile, où elle s'articule avec la face postérieure de l'alifère.

La moitié supérieure du submédian forme, par sa réunion avec le sigmoïde, l'analogue de la lame carrée des Orthoptères. La ligne de réunion a à peu près la même direction dans les

deux ordres, c'est-à-dire d'avant en arrière, en bas et en dehors. Elle est cependant, chez les Coléoptères, plus inclinée et plus divergente de l'axe du corps. Elle ne constitue pas, en outre, une ligne fixe de soudure, ce qui serait une condition désavantageuse pour la souplesse des mouvements.

Le bord externe de la moitié supérieure du submédian donne dans la fosse submédiane. Son sommet postérieur est articulé avec un processus élastique du rétro-médian.

Le *rétro-médian* est une lame triangulaire, articulée : 1° en bas et en arrière, par son sommet effilé, entre le submédian et le terminal ; 2° en haut, par le côté opposé, avec la nervure submédiane. Les deux autres côtés sont mollement réunis, l'antérieur avec le submédian, le postérieur au terminal.

Le *terminal* est une pièce allongée, à parois plus minces que celles du sigmoïde, concave inférieurement. Elle est verticale au repos, se couche vers l'horizontale dans le déplissement. Son extrémité supérieure se replie inférieurement pour s'articuler avec le sommet postérieur du rétro-médian et avec la base des nervures postérieures. Son extrémité inférieure s'articule avec le métanotum.

La face antérieure forme une apophyse concave en avant, articulée par son bord externe à l'angle du submédian et du rétro-médian. Son bord postérieur donne attache au voile et au support du voile.

Nous avons passé en revue les pièces qui unissent l'aile au thorax. Nous verrons plus tard leur mode d'union avec le thorax. Mais il faut auparavant décrire le reste de la surface alaire.

La surface de l'aile est formée par une membrane plus molle que dans les autres ordres ; elle est soutenue par les cinq nervures fondamentales, antérieure, subantérieure, médiane, submédiane et le système des nervures postérieures.

Un trait saillant de l'aile des Coléoptères, c'est le mode d'accolement à la base des quatre premières nervures : ces nervures sont volumineuses et juxtaposées sur un plus long trajet que dans l'aile des Lépidoptères. Aussi la figure formée

diffère du coin caractéristique des Lépidoptères ; encore plus de la soudure des Hyménoptères. C'est encore le type Orthoptère qui offrirait le plus d'analogie, mais avec un autre facies (disposition en marche d'escalier, ou gaufrage).

Faut-il voir dans ce long et large accolement une fonction de la lourdeur du corps et de la déchéance de l'aile antérieure?

Le bord antérieur de l'aile présente vers la base un rebord incliné vers le bas, nettement limité en arrière par un sillon qui aboutit à l'échancrure antéro-interne de la tubérosité antérieure. Ce rebord se continue avec l'apophyse antérieure et mérite le nom de nervure. C'est la nervure proantérieure des Orthoptères et Pseudo-Névroptères : une section, près de la base, fait voir son canal accolé à celui de la nervure antérieure. C'est là, à notre avis, une disposition ancestrale, l'aile étant à l'origine formée de six nervures fondamentales, proantérieure, antérieure, subantérieure, médiane, submédiane et postmédiane.

Nous retrouvons ainsi une nervure qui, dans les ordres précédents (Hémiptères, Lépidoptères, Pseudo-Névroptères, Hyménoptères), se réduit à un simple rebord basilaire de la nervure antérieure, sans continuité immédiate avec le pleuron. Dans ces mêmes ordres, sa terminaison basilaire s'est différenciée avec celle des nervures antérieure et subantérieure, pour former ce que quelques auteurs, et dans certains cas, nomment l'humérus, ce que nous avons toujours appelé tubérosité antérieure. Ce moignon distinct, constituant l'humérus, est une formation ultérieure de progrès. Au début, nous avons six nervures s'articulant directement, trois avec le dos, trois avec les flancs. C'est la fonction du vol qui, entraînant la concavité de l'aisselle et la torsion de la surface alaire, a déterminé le groupement et les différenciations terminales de ces nervures, telles que nous les avons exposées dans les types mieux organisés pour le vol.

Dans tous les cas, la suppression du mot *humérus* se justifierait chez les Coléoptères, par ce seul fait : l'humérus ou tubérosité antérieure est plutôt une région qu'un osselet dis-

inct; on suit les terminaisons des nervures très facilement, grâce aux sillons qui les séparent, chacun donnant une des apophyses signalées plus haut. De là le nom par lequel je désigne ces apophyses.

La nervure antérieure se termine par l'apophyse antérieure. Cette apophyse est large, carrée chez le *Melolontha*; le sommet postéro-interne est appliqué au repos contre la face antérieure du sigmoïde, pendant que le sommet antéro-interne en est éloigné; mais dans l'extension celui-ci vient s'y appliquer. Ces deux sommets sont très saillants et arrondis chez les Dytiques.

La nervure subantérieure ne fait pas saillie sur la face supérieure de l'aile; elle se termine sur la face inférieure par l'apophyse inférieure ou subantérieure.

La nervure antérieure est immédiatement suivie sur la face supérieure de la nervure médiane. La disposition des trois nervures antéro-subantérieures et médiane ressemble à celle de trois tuyaux cylindriques qui seraient assemblés tangentiellement suivant leur longueur ou empilés; la nervure médiane a sa terminaison effilée, en forme de faucille tournée en arrière; le manche de la faucille est soudé à la nervure submédiane; la pointe s'articule en arrière avec le processus submédian, en avant avec le sommet supéro-externe de la tête du sigmoïde. Ce sommet s'articule dans l'échancrure qui sépare les terminaisons médiane et antérieure.

La nervure submédiane est intimement accolée à la précédente, au voisinage de la base. On constate seulement une lacune tapissée d'une membrane molle, en arrière de la courbure terminale de la nervure médiane. Enfin elle plonge dans la dépression submédiane, sous forme du processus rétro-médian déjà décrit. On peut distinguer deux branches internes dans ce processus: une antérieure s'unissant au submédian, une postérieure moins longue au terminal; ces branches sont très élastiques, reliées par une substance plus claire, plus molle. Avant de plonger, la nervure submédiane envoie une commissure à la première des nervures postérieures. Cette

commissure est une commissure de torsion, importante pour la mécanique du vol; nous y reviendrons.

On voit encore trois nervures à la suite de la nervure submédiane. Je nomme les deux premières nervures postérieures, la dernière support du voile.

Les deux nervures postérieures sont réunies à leurs bases d'abord entre elles, puis en avant avec la commissure de la submédiane, et en dedans avec l'extrémité recourbée du terminal.

Le support du voile est une nervure courte, en forme de cheville, comme chez les Hémiptères. La tête de cette cheville est en rapport en avant avec la face postérieure du terminal, et en dedans avec un petit support allongé. Celui-ci est lui-même séparé du thorax par un petit sésamoïde triangulaire.

Un mot sur la répartition de toutes ces nervures. Les nervures proantérieure et subantérieure ne sont distinctes qu'à la base; elles se fusionnent de plus en plus en allant vers la pointe de l'aile, et forment ce bord large, strié transversalement, qui précède la première articulation de l'extrémité de l'aile. La nervure médiane est accolée à ce bord, tout en restant distincte; la nervure submédiane diverge bientôt des précédentes et se courbe en arrière. Je ne m'étendrai pas sur le plissement de l'extrémité de l'aile, ni sur les formes spéciales des parties centrifuges des nervures; il y a, en effet, des différences notables d'un groupe à l'autre, mais moins intéressantes pour le mécanisme du vol que les pièces centripètes.

Des genres très instructifs pour les comparaisons sont des *Carabus*, *Cicindela*, *Dytiscus*. Examinons, par exemple, la base du plan postérieur des Dytiques.

Il y a deux parties à considérer dans le versant postérieur, deux parties qui se plient l'une sur l'autre : la partie antérieure est formée par les nervures médiane, submédiane et postérieure; la postérieure par le processus rétro-médian, le terminal et le support du voile. La ligne de plissement passe par les têtes supérieures du rétro-médian, du terminal et le long de la seconde nervure postérieure. Jusqu'ici nous parlons pour

le Hanneton comme pour le Dytique. Nous avons vu en outre chez le Hanneton que cette partie postérieure présentait derrière le terminal un petit sésamoïde noyé dans les parties molles.

Nous en serions assez embarrassés si le Dytique ne nous venait en aide. A la même place, on voit chez le Dytique un osselet allongé montant parallèlement au bord postérieur du terminal. Son extrémité inférieure est formée de deux cornes, l'une se dirigeant vers le terminal, l'autre s'insérant à l'union du métanotum et du pleuron, et se continuant par une fine nervure le long des parois abdominales; le corps de l'osselet est courbé en avant, son extrémité supérieure est repliée en bas et en avant, s'articule avec l'angle postérieur de la tête commune des nervures postérieures, et constitue le point culminant de la ligne de plissement.

Supprimons maintenant les parties molles qui réunissent les diverses pièces basilaires du versant postérieur (l'osselet précédent, terminal, rétro-médian, nervures submédiane, médiane et postérieure), mettons à la place une chitine plus rigide qui ankylose ces pièces tout en respectant la ligne de plissement, et nous retombons sur le type Locuste. L'osselet en question est l'analogue du bord postérieur de l'arcade postérieure des Orthoptères.

Il faut donc, dans l'arcade postérieure des Orthoptères, distinguer deux parties : une partie postérieure, l'arcade proprement dite, d'où rayonnent les nombreux supports du voile, et une partie antérieure munie du tampon. Cette dernière partie seule est l'homologue du terminal des autres Insectes. L'arcade est allée en déclinant à mesure que les supports du voile diminuent de nombre; le Dytique est une étape de transition dans cette voie.

Cette distinction de l'arcade en plusieurs parties est encore appuyée par l'anatomie de l'Acridium; ces parties sont déjà distinctes chez cet Orthoptère, qui se rapproche ainsi davantage des Dytiques.

Nous avons vu la structure anatomique de l'aile; voyons sa structure géométrique.

Arrachons l'aile, de manière à n'enlever que les nervures fondamentales, et ne laissant sur le thorax que les osselets basilaires, le voile et son support. La surface qui nous reste dans les doigts est relativement très épaisse suivant la ligne d'arrachement et suivant son bord antérieur ; les nervures diminuent graduellement de résistance de la base au sommet.

En tenant compte de cette graduation de résistance, on conçoit aisément l'importance de la partie située entre la ligne d'arrachement et le bord antérieur. A ce niveau, les nervures sont liées de façon à permettre un mouvement de *torsion longitudinale*, et voici comment.

L'ensemble des nervures antérieure, subantérieure, pro-antérieure, c'est-à-dire le versant basilaire antérieur, tourne autour de la nervure médiane. Celle-ci est effilée à sa terminaison basilaire, et forme même en arrière une lacune, pour faciliter la rotation de la nervure subantérieure. Regardons, en effet, la face inférieure, nous verrons que cet espace est nécessaire au jeu de deux apophyses secondaires de la racine subantérieure. Ces deux apophyses viennent butter contre la base du plan postérieur. Cette base est intimement soudée à la nervure médiane, au niveau de la commissure ; mais en dehors de la commissure, elle peut fléchir sur la nervure médiane d'un mouvement angulaire, mesuré par l'écartement et la divergence des nervures médiane et submédiane.

L'axe de cette flexion angulaire est longitudinal. On peut se faire une idée de ce mouvement, en se figurant les deux nervures médiane et submédiane mobiles sur un cône dont le sommet serait au point de réunion de la nervure médiane et de la commissure de torsion, et dont l'angle serait variable (1).

(1) Il diminue naturellement dans le coup ascendant, dans le coup convexe. Ceci nous rend compte des expériences de M. Plateau sur le vol des Coléoptères : « L'étendue de la surface de l'aile est plus grande dans le mouvement d'abaissement, que dans celui d'élévation. » (Félix Plateau, *Réflexions et expériences sur le vol des Coléoptères*, 1869.

Le bord antérieur de l'aile est fortement concave en avant, au niveau de son tiers interne; il est convexe au voisinage de l'articulation basilaire, et tout le long des deux tiers externes, à partir de la zone striée. Le tiers concave est assez mou, sans doute pour faciliter la torsion. Cette concavité est plus développée que chez les Orthoptères et les Pseudo-Névroptères. Elle est située chez ces derniers vers le milieu du bord antérieur. Elle est peu accusée chez les Hyménoptères, nulle chez les Hémiptères.

Ces différences de courbure du bord antérieur dans les divers ordres sont évidemment en rapport avec le mode de vol. Nous ignorons la loi de ce rapport, mais nous avons observé que le bord antérieur avait les deux courbures principales (concavité basilaire, convexité centrifuge) d'autant plus prononcées, que les autres pièces articulaires indiquaient un battement plus vertical.

La ligne d'arrachement forme aussi une ligne sinueuse.

PLEUROSTERNUM.

Les régions sternales offrent de nombreuses variations chez les Coléoptères; car leur mode de locomotion est très variable, et en dehors de la locomotion terrestre ou aquatique leurs pattes ont encore des fonctions diverses. Les régions pleurales offrent une physionomie plus distincte, du moins au niveau de l'insertion des ailes.

Le *sternopleuron* se compose de deux pièces pouvant aisément se détacher l'une de l'autre: 1° le sternum et le mésopleuron; 2° le métapleuron.

Le mésopleuron est isolable du mésosternum chez le *Melolontha*, *Capris*, *Ateucus*, *Dytiscus*, etc., mais beaucoup plus difficilement que le métapleuron du métasternum. Rappelons un fait analogue chez les Névroptères, Orthoptères: l'union rigide des pleures et du sternum a lieu en avant seulement entre l'antépleure et l'antésternum.

En général les hanches sont roulantes, faciles à détacher.

Enlevons-les ainsi que le méso- et le métapleure. Analysons chacune de ces parties.

Mésopleuron. — Le mésopleuron présente sur sa face externe un grand sillon vertical, allant de l'ouverture pédieuse au bord supérieur. Une crête lui correspond sur la face interne. Cette crête est l'entopleuron.

L'*antépleuron* est fortement concave intérieurement. Il forme, vu de dedans, une fosse à contour elliptique. Son bord antérieur a une direction verticale; il est recourbé en dedans et forme la crête antérieure ou *antépleurale*. Le bord supérieur de l'antépleure forme la surface articulaire, l'alifère.

Ce bord supérieur est très épais; il présente à partir de sa moitié antérieure une gondole dirigée d'arrière en avant et en dedans. Le bord externe de la gondole se termine par un condyle, le bord interne finit plus loin au pied d'une apophyse ou condyle qu'il cloisonne en deux fossettes, l'interne plus petite que l'externe. Un sillon sépare les deux condyles. La fossette externe longe la racine subantérieure; la fossette interne, une apophyse du submédian; enfin le sillon intercondylien reçoit la racine proantérieure.

La ligne qui joindrait les têtes de ces trois apophyses (proantérieure, subantérieure et submédiane) est oblique d'arrière en avant, en dehors et en haut. La direction est beaucoup plus transversale que dans n'importe quel ordre; elle offre en outre un type d'articulation tout différent, et dont nous ne trouvons les analogues que chez les Porte-aiguillons à squelette dur (*Xycolope*, *Bombus*, *Vespa*). Partout ailleurs, en effet, et même dans l'aile postérieure des Coléoptères, nous voyons les trois apophyses précitées (proantérieure, subantérieure et submédiane) liées par un tissu élastique aux extrémités supérieures (alifère) de l'entopleuron et de l'osselet de

(1) Chabrier désignait la portion du pleuron qui s'articule avec l'aile sous le nom d'*appui*, Strauss sous celui d'*apophyse alifère*. J'ai choisi la dénomination de Strauss comme plus cosmopolite; j'écris alifère, tout court. L'alifère n'a été bien comprise ni par Chabrier, ni par Strauss; le mécanisme de l'appareil de pronation leur a complètement échappé.

pronation. Il n'y a pas à proprement parler de cavité articulaire nettement délimitée, fixe. Les déplacements ont lieu par l'élasticité des tissus connectifs et des pièces articulaires. Mais cette élasticité de torsion fait défaut à la base de l'élytre, de sorte que nous avons de vraies têtes articulaires roulantes. De là ces fossettes et le sillon externe.

L'*appareil de pronation* est représenté par une partie allongée, qui descend le long de la crête antépleurale, en s'aminçant de plus en plus. Son extrémité supérieure est plus large; elle présente une partie postérieure roulant en charnière le long de la crête antérieure, et une partie antérieure unie par une membrane ligamenteuse à la racine proantérieure. Cet osselet peut donc, comme dans le mésopleuron des Orthoptères, se schématiser par un triangle à base supérieure; mais, au lieu de rouler sur la crête antérieure par le sommet inférieur seulement, il roule tout le long d'un de ses côtés, ce qui limite singulièrement ses mouvements.

Nous remarquerons encore vers le sommet de la crête antépleurale, au-dessous de la fossette interne, une apophyse presque perpendiculaire sur la crête, dirigée de haut en bas et en dedans. Elle est effilée, spatuliforme à son extrémité (*Melolontha*). Le pédicelle est fort, mais court chez les *Copris*; il porte une cupule ovale, tournée vers l'avant; cette cupule est lancéolée chez l'Hydrophile.

Le *postpleuron* est trapézoïde, à sommet postéro-supérieur, généralement saillant et épaissi. Ce sommet et le bord postérieur sont repliés en dedans, de façon à circonscrire une fosse sur la face interne. Le côté inférieur forme le côté externe de l'ouverture pédieuse; il est, ainsi que le côté postérieur, replié en dedans, d'où résulte la formation d'une crête postérieure avec une fosse correspondant à leur intersection.

Métapleuron. — Le métapleuron est une pièce trapézoïde, traversée diagonalement par la crête de l'entosternum, qui la partage en deux triangles inégaux: l'antérieur, le plus grand, est l'antépleure, le postérieur est le postpleure.

L'*antépleuron* a son bord antérieur recourbé en dedans et recouvert en écaille par la saillie postmésopleurale. Il forme une lame de chitine claire portant supérieurement une énorme cupule, dirigée en arrière, en dedans et en bas; le côté antérieur est vertical, perpendiculaire sur le côté inférieur.

Le côté inférieur porte une petite rainure chevauchant par une languette du côté externe du métasternum.

Le côté postérieur, s'adossant au postpleure, forme la crête de l'entopleuron. Cette crête a une direction très oblique d'arrière en avant, en dedans et en haut; elle se termine inférieurement par une saillie, séparée de la crête postpleurale par un petit vallon qui embrasse une apophyse de la hanche.

Le postpleuron forme en arrière une saillie plus petite, mais semblable à celle du postpleuron; elle recouvre la partie supérieure de la hanche métathoracique. La hanche, le métapleuron et le mésopleuron sont donc agencés un peu comme les tuiles d'un toit; la crête postérieure postpleurale s'unit supérieurement au postdorsum. Cette commissure est transversale, presque horizontale; le bord supérieur du postpleuron est la continuation du bord antérieur de cette commissure; il forme le rivage pleural du golfe postérieur.

Le golfe postérieur est remplacé par une membrane molle, soutenue par une tige plus dure qui part de la crête postérieure et vient mourir sur la face postérieure de l'alifère. Audessous de son origine se trouve la cupule subterminale.

L'*alifère* se compose d'une tubérosité arrondie en arrière et d'une pointe en avant et en dedans. C'est au-dessous de cette pointe, sur la face antérieure de l'alifère, qu'est soudé l'appareil de pronation. C'est une pièce claviforme roulant par sa queue et une apophyse de la tête sur la face antérieure de l'alifère; la tête se compose, comme celle de l'alifère, d'une grosse tubérosité et d'une apophyse pointue. La tubérosité est externe, postérieure et inférieure par rapport à la pointe; l'espace situé entre la tête de l'alifère ou pivot fixe et la tête de l'osselet de pronation, ou pivot mobile, est une gouttière à

parois antérieures mobiles. La queue de la tige de pronation est assez grêle à son extrémité, où elle fait corps avec le rebord antérieur du métapleuron.

En raison de cette diminution de volume et de la souplesse du rebord, la tige entière peut faire un petit mouvement oblique de dehors en dedans. Une grande cupule fait suite à la tige de pronation sur la face interne de l'entopleure et détermine ce mouvement.

Sternum. — Le sternum est en général formé d'une seule pièce, formant une surface hexagonale, ou un quadrilatère si on ne considère qu'une moitié, soit la droite, soit la gauche. Le côté interne médio-longitudinal porte l'entosternum; le côté postérieur est dirigé d'arrière en avant, en dehors et en haut; il est tout le long creusé d'une rigole pour le roulement de la hanche métathoracique; le côté externe porte sur sa moitié postérieure une rainure destinée à recevoir le bord inférieur du métapleuron; sa moitié antérieure est en partie échancrée et libre, en partie soudée avec le bord inférieur de l'antépleure. Enfin le côté antérieur est uni au prothorax.

Si on jette un coup d'œil sur la face inférieure de ce quadrilatère, on est frappé des grandes dimensions des ouvertures pédieuses : elles ont toutes les deux un contour elliptique à grand axe dirigé d'arrière en avant, en haut et en dehors; mais, tandis que le grand axe de l'ouverture antérieure diverge peu de la ligne médiane, celui de la postérieure s'en éloigne d'un angle de 60 degrés environ. Il est, en outre, plus long que l'antérieur.

L'entosternum est formé par une crête médiane, longitudinale, terminée à l'un de ses bouts par l'apophyse du mésosternum, en arrière par l'apophyse métasternale. L'apophyse antérieure a une forme hémiconique, à concavité tournée en dehors; elle surplombe l'ouverture pédieuse; la pointe est réunie par une lame écailleuse à la crête postmésopleurale (comparer avec Lépidoptères). La base est réunie en arrière au grand parapet, dans lequel roule la hanche, en avant

à une crête transversale qui se rend à la crête médiane.

L'apophyse métasternale est une fourche à trois cornes, deux latérales, postérieures, montant obliquement en dehors, une médiane antérieure descendant en bas. La tige de la fourche est plus ou moins longue suivant les espèces; elle est inclinée à 45 degrés sur le sternum. Des lames écailleuses sont tendues entre ces diverses cornes, entre la corne médiane et la crête entosternale. Celle-ci sert d'appui à la tige de la fourche.

Nous avons décrit le sternum comme une pièce unique; cependant on voit parfois une ligne de soudure très nette qui part de l'angle postéro-inférieur du postpleuron, contourne le bord postérieur de la première ouverture pédieuse, et rejoint sa symétrique sur la ligne médiane. Cette ligne servirait donc à distinguer un mésosternum d'un métasternum.

Mésonotum. — Sa forme générale est celle d'un quadrilatère, à face supérieure bourrelée et à bords concaves: l'antérieur en bas et en avant, le postérieur en bas et en arrière, les latéraux en dehors et en bas.

La seule partie visible de dehors une fois les élytres repliées, consiste en une plaque épaisse, triangulaire, isocèle; la base est antérieure et transversale, située un peu en arrière du bord antérieur. Cette plaque sépare les deux élytres l'une de l'autre, s'enfonce dans leur rainure par ses côtés latéraux taillés en biseau. Toute la moitié postérieure de la plaque, c'est-à-dire le sommet de notre triangle isocèle, peut être considérée comme un prolongement du postdorsum destiné à recouvrir le dorsum métathoracique. Cette plaque correspond à l'éminence postdorsale, nasiforme des Orthoptères.

Le dorsum et le postdorsum sont soudés en une pièce unique. Nous retrouvons néanmoins les caractères qui les font remarquer dans toute la série des Insectes. Ainsi le bord postérieur du mésonotum se continue latéralement et en arrière par une longue apophyse qui va s'unir à l'antédorsum du métanotum. Cette apophyse est constante (subpostdorsum),

on la voit partout ailleurs se continuer en avant vers la fente du dorsum en restant plus (généralement) ou moins (Porte-aiguillons) soudée au bord latéral postérieur du dorsum. Ici les traces mêmes d'une différenciation ou d'une soudure ne sont pas visibles ; la fente dorsale n'existe pas : elle est remplacée par une cavité fixe creusée dans le bord latéral antérieur. Elle est destinée à recevoir la convexité du sigmoïde, pendant que son bord inférieur est articulé en charnière avec cet osselet.

Le bord antérieur se prolonge intérieurement par une palette généralement échancrée (antédorsum).

Le bord latéral antérieur se prolonge par une apophyse plus ou moins élargie, analogue à la palette latérale de l'antédorsum des Orthoptères.

Métanotum. — Prenons d'abord un Dytique ou un Cicindèle ; ces genres nous serviront de transition entre les Orthoptères et les autres types de Coléoptères.

Le métanotum du Dytiscus est une pièce quadrilatère deux fois plus allongée dans le sens transversal que dans le sens longitudinal. Notons en passant qu'une telle disproportion est une condition désavantageuse pour le vol : *Les Insectes bien volants ont le diamètre longitudinal du notum plus long que le transversal.*

Le bord antérieur présente en son milieu une échancrure comblée par une palette de chitine claire (antédorsum) ; cette palette est formée d'une partie supérieure divisée en deux par une crête verticale, et de deux parties inférieures, à bord inférieur arrondi, séparées de la supérieure par une petite crête transversale. Cette palette est intrathoracique ; la réunion du méso- et du métanotum a lieu immédiatement au-dessus par une membrane résistante qui unit les bords de l'échancrure au postdorsum. Outre l'échancrure médiane, on en remarque une autre, à l'extrémité externe, portant une cupule caliciforme ; celle-ci correspond à la palette latérale des Orthoptères.

L'angle antérieur est aigu ; le bord latéral antérieur s'articule en charnière tout le long du sigmoïde. Immédiatement à la suite nous rencontrons une fente, dont la position n'est plus comparable à celle des fentes observées jusqu'ici (du moins au mésonotum des Térébrants, Hémiptères, etc., chez lesquels le sigmoïde était à cheval sur les deux bords de la fente). La fente dorsale des Dytiques communique avec le golfe postérieur, plus particulièrement avec l'espace qui est limité en dehors par le dorso-terminal et le tampon.

Avec cette fente nous commençons le bord latéral postérieur. Il délimite en dehors la dépression postdorsale du métanotum et s'articule mollement, par l'intermédiaire d'une lame flexible (dorso-terminal), avec le terminal et l'arcade postérieure.

Cette dépression triangulaire est limitée en avant par un sillon, qui, d'abord concave en avant et en dedans, monte ensuite jusqu'à la rencontre de son symétrique sur la ligne médiane, et forme avec lui une ligne concave en arrière. Ce sillon part de la fente dorsale. La limite postérieure de la dépression est formée par le bord postérieur du postdorsum, qui s'articule avec la crête postpleurale.

Le postdorsum est mollement réuni au tergum abdominal. Il est soudé inférieurement à une bande verticale intrathoracique (subpostdorsum), terminée inférieurement par une palette étroite à quatre limbes en feston.

La face supérieure du métanotum présente une dépression longitudinale triangulaire, destinée à loger la saillie du mésonotum. La face inférieure de cette dépression forme une saillie où aboutissent quatre crêtes, deux antérieures tournées vers l'arrière, se terminant à l'origine du sillon précité postdorsal, et deux postérieures (entodorsum) allant au point d'inflexion de ce sillon. Si on considère, en outre, l'incurvation vers le bas des bords antérieur et latéral-antérieur, nous pouvons diviser la face inférieure du métanotum en sept cavités ou fosses.

Au point de vue mécanique, le métanotum présente une

certaine flexion en avant du carrefour des quatre crêtes et au niveau de la fente. On peut donc schématiser le métanotum des Coléoptères par une figure assez semblable à celles des Orthoptères, un X croisé d'un double T. On peut se figurer les branches de cette figure comme des arcs concaves inférieurement, élastiques ; le crochet du T correspondrait à l'articulation du sigmoïde.

Une différence entre les deux ordres consiste dans le mode d'union du postpleuron et du postdorsum. C'est une soudure chez les Orthoptères et une symphyse chez les Coléoptères ; la différence n'est pas très grande au point de vue mécanique. Dans les deux cas, l'articulation ne permet pas de mouvement dans le sens antéro-postérieur.

On passe facilement du Dytique aux autres genres. Si nous prenons un type fort éloigné, les Longicornes, par exemple, nous observons des dimensions différentes. Les palettes antédorsales ont beaucoup plus de superficie, et leur distance dépasse celle qui sépare le sigmoïde droit du gauche, ce qui est une condition plus avantageuse pour le vol. La crête transversale antérieure du dorsum est fort réduite, et la ligne de flexion transversale du dorsum est portée plus en avant. Elle est représentée par une membrane molle qui sépare l'antédorsum du dorsum.

La palette externe du subpostdorsum est représentée par une longue apophyse.

MUSCLES DU VOL.

Muscles de l'élytre. — *Dorsal* (rétracteur de l'écusson Str.). — C'est un petit muscle longitudinal qui occupe sur la face inférieure du mésonotum une position analogue à celle des Orthoptères, allant de l'antédorsum du métanotum à celui du mésonotum.

Il est impuissant à courber le mésonotum ; mais il peut le tirer en arrière.

Sternal-dorsaux. — Il y a deux sternal-dorsaux :

ARTICLE N° 2.

1. Le sternali-dorsal antérieur (abaisseur de l'écusson Str.) s'insère en bas, à l'union du mésopleuron et du mésosternum, en haut, sur la face inférieure latérale du mésonotum.

2. Le sternali-dorsal postérieur, dont je ne vois pas la description chez Strauss, s'insère en bas sur l'angle externe de la hanche, en haut sur l'apophyse subpostdorsale.

Abaissent le mésonotum.

Axillaires. — 1. *Préaxillaire* (extenseur de l'élytre Str.). Ce muscle va de l'osselet de pronation à la partie postérieure de la hanche, du côté de l'extrémité externe.

2. *Muscle du tampon* (adducteur de l'élytre). Ce muscle présente deux chefs inférieurs sur l'antépleuron. Ils s'insèrent en haut sur l'osselet situé en avant du terminal, qui, par suite d'une telle insertion, ne peut être que le proterminal ou tampon.

Ce muscle, d'après Strauss, fait tourner l'élytre en dedans sur lui-même. Nous ne reviendrons pas sur l'action beaucoup plus complexe de ce muscle, mais qui, ici, n'a pas grande importance, étant donné le degré de rigidité de cette aile.

3. *Postaxillaire.* Va du postpleuron à la cupule subterminale.

Muscles de l'aile postérieure. — *Dorsal.* — Muscle longitudinal, allant de la palette médiane du subpostdorsum et de la partie médiane du dorsum à la palette médiane de l'antédorsum.

Latéro-dorsal. — Muscle allant de la palette latérale du subpostdorsum à la zone latérale postérieure du dorsum.

Sternal-dorsaux. — 1^{er} sternali-dorsal. Muscle allant de l'antésternum, à côté de l'entosternum, à la face inférieure latérale de l'antédorsum.

2^e sternali-dorsal. Muscle allant du sternum à la base de l'apophyse métasternale, à la moitié antérieure latérale du scutum.

Un des faisceaux de ce même muscle se différencie inférieurement par un long tendon qui vient s'insérer sur l'apophyse métasternale, sur la partie inférieure de la corne.

Axillaires. — 1. *Préaxillaire.* Grand muscle qui s'insère en bas, sur la partie antérieure latérale du métasternum; en bas, sur la grande cupule de l'appareil de pronation.

2. *Dorso-préaxillaire.* Face supérieure de la grande cupule de pronation; bord latéral du dorsum, au niveau de l'articulation du sigmoïde.

3. *Entopleuro-dorsal.* Petit muscle s'insérant en arrière et en bas sur l'apophyse postérieure de l'alifère, en avant et en dedans dans une dépression cupuloïde du bord latéral antérieur de l'antédorsum.

4. *Muscles du tampon.*

Tampon.

Partie supérieure de l'antépleure, en dehors et en dessus de la grande cupule antérieure. Son tendon contourne la tête alifère.

5. *Muscle postaxillaire.* Ce muscle va du bord antérieur de l'ouverture pédieuse à la cupule subterminale.

VII. — DIPTÈRES ¹.

Nous terminons la série des Insectes par un type diamétralement opposé au précédent. C'est le métathorax qui prédominait et absorbait les fonctions du vol chez les Coléoptères;

(1) Chabrier a donné une description par trop sommaire de cet ordre, ainsi que des Hémiptères, Orthoptères et Lépidoptères.

Parmi les ouvrages plus récents, nous avons lu :

Th. Lowne, *The anatomy and physiology of the Blow-Fly (Musca potnitoria)*, 1870).

Künckel d'Hercule, *Organisation et développement des Volucelles*. Paris, 1875.

Hammond, *On the thorax of the Blow-Fly (Linn. Journ. Zoology, vol. XV)*.

L'ouvrage de M. Künckel renferme de nombreux documents historiques. La charpente du squelette et les muscles y sont décrits d'une façon beaucoup plus complète que chez Chabrier.

ici, c'est le mésothorax, et à tel point que les ailes postérieures ont disparu, pour faire place aux petites tiges nommées balanciers. La comparaison entre les deux ordres serait bien difficile, si nous n'avions des intermédiaires déjà connus (Hémiptères, Hyménoptères, Névroptères, Orthoptères).

AILES.

L'aile des Diptères se rapproche par la consistance de l'aile des Hyménoptères. Cependant sa membrane est plus souple et ses nervures plus fines.

Le bord antérieur est formé par un faisceau de trois nervures, antérieure, subantérieure et médiane. La nervure antérieure débute à la base par une partie massive, figurant, par son bord antérieur, une espèce d'éperon. Il faut se garder de confondre cet éperon avec celui de l'aile postérieure de certains Sphingides. L'éperon du Sphinx est un vestige de nervure antérieure, tandis que l'éperon des Diptères est l'analogue de la nervure proantérieure (Comparer avec la saillie antéro-externe du quadrilatère antérieur des Hémiptères). La base de cet éperon s'appuie sur l'appareil de pronation; sa pointe est libre, séparée du reste du bord antérieur de l'aile par un espace mou, où celle-ci peut accomplir sa rotation longitudinale.

Immédiatement en dehors de ce point, le bord antérieur présente un rebord inférieur d'abord assez large, mais qui s'atténue rapidement et se fond avec le reste de la nervure antérieure. Elle forme, à ce niveau, une légère concavité en avant, et finit par une extrémité de plus en plus effilée; convexe en arrière.

En arrière de la nervure antérieure, nous tombons dans une dépression longitudinale diédrique, dont le fond est occupé par la nervure subantérieure, et la marge postérieure par la nervure médiane. La nervure subantérieure se fond dans le tiers externe avec la nervure antérieure. En dedans, elle se rapproche de plus en plus de la nervure médiane, et se

termine à la base de l'aile par un renflement conique, à base terminale. Cette base est concave et forme une cavité articulaire pour le pivot mobile. Ce renflement peut être considéré comme la face inférieure de la tubérosité antérieure des Hémiptères, Lépidoptères.

La *nervure médiane* se fond vers son extrémité centrifuge avec la nervure antérieure, un peu au-dessus de l'accolement de la nervure subantérieure. Il en est ainsi chez les Muscides, les Volucelles. Chez les Tipulides, il y a plutôt fusion qu'accolement. La terminaison basilaire s'unit à une masse que nous analyserons bientôt.

En arrière de la nervure médiane, nous sommes sur le plan postérieur; il est formé, comme ailleurs, par une nervure postérieure et un certain nombre de nervures intermédiaires, dont une seule atteint la base : la nervure submédiane s'articule avec le rétro-médian.

Le *rétro-médian* est formé par un exhaussement chitineux, convexe en haut, difficile à bien limiter, articulé en avant avec la nervure médiane et la masse centrale, en arrière avec la base de la nervure postérieure. Son articulation avec la nervure submédiane est très lâche; car celle-ci s'effile de plus à sa base, et meurt en pointe à l'entrée de la dépression submédiane.

La *nervure postérieure* débute à la base par une tête renflée, claviforme; la corne antérieure de cette tête roule en bas sur le rétro-médian et en haut sur la nervure médiane, justement au niveau de la pointe terminale de la nervure submédiane. Ce rapprochement à la base des nervures médiane et postérieure s'observe presque avec les mêmes caractères chez les Hémiptères et les Porte-aiguillons. La corne postérieure s'articule avec le terminal. La nervure postérieure va en diminuant d'épaisseur vers son extrémité centrifuge; sa direction fait un angle de 45 degrés environ avec la nervure antérieure. Sa longueur varie entre le quart et la moitié de celle-ci. Son bord antérieur est flexible sur le plan des nervures intermédiaires, issues de la nervure submédiane. Son bord postérieur donne

insertion à un voile de formes diverses, mais entièrement analogue aux voiles des autres ordres.

Ainsi le *voile* se compose ici comme ailleurs de deux portions continues, l'une attachée à la base du bord postérieur, au niveau du terminal, l'autre qui suit le dorso-terminal. Cette dernière est généralement peu développée, car elle est immédiatement suivie de la base du versant antérieur de l'aile postérieure. Cette aile manque chez les Diptères; de là le grand développement de la portion dorso-pleurale, si caractéristique chez les Brachycères. Les Némocères font exception, ce qui rend leur équilibre plus instable.

J'ai peu insisté sur les nervures intermédiaires malgré et à cause même de leur importance en classification. Je recherche surtout des facteurs constants qui me permettent de comparer et de généraliser. Ainsi, chez tous les Diptères, nous pouvons schématiser l'ensemble des nervures intermédiaires par un fuseau élastique, intercalé entre les nervures médiane et postérieure. Il est étroitement relié à la base avec la nervure médiane, grâce surtout à une forte commissure transversale en zigzag, la *commissure de torsion*, qui se prolonge même en avant entre les nervures antérieure et médiane.

Ce prolongement à part, on voit que la charpente du fuseau se réduit à une fourche multifide, soudée à la nervure médiane par la base de sa branche antérieure, et articulée avec l'extrémité effilée de la nervure postérieure par sa branche postérieure. J'ai dit d'une part soudée, de l'autre articulée. Cela ne signifie pas que la soudure soit absolument rigide; mais il y a bien moins de jeu qu'en arrière, et dans la décomposition des pièces de l'aile, on ne peut séparer la fourche en question des nervures antérieure, subantérieure et médiane. Elle forme avec celles-ci une pièce unique continue.

Le manche de la fourche est la nervure submédiane; son rôle mécanique est ici un rôle de soutien pour le sommet du fuseau. Mais on conçoit très bien que ce manche peut manquer; il suffisait que le sommet tout entier du fuseau fût régulièrement épaissi, ce qui est presque le cas chez les Hémiptères.

Chez ces derniers, le manche est inappréciable ; il suffit mécaniquement que la région submédiane soit assez consistante pour déterminer une arête fixe de plissement (Comparer avec le livre de la *Locustide*).

Un autre facteur général, c'est la *sinussoïde* centrifuge de glissement ou d'échappement de l'extrémité de l'aile. C'est une zone concave en dehors et en arrière, passant par le point d'accolement des nervures médiane et antérieure, et par les extrémités externes des cellules basilaire antérieure, basilaire postérieure et anale. L'aile se plisse suivant cette zone sinussoïde toutes les fois qu'à ce niveau elle subit une pression sur la face supérieure.

Nous avons décrit la pièce alaire proprement dite, celle que nous avons arrachée chez les Coléoptères, et qui malgré une structure et un facies si différents, lui est comparable par des facteurs importants (courbure générale du bord antérieur, commissure de torsion, sinussoïde de flexion). Voyons les attaches de cette portion avec le thorax.

La masse centrale est décomposable en deux pièces triangulaires, l'une interne (sigmoïde), roulant sur le métanotum, l'autre externe (submédian), roulant sur la face postérieure de l'alifère.

La pièce interne ou *sigmoïde* a une partie antérieure plus grêle courbée en dehors et une partie postérieure plus volumineuse. Le bord externe de cet osselet est sigmoïdal. On peut donc comme toujours lui considérer deux apophyses : 1° une apophyse antérieure, grêle, arrondie, s'articulant en avant avec la terminaison de la nervure antérieure, qui vient butter contre sa face antérieure, en arrière avec la terminaison de la nervure médiane ; 2° une postérieure, massive, anguleuse, s'intercalant entre le submédian et le terminal. Entre les deux apophyses s'articule le submédian ; en arrière de l'apophyse postérieure, nous avons le bord postérieur du sigmoïde, bord libre et réuni au terminal par une membrane molle.

Le bord interne du sigmoïde tourne sur le mésonotum au-

tour d'un axe voisin de la verticale, oblique de bas en haut et en avant.

La pièce externe ou le *submédian* est la vraie pièce centrale du golfe postérieur. Elle s'articule avec la concavité du bord externe du sigmoïde, avec la racine subantérieure (apophyse inférieure de la tubérosité antérieure des Hémiptères), avec le tampon et le rétro-médian. Le submédian fait le pendant de la racine subantérieure : pendant que celle-ci roule par une cavité sur le pivot mobile, le submédian roule par un condyle dans une gondole postérieure du pivot fixe ou alifère. Il est mollement lié au rétro-médian, intimement uni au sigmoïde et à l'apophyse subantérieure. Cette dernière union n'est pas absolument rigide ; elle conserve un peu de jeu et de souplesse.

Le *terminal* se rapproche beaucoup par sa forme de celui des Lépidoptères et Coléoptères. C'est une pièce concave par sa face inférieure, allongée et verticale au repos. Son extrémité supérieure s'articule avec l'arcade postérieure, c'est-à-dire avec la tête claviforme de la nervure postérieure. Son extrémité inférieure est bifurquée : 1° la branche antérieure est rattachée au sigmoïde par la membrane molle de la dépression postérieure. C'est le *tampon* ou *proterminal* ; 2° la branche postérieure s'articule avec le dorso-terminal, à l'union du dorso-terminal et du pleuro-terminal.

Le *dorso-terminal* est une pièce bien développée chez les Diptères ; nous l'avons à peu près partout rencontrée, mais bien individualisée seulement chez les Hémiptères et Porte-aiguillons. Elle a la forme d'une cheville dont la queue serait fixée dans l'angle de séparation du podorsum et du subpodorsum (comparer pour la forme et la position avec le *vectiforme* des Porte-aiguillons). La tête massive est creusée d'une gorge qui chevauche sur le pleuro-terminal. On peut considérer deux apophyses à cette tête : l'apophyse supérieure qui s'articule avec le terminal ; l'apophyse inférieure qui donne insertion à un puissant muscle, le postaxillaire.

Le *pleuro-terminal* est une pièce quadrilatère allongée horizontalement, complètement soudée à la face postérieure de

l'alifère par son bord antérieur. Son angle postéro-inférieur se prolonge effilé, parallèlement et très près du bord supérieur postpleural : cette pointe est liée à ce bord et à la cheville dorso-terminale par une membrane résistante. Sa face externe présente d'arrière en avant une dépression, puis une éminence. La dépression est destinée à loger la gorge du dorso-terminal.

Ajoutons que la pointe postérieure du pleuro-terminal se termine par un bouquet de poils. Chabrier a entrevu cette pièce sans y attacher d'importance ; il a surtout été frappé par le bouquet de poils qu'il compare aux plumes des ailes des Oiseaux de paradis.

M. Künckel, qui a revu cette pièce, croit qu'elle ne sert à rien. Elle lui sert cependant à faire avec les Lépidoptères un rapprochement ou plutôt une différence un peu risquée. Cette pièce serait comparable aux paraptères qui recouvrent la base supérieure de l'aile [des Lépidoptères ; seulement chez les Diptères ils seraient placés au-dessous. Nous ne saurions souscrire à une telle opinion. L'écaille des Lépidoptères est une pièce de protection pour la base supérieure de l'aile, et qui a ses analogues dans toute la série sous des formes diverses (écailles des Hyménoptères, apophyses du prothorax des Hémiptères, écaille des Diptères, etc.).

Le pleuro-terminal n'a d'analogue bien évident que chez les Hémiptères. C'est une pièce qui, ainsi que le dorso-terminal, sert à la fois de guide et de soutien à l'apophyse inférieure du terminal. C'est un renforcement, une sorte de sésamoïde jetée dans la membrane du golfe postérieur.

Nous avons observé un renforcement du même ordre chez les Coléoptères ; et, d'autre part, l'énorme cupule subterminale des Lépidoptères s'appuie sur le bord postérieur de l'alifère. Il semble donc que ce guide inférieur du terminal, observé dans des types si différents, soit une nécessité du vol ; car lorsqu'il manque (Porte-aiguillon), il est remplacé par une rigole du bord supérieur pleural, dans laquelle glisse le terminal.

C'est à tort aussi que M. Künckel compare le dorso-terminal au naviculaire de Jurine (équerre Chab.). Le naviculaire est une pièce constante dans la série ; il donne toujours insertion à un moteur des plus importants pour la formation de notre surface gauche, au muscle du tampon ; la pièce elle-même est le tampon ou proterminal. Quant au dorso-terminal, il serait plutôt l'analogue du vectiforme, dont il a les rapports et la forme.

Nous décrirons l'écaille des Diptères, à propos de l'appareil de pronation.

THORAX.

Le thorax des Diptères a, comme celui des Sphingides et des Hyménoptères, une forme ellipsoïdale, à axe longitudinal plus ou moins allongé. Il est, par exemple, ramassé chez les Brachycères (*Musca*, Volucelle), allongé et déprimé latéralement chez les Némocères (*Culex*, *Tipula*). Cette forme plus ou moins arrondie coïncide avec une concentration plus ou moins accentuée des diverses parties du thorax. Cette concentration acquiert son plus haut degré chez les Diptères. Le notum et le pleuro-sternum paraissent formés chacun d'une pièce unique. Mais, malgré les difficultés de la dissection, chaque pièce peut se décrire avec des divisions aussi précises que dans les autres groupes.

Prothorax. — Ce segment présente de grandes analogies et ressemblances avec celui des Porte-aiguillons : il forme, en arrière, le cercle d'entrée dans le thorax : c'est lui qui assure l'union des antépleures et de l'antédorsum.

La charpente du prothorax est formée par une large crête, qui part de la partie antérieure du sternum, de chaque côté de la ligne médiane, et monte vers le pronotum en décrivant une courbe concave en dedans. Sa partie inférieure la plus large est jetée comme un pont sur l'ouverture sternale de la première paire de pattes. Il y a donc une certaine similitude de direction et de rapports entre cette crête et l'entopleuron

des autres segments thoraciques. Nous pouvons, dans tous les cas, décrire un segment situé en avant de cette crête, et un segment situé en arrière.

Le *segment antérieur* forme une sorte de faux-col, et, au lieu d'un nœud de cravate, plaçons-y les pattes thoraciques. La moitié supérieure ou pronotale du segment est soudée en arrière et en haut à l'union de l'antédorsum et du dorsum; en arrière et en bas, il est limité par la crête entopleurale. En avant, une membrane molle l'unit à la tête. Il y a, en outre, deux grandes écailles triangulaires (1), mobiles par un côté, sur les pointes du faux-col. Elles sont séparées par trois petites écailles, dont deux antérieures et une médio-postérieure.

La moitié inférieure du segment antérieur forme, en arrière, le bord antérieur des ouvertures pédieuses; elle est sur la ligne médiane séparée de sa symétrique par le prosternum avec lequel elle est soudée. En avant, une membrane molle le sépare des grandes écailles ou condyles.

Le *segment postérieur* est nettement limité en avant par la crête médiane : sa face externe présente deux sillons transversaux; au sillon supérieur correspond une crête sur la face interne; au sillon inférieur, une simple arête de rebroussement. De là trois lobes : le lobe supérieur est fortement convexe, s'enfonce comme un coin entre l'antépleuron et le dorsum. Cette saillie du prothorax est comparable à celle (opercule Chab.) des Hyménoptères. La partie inférieure de ce lobe porte un lobe.

Les lobes moyen et inférieur sont séparés du mésopleuron par un sillon sinueux auquel correspond une arête de rebroussement. Le lobe inférieur est fondu avec le prosternum; il forme le bord postérieur des ouvertures pédieuses.

Le *prosternum* est une espèce de coin cordiforme, à pointe postérieure; sa base est mollement liée aux condyles.

En somme, le prothorax, vu dans son ensemble, forme une espèce de collier analogue à celui des Porte-aiguillons; seule-

(1) Condyles de Lowne, *loc. cit.*

ment son union avec le mésothorax est plus forte chez les Diptères que chez ces derniers.

Méso- et Métapleurosternum. — Cette pièce, débarrassée du notum et de l'abdomen, a la forme d'une gouttière percée latéralement en avant de deux trous, pour l'insertion des pattes mésothoraciques; nous avons, en outre, huit échancrures sur les bords postérieur et supérieur, c'est-à-dire quatre à droite et quatre à gauche : échancrure de la hanche métathoracique, celle du balancier, celle du golfe postérieur de l'aile, celle du golfe antérieur.

Cette gouttière présente de nombreux sillons, auxquels correspondent, sur la face interne, soit des crêtes, soit simplement des arêtes de rebroussement.

Le sillon de l'entopleure a une forme et une direction spéciales, qui n'ont d'analogues que chez les Hémiptères. Ce sillon part verticalement du sommet externe du cercle pédieux, s'infléchit horizontalement en avant, se coude ensuite à 90 degrés pour remonter verticalement, s'infléchit en arrière et se réunit finalement avec un autre sillon ou sillon de renforcement pour former l'alifère.

A ces diverses parties du sillon correspondent en dedans : 1° à la portion horizontale, une forte apophyse, l'apophyse *pédio-pleurale*; 2° à la portion verticale, une crête, d'abord très large à son union avec l'apophyse; elle s'unit en haut avec une arête de rebroussement, correspondant au sillon de renforcement. Cette arête débute un peu au-dessus de l'angle externe de l'ouverture pédieuse mésothoracique, et délimite ainsi, avec le bord libre de la crête précédente, l'entrée d'une grande fosse, comprise entre l'entopleure et le postpleure (comparer avec la fosse correspondante des Lépidoptères, Hémiptères). Les deux premières parties constituent l'entopleure proprement dit.

Cette crête étant bien définie, nous pouvons décrire, comme partout ailleurs, un antépleure et un postpleure.

L'*antépleuron* a une forme lenticulaire. Il est séparé du

propleuron par un sillon sinueux, qui part de la portion horizontale du sillon entopleural et monte jusqu'au niveau du notum. La portion inférieure de ce sillon est marquée en dedans par une crête qui se jette sur le versant antérieur de l'entopleure. La partie la plus originale de cet antépleure est sa partie postérieure; elle est séparée de l'entopleure par une fente qui monte en s'élargissant et supporte finalement l'appareil de pronation. Nous n'avons, jusqu'à présent, observé une telle fente, la *fente antépleurale*, que chez les Hémiptères; seulement, chez ceux-ci, elle est plus éloignée de l'antépleure. Le facies de l'appareil pronateur est tout différent chez les Lépidoptères et Hyménoptères, bien qu'on puisse en déduire un schéma mécanique à peu près pareil.

Le *mésosternum* présente, sur la ligne médiane longitudinale, une crête qui porte à sa partie supérieure une paire d'apophyses en forme de coupe pédicellée, située au-dessous et parallèlement à l'apophyse pédio-pleurale. C'est l'*entosternum* et ses apophyses. Cette crête sépare la paire de cercles pédieux mésothoraciques sous forme d'un pont étroit. Elle se termine immédiatement sur la zone étroite qui constitue la portion interne du bord postérieur de l'ouverture pédieuse.

Cette zone est limitée transversalement par un sillon (sur la face externe), qui monte ensuite, en arrière et en haut, jusqu'au sommet externe de l'échancrure pédieuse métathoracique. Le sillon de l'entosternum mésothoracique se continue en arrière par un autre sillon très court. Si l'on joint l'extrémité postérieure de celui-ci avec l'extrémité externe du sillon transversal, on obtient un triangle allongé, chitineux, qui, réuni avec son symétrique, forme le seul reste du *métasternum*.

Cette partie restante représente surtout l'antémétasternum, c'est-à-dire la partie située en avant des ouvertures pédieuses, la seule qui ait quelque constance et consistance dans la série. L'ouverture pédieuse métathoracique, ici comme chez les Orthoptères, Coléoptères, Hyménoptères, etc., se réduit à une échancrure. Une membrane molle réunit l'échancrure à sa symétrique et à l'abdomen; les hanches sont jetées dans la

membrane et roulent par leur bord antérieur sur chaque échancrure.

Nous avons décrit tout le plancher sternal pour faciliter la délimitation des autres segments pleuraux, qui n'est pas exempte de difficultés. Remontons sur les flancs du thorax, en partant de l'extrémité externe de l'échancrure métasternale.

Nous voyons deux crêtes en partir verticalement, ne laissant entre elles qu'une zone très étroite. Cette zone est tout ce qui nous reste du *métapleuron*. La crête antérieure contourne le bord postérieur d'un volumineux stigmat, se soude à la face postérieure de la palette, et finalement se fusionne avec la crête postérieure, pour entrer dans la constitution d'un *cercle rigide postérieur* analogue à celui des Hémiptères.

La crête postérieure forme, avant cette fusion, une dilatation en forme d'oreille qui délimite en avant la fosse d'insertion du balancier; elle se continue ensuite sur la face postérieure du subpodorsum, ou plutôt à l'union de celui-ci et du podorsum. Nous reviendrons sur ces détails dans la description des pièces dorsales.

Nous avons vu jusqu'à présent, chez les Insectes à ailes postérieures réduites, le métathorax diminuer graduellement de volume. Cette réduction portait sur le milieu métanotal; nous la verrons à son comble chez les Diptères.

Le postpleuron du métathorax forme un quadrilatère nettement délimité; il est borné en avant par la crête de l'entopleure, en bas par une crête qui part de l'apophyse pédio-pleurale, en arrière par une large crête semblable à celle de l'entopleure. Son bord supérieur forme la rive du golfe postérieur; son angle postéro-supérieur fait corps avec le postdorsum.

L'*alifère* est formée par l'union de l'entopleure et de la crête de renforcement. Les détails de l'articulation pleuro-alaire, en ajoutant à l'alifère le système de pronation et du pleuro-terminal, méritent une attention spéciale; cet ensemble est un modèle de force et de souplesse.

Je schématiserai l'alifère par une lame triangulaire solide-

ment assise par sa base sur le bord supérieur du mésopleuron. Elle est tordue verticalement de gauche à droite. Son côté antérieur est uni à l'appareil de pronation; son côté postérieur: 1° est soudé en bas avec le processus pleuro-terminal; 2° il présente en haut un condyle au voisinage du sommet. Entre le condyle et le sommet s'articule le submédian; le sommet forme une petite tubérosité roulant dans la cavité qui sépare la racine subantérieure du submédian.

L'appareil de pronation se compose de six pièces :

1. Une petite boule pédicellée, dont le pédicelle roule entre l'alifère et les deux pièces suivantes.

2. Une lame en forme de virgule, dont la tête tournerait en charnière autour de la partie supérieure du bord antérieur de l'alifère, et dont la queue serait soudée au restant de ce bord.

3. Une lame triangulaire allongée, articulée par son petit côté avec le bord convexe de la virgule, et soudée par toute la région du sommet allongé avec la pièce suivante.

4. Une autre lame triangulaire allongée, fixée par sa base dans une baie du bord supérieur de l'antépleure. Son sommet allongé est soudé à celui de la pièce 3 et forme avec elle une apophyse styloïde verticale, intrathoracique, courbée en avant et en dehors.

Les pièces 3 et 4 forment l'entrée de la fente antépleure.

5. Le bord supérieur de l'antépleuron avec la fente antépleurale.

6. L'écaille, c'est une sorte de sésamoïde élastique, mais peu consistant, qui forme l'entrée du golfe antérieur. Il est mollement relié aux bases des pièces 3 et 4, ainsi qu'au cap antérieur de la fente dorsale, et au bord interne de la tubérosité antérieure. Son union est un peu plus serrée sur la partie supérieure interne de l'éperon. L'écaille a une forme de triangle sphérique appliqué par un de ses côtés sur la racine de la nervure antérieure, l'aile étant repliée. Si l'on pousse l'aile en avant, ce côté s'éloigne de la racine; l'écaille tout entière se tend comme un arc et emmagasine une force de réaction de sens contraire.

Malgré cette complication de pièces, le mécanisme de l'appareil de pronation est facile à observer. Tirons l'apophyse styloïde en avant et en dehors, la lame 3 transmet ce mouvement aux pièces 2 et 1. Finalement le pivot mobile (boule de 1) se porte en avant et en dedans. La fente antépleurale se ferme au maximum de cette traction; l'antépleuron et l'écaille sont violentés dans cette position. Tout l'appareil est tendu comme un ressort prêt à repousser la boule dans sa position primitive. Nous n'avons pas encore vu de mécanisme aussi perfectionné pour porter l'aile en avant. Il dénote que l'Insecte ainsi bâti doit avoir une grande résistance à vaincre, des battements très nombreux à produire.

NOTUM.

Le notum se compose d'une partie prothoracique ou pronotum (l'arc supérieur du collier), d'un antédorsum, dorsum, podorsum et subpodorsum, mésodorsum et d'une partie métadorsum très réduite. L'antédorsum et le subpodorsum sont intrathoraciques; comme le collier est très étroit, il nous reste comme éléments dominants de la surface dorsale le dorsum et le podorsum. Le contour apparent de ces deux pièces figure une méridienne d'œuf, à grosse extrémité en avant, attachée à l'aile par son milieu.

Le dorsum occupe les trois quarts antérieurs du notum. Sa surface est régulièrement convexe sur la ligne médiane, mais ses bords sont encore plus accidentés que dans les autres ordres.

Nous avons déjà vu que l'on pénètre dans la cage par un collier prothoracique, sur le bord supérieur duquel se soude le dorsum. On voit, à partir de cette soudure, descendre verticalement une petite palette trapézoïde à petite base inférieure, l'antédorsum. De chaque sommet de la base part une tige qui se dirige en arrière et en dehors jusqu'à l'articulation antépleuro-dorsale. La zone que soutient cette tige affecte la forme d'un cercle dont cette tige serait le diamètre. Cette zone est en

chitine assez tendre, assez souple; cette consistance est liée aux fonctions de la partie antérieure du dorsum.

L'articulation antépleuro-dorsale consiste en un léger condyle de l'antépleure, coiffé par une cavité du bord mésonotal. Ce bord se continue alors en ligne droite jusqu'au sommet de l'antépleuron, après lequel commencent les rapports avec l'aile.

Elle forme d'abord la rive dorsale du golfe antérieur. Cette rive reçoit un sillon transversal qui prend son origine vers le milieu du mésonotum et se termine latéralement par une apophyse intrathoracique. Elle est en outre mollement réunie à l'apophyse antépleurale, à la lame de pronation et à l'écaille.

Les rapports vont devenir plus étroits; nous sommes au cap antérieur d'une fente dorsale. En avant du cap antérieur s'insère l'écaille; en arrière s'étend le sigmoïde, à cheval sur la fente et sur l'extrémité du cap postérieur.

De l'articulation antépleuro-dorsale au cap postérieur, le bord dorsal se dirigeait en dehors; à partir du cap postérieur, il se dirige en dedans jusqu'à l'articulation postpleuro-dorsale, et constitue tout le long de ce trajet le rivage dorsal du golfe postérieur. Ce golfe a déjà été étudié; nous savons qu'il est occupé par les osselets terminal et submédian, et que ces osselets y sont suspendus sur deux ligaments chitineux se rendant, l'un au rivage pleural, l'autre à l'extrémité du sillon qui sépare le dorsum du podorsum.

A ce niveau aboutit un autre sillon, un sillon postérieur, à plan horizontal concave vers l'avant. La partie du dorsum comprise entre ces deux sillons proémine fortement en arrière, de manière à former, vue de dedans, une sorte de poche hémipsoïdale dont les sillons formeraient les bords. Ces sillons sont, l'antérieur celui de l'entodorsum, le postérieur celui qui sépare le podorsum du subpodorsum.

Le subpodorsum se compose de deux parties: une partie extrathoracique concave en avant, et une partie intrathoracique plus considérable, hémisphérique, descendant très bas à 1-2 millimètres des parois sternales. Son bord inférieur est re-

courbé vers l'avant et très légèrement échancré. Ces deux parties sont séparées par la partie *métanotale* du cercle postérieur; c'est en effet au niveau de leur union qu'est soudé un anneau chitineux se continuant avec le métapleuron. Cet anneau est tout ce qui reste du métanotum.

On est frappé des ressemblances qu'il y a entre le métathorax des Hémiptères et celui des Diptères. Le dorsum métanotal des Hémiptères semble une dépendance du subpodorsum mésothoracique. Quant aux dorsum et subpodorsum métanotaux, ils sont, comme chez les Diptères, réduits à un arc de chitine à concavité inférieure, soudé en avant au bord supérieur du subpodorsum mésonotal, et par ses extrémités latérales avec la crête postérieure du métapleuron.

En résumé, le notum des Diptères se rapproche de celui des Sphingides et Hyménoptères par la forme générale, les rapports géométriques; mais c'est avec les Hémiptères qu'il peut le mieux se comparer pour les détails. Nous avons fait la même remarque à propos du pleurosternum. Il en résulte que la machine à vol des Diptères est bâtie sur le même plan que celle des Hémiptères, mais avec de nombreux perfectionnements pour la souplesse, l'élasticité et la puissance. Nous avons vu, par exemple, la complication des appareils de pronation et de supination; nous pourrions encore citer la fente dorsale comme type de perfectionnement.

Nous avons vu qu'à l'ouverture de la fente chevauchait le sigmoïde, voici comment : le cap antérieur de la fente forme un crochet recourbé en arrière, en haut et en dedans; l'extrémité antérieure du sigmoïde en forme un autre de sens contraire; l'extrémité postérieure du sigmoïde roule en charnière sur le cap postérieur de la fente. Les deux crochets, par la direction même de leurs courbures, s'embrassent de telle façon que le roulement du sigmoïde en avant fait fermer la fente; le crochet du cap antérieur joue le rôle d'un écrou. Chez les Hémiptères, cette sorte d'écrou était remplacée par la flexibilité de la tête du sigmoïde.

MUSCLES DU VOL.

Je suivrai la même nomenclature que partout ailleurs. J'y suis, du reste, autorisé par les comparaisons qui précèdent sur les pièces du squelette.

Dorsal. — Le muscle droit est accolé à son symétrique sur la ligne médiane. Il va de la face antérieure du subpodorsum à la face inférieure du dorsum. Son insertion antérieure est régulièrement concave en arrière, d'un tiers environ plus longue que l'insertion postérieure; celle-ci forme une courbure sigmoïdale à branche inférieure prédominante.

Lorsque ce muscle entre en action, les cercles thoraciques antérieur et postérieur tiennent bon; la fente dorsale cède, s'élève et se ferme; le sigmoïde roule autour de son axe. Le dorsal est donc le muscle rotateur du sigmoïde.

Cela ne signifie pas que le dorsal abaisse l'aile; la rotation du sigmoïde n'est qu'une phase de l'abaissement. Pour que l'abaissement soit complet, il faut que les préaxillaires interviennent.

Latéro-dorsal. — Muscle oblique-vertical, allant de bas en haut et en avant. S'insère en arrière sur le cercle postérieur, sur la crête postpleurale en avant du balancier, en haut sur le bord latéral postérieur du dorsum, en arrière du deuxième sternali-dorsal.

Il tire en arrière et en bas la partie postéro-latérale du dorsum.

Sternali-dorsaux. — Ce sont des muscles moins inclinés sur l'axe du corps que les précédents; ils sont à 45 degrés environ sur le dorsal. Il y en a deux rapprochés en bas, écartés en haut.

1. En avant, le premier sternali-dorsal, le plus gros, allant du sternum au dorsum; son insertion inférieure occupe la fosse anté sternale sur un espace quadrilatère. Son insertion

supérieure, moins étendue en surface, occupe un espace triangulaire sur la partie antérieure du dorsum, immédiatement en avant de la crête antérieure.

Ce muscle tire en arrière et en bas la moitié latérale-antérieure du dorsal.

2. Le deuxième sternali-dorsal allant de la fosse poststernale à la moitié postérieure du dorsum, un peu en arrière de la crête antérieure.

Il tire en arrière et en bas la partie postérieure du dorsum.

Axillaires. — 1-2. Deux muscles s'insèrent à l'appareil de pronation. Ce sont des *préaxillaires*. L'un d'eux se rend à l'angle antéro-supérieur de l'antépleure, en avant de la crête antépleurale. L'autre est en dehors du précédent, et s'insère en arrière de la même crête, tout le long du bord antérieur de l'antépleuron. Le premier se rend à la face antérieure de l'apophyse styloïde.

Ces deux muscles portent le pivot mobile et par suite l'apophyse subantérieure en avant, en bas et en dedans. Le versant antérieur de l'aile suivra ce mouvement, mais pas nécessairement; car la racine subantérieure peut rouler sur ce pivot mobile, et l'extrémité centrifuge du bord antérieur subir le contre-coup d'autres forces (sternali-dorsaux, résistance de l'air, etc.).

Dans tous les cas il se portera en avant.

3-4. *Muscles du tampon* ou du *proterminal*. — Ces muscles s'insèrent par deux faisceaux sur l'antépleure, de chaque côté de l'origine de la fente; ils se rendent ensuite au proterminal par un fort tendon.

5. *Postaxillaire*. — En haut, sur le condyle inférieur du dorso-terminal, en bas, sur la base de l'apophyse pédio-pleurale.

Ce muscle abaisse le terminal.

6. *Entopleuro-dorsal*. — Petit muscle allant de la face an-

térieure de l'antépleure à une apophyse chondroïde pédicellée qui termine la crête médiane transversale du scutum.

Ce muscle doit jouer un rôle de ligament élastique, servant à brider le dorsum, et à son union avec le pleuron.

7. *Antépleuro-postdorsal*. — Petit muscle s'insérant à la face postérieure de l'apophyse styloïde; il est remarquable par un long et grêle tendon allant dans une dépression de la zone postérieure du dorsum, au-devant de la branche antérieure de l'X. Ce muscle est situé au-devant du précédent et le croise.

Il est spécialement antagoniste du premier préaxillaire, qui par la nature de ses insertions pourrait être dénommé *antépleuro-dorsal*.

IX. — CHÉIROPTÈRES.

La forme générale de l'aile se rapproche de celle des Insectes : un triangle à sommet centrifuge, à base centripète et diédrique. Le bord antérieur de l'aile se compose de trois tiges articulées : un humérus, un radius et le métacarpien du deuxième doigt. Ces os forment la charpente du bord antérieur.

En réalité, le bord antérieur est formé par une membrane qui part de l'épaule, s'insère à la face antérieure de ces os, et se termine à l'extrémité du troisième doigt. Cette membrane est très élastique, surtout dans l'angle radio-huméral. Elle est même contractile à ce niveau comme nous le verrons plus loin.

La courbe formée par le bord antérieur dans son extension est sinusoïdale comme chez la majorité des Insectes, c'est-à-dire qu'à la base, dans l'angle radio-huméral, elle est concave antérieurement, et à l'extrémité elle est convexe; l'ensemble des deux branches de cette sinusoïde est concave inférieurement.

Les Coléoptères et Orthoptères nous offrent un rapprochement curieux à propos de la branche concave. Cette concavité

est formée par le rebord proantérieur, par une partie beaucoup moins dure que le reste du bord antérieur. C'est du reste une nécessité de la torsion, nécessité qui est satisfaite par d'autres moyens chez certains Insectes (*Cicada*, *Æschna*), mais qui chez les Chéiroptères et Oiseaux a fait naître un procédé analogue à celui des Coléoptères.

Il y a chez les Chéiroptères une complication en plus, par suite de la présence d'un muscle dans cette membrane. Il n'y a pas chez les Insectes de muscles logés dans le rebord proantérieur; mais les tenseurs du rebord existent.

Le restant de l'aile est formé par une mince membrane analogue à du caoutchouc (1), entre les deux feuilletts de laquelle se trouvent les doigts. Cette membrane s'étend sur les flancs de l'animal, de manière à augmenter le gouffre axillaire. Chez certaines espèces, elle recouvre les pattes postérieures et même la queue, ce qui augmente considérablement la base de sustentation et la traîne.

Nous allons analyser brièvement cette machine en nous bornant aux faits saillants susceptibles de comparaison.

La cage thoracique de Chéiroptère est une cage de Mammifère, modifiée pour le vol. Le caractère le plus saillant imprimé par le vol est la prédominance, le renforcement des muscles qui portent l'aile en bas et en avant. Ces muscles s'insèrent principalement à la face antérieure de la cage.

Le *sternum* est très développé, long et large; sa partie médiane s'avance en avant sous forme de crête. Les cartilages costaux sont remplacés par de vraies côtes sternales, articulées avec le sternum et les côtes vertébrales, comme chez les Oiseaux. Il en résulte que la colonne vertébrale et le sternum sont réunis par des cerceaux élastiques et solides en même temps.

L'ensemble des cerceaux forme un tronc ovoïde, à petit bout en avant (2). Le cerceau antérieur est le plus court, mais le

(1) Schöbl, *Die Flughaut der Fledermäuse* (*Archiv. für mikrosk. anat.*, vol. V, 1870).

(2) C'est l'inverse qui a lieu, une fois les muscles en place.

plus rigide : car il est plus fort que les autres, et aplati de haut en bas, ce qui assure sa résistance contre les tractions venant d'en haut ou d'en bas. La résistance des cerceaux suivants va en diminuant graduellement en même temps qu'augmente leur élasticité.

La ceinture thoracique antérieure est formée par cet ovoïde et par deux os distincts, l'*omoplate* et la *clavicule*. Une apophyse de l'omoplate, le *précoracoïde* (1), a pris un énorme développement sous l'influence du vol; il donne en effet insertion au biceps, muscle fléchisseur et abaisseur. La clavicule est très forte; son rôle est important : elle sert de lien rigide entre la poignée du sternum et l'angle antéro-supérieur de l'omoplate, entre l'acromion et le sommet de l'épine. Cet angle est la partie la plus épaisse de l'omoplate; elle porte l'articulation scapulo-humérale; le reste de l'os est couvert de masses musculaires venant de la colonne vertébrale, de l'humérus, des côtes ou de l'omoplate elle-même.

En résumé, la ceinture thoracique ne forme pas un cerceau osseux complet, allant du sternum à la colonne vertébrale. La moitié inférieure seule (clavicule) est en continuité avec la cage : l'articulation cléido-sternale ne doit permettre qu'une très légère oscillation autour de l'axe longitudinal du cerceau. Quant aux mouvements de l'articulation cléido-scapulaire, ils sont beaucoup plus faciles, mais néanmoins peu étendus. Car l'omoplate est fortement bridée et maintenue solidement par les muscles scapulo-thoraciques contre les côtes.

En somme, l'articulation scapulo-humérale ne subit que de légères oscillations d'arrière en avant, ou de dehors en dedans, jamais de haut en bas. Même remarque pour le sommet de l'entopleuron, pour l'alifère.

En disant que l'entopleuron des Insectes est analogue à la clavicule des Chéiroptères, je fais une assimilation purement géométrique; les homologues entre des types si différents doivent être cherchées dans d'autres organes que ceux du vol.

(1) J'emploie ici les déterminations de M. Sabatier. Voy. *Comparaisons des ceintures et des membres*, 1880, p. 76.

Nous verrons plus loin que le même rôle sera dévolu chez les Oiseaux, non pas à la clavicule, mais au coracoïde.

Les premiers entomotomistes ont été malheureusement inspirés dans les emprunts faits à l'anatomie des Vertébrés. Chabrier, par exemple, appelle *claviculaire* chez les Bourdons une pièce essentiellement mobile qui facilite la pronation, et omoplate la pièce mobile qui facilite le roulement du versant postérieur de l'aile. Ces deux pièces ont la valeur de deux condyles; tout au plus pourrait-on les comparer aux tubérosités antérieure et postérieure de l'humérus, et encore je me défends de cette assimilation. L'humérus n'a pas d'analogue chez les Insectes.

On remarquera encore que les deux articulations scapulo-humérales sont beaucoup plus indépendantes que chez les Insectes. Elles sont séparées par une pièce rigide longitudinale, tandis que chez les Insectes, nous avons des surfaces élastiques (notum) flexibles généralement dans trois directions perpendiculaires.

L'humérus est un os allongé régulièrement cylindrique, renflé à ses deux bouts, portant chacun une articulation, l'une pour l'omoplate, l'autre pour l'avant-bras.

L'articulation scapulo-humérale n'est pas une enarthrose comme chez l'Homme; c'est une condylarthrose (1). La cavité glénoïde a la forme d'un demi-fuseau sphéroïdal, ouvert sous un angle de 30 degrés environ, à grande courbe (2) ou grand axe parallèle au bord antérieur de l'omoplate. La tête de l'humérus est ellipsoïde à grande courbe dans le même sens que celle de la cavité glénoïde. Les tubérosités antérieure et postérieure limitent les mouvements dans le sens du petit axe. Ces derniers mouvements sont angulaires de 30 degrés et non en charnière, car les deux tubérosités se rejoignent antérieure-

(1) Nous suivons, en général, les dénominations employées dans les traités classiques d'anatomie humaine.

(2) Je n'emploie pas à dessein le mot de courbure; la plus grande dimension d'une surface articulaire peut être une ligne de faible courbure; il y a là deux éléments (la longueur et la courbure) bien distincts et que l'on confond généralement.

ment sous un angle de 60 degrés environ, ne laissant de libre que la partie postérieure.

En d'autres termes, l'articulation scapulo-humérale est disposée de façon à permettre de grands déplacements dans le sens antéro-postérieur, de plus petits dans le sens supéro-inférieur et, en outre, une certaine rotation du bord postérieur de l'humérus autour du bord antérieur.

L'articulation huméro-radiale est une diarthrose en charnière à mouvement hélicoïdal. La spire est dirigée de telle façon que l'axe du radius ne peut, par rapport à celui de l'humérus, ni se fléchir sans descendre, ni s'étendre sans monter. Deux ligaments sont placés aux extrémités de l'axe de la charnière, et maintiennent latéralement la tête du radius.

Quelles sont les relations géométriques de cet axe et de l'articulation scapulo-humérale ? Ici, il faut distinguer. Car nous avons choisi plus haut dans la tête humérale deux axes principaux perpendiculaires entre eux, l'un servant de corde à la direction moyenne de la grande courbe, l'autre à la direction moyenne de la petite (1).

Ceci posé, si nous considérons le plan formé par l'axe de l'humérus et le grand axe de la tête, nous voyons que l'axe de la charnière est incliné sur lui de 80 degrés environ en dedans, en haut et en arrière. En d'autres termes, il n'est pas parallèle au petit axe. Il en résulte que dans le déplacement antéro-postérieur de l'humérus, autour de ce petit axe, l'axe de la charnière décrira non une surface cylindrique, mais une hyperboloïde à deux nappes (2).

Finalement la tête supérieure du radius doit être considérée comme tournant d'un mouvement hélicoïdal autour d'une génératrice d'hyperboloïde. Ceci commence à se compliquer ; et cependant nous n'avons vu encore que deux articulations, et

(1) C'est la surface engendrée par une droite située dans un plan parallèle à l'axe, et qui tourne en s'appuyant sur une courbe directrice quelconque. Si elle s'appuie sur un cercle, c'est une hyperboloïde de révolution ; si l'angle avec l'axe est nul, c'est un cylindre.

(2) Chacun peut se représenter facilement ces surfaces au moyen de fils végétaux ou métalliques.

nous avons pris un cas très simple, celui d'un seul axe à l'articulation scapulo-humérale.

Un seul os est bien développé à l'avant-bras ; c'est le radius. C'est un os beaucoup plus long ($\frac{6}{4}$ à $\frac{7}{4}$ fois plus) que l'humérus, fortement concave en arrière et en bas. C'est le seul os de l'avant-bras, le cubitus étant considérablement réduit (fente d'usage). Les deux extrémités sont renflées, l'interne plus que l'externe ; le volume de l'os est plus fort dans la partie interne. Nous avons déjà vu l'articulation radio-humérale : la tête du radius est concordante avec celle de l'humérus. Il nous reste à voir l'*articulation radio-carpienne*, entre le radius et le *scapho-semilunaire*.

C'est une condylarthrose comme l'articulation scapulo-humérale, mais d'une forme toute différente. La surface radiale forme une gouttière cylindroïde, quadrilatère à quatre sommets proéminents, à dépression centrale. La surface du scapho-semilunaire est concordante avec celle de la gouttière, c'est-à-dire cylindroïde, quadrilatère, à saillie centrale, destinée à pivoter dans la dépression centrale de la tête radiale. Cette saillie se prolonge en avant jusqu'au bord antérieur, où elle sépare deux dépressions destinées à loger les sommets ou apophyses antérieures du radius. Le bord postérieur est sigmoïdal, il appartient à une surface gauche, une sorte de selle de cheval dont la concavité part de l'angle postéro-inférieur, contourne la saillie centrale, et aboutit en diagonale à l'angle antéro-postérieur. Cette disposition nous empêche de considérer l'articulation radio-carpienne comme une vraie charnière à mouvement hélicoïdal. Il est compliqué d'un mouvement de rotation autour de la saillie centrale. Plus simplement le *scapho-semilunaire* tourne sur le radius d'un mouvement de *circumduction*, et c'est l'apophyse postéro-inférieure de celui-ci, qui est le centre de ce mouvement.

Appelons plan de circumduction le plan qui passerait par les apophyses postéro-inférieure, antéro-inférieure et antéro-supérieure. On voit que ce plan est par rapport à la terminaison inférieure du radius oblique de haut en bas, en arrière et en

dedans. C'est dans ce sens que tourne la partie correspondante du scapho-semilunaire ; mais c'est en sens inverse que se dirigera le pisiforme et, par suite, le cinquième doigt. Il suffit de regarder les positions respectives de ces pièces pour s'assurer du fait.

A la suite du scapho-semilunaire, nous tombons dans les articulations du poignet et de la main.

Le *carpe* peut se schématiser par une pyramide triangulaire, à base supérieure et bombée dont les trois arêtes seraient le *scapho-semilunaire*, le *pisiforme* et le *trapèze*, dont le sommet se trouverait sur la face inférieure au point de convergence de ces trois os, et dont la face externe donnerait insertion aux métacarpiens. L'arête interne roule sur le radius. Le cinquième métacarpien s'arc-boute sur la base de l'arête postérieure (pisiforme), et par l'intermédiaire de l'os crochu, sur la base de l'arête interne. Les trois arêtes sont maintenues solidement et reliées par les osselets intermédiaires trapézoïdes, *grand os*, *os crochu* et *pyramidal*. Le pyramidal joue un rôle assez effacé, tandis que les autres servent à l'insertion des métacarpiens.

Le mode d'insertion et la nature de la surface décrite par les doigts méritent une attention spéciale. C'est la main en effet qui joue le principal rôle actif dans le vol. C'est avec la main que l'aile des Insectes va montrer le plus d'analogies.

La charpente principale de la main est formée par quatre baguettes élastiques arrondies, les antérieures aplaties de haut en bas. La seconde est la plus longue ; son extrémité externe ou centrifuge reliée à la première baguette par la membrane interdigitale, constitue la terminaison du bord antérieur de la main. Ce bord est concave en bas et en dedans ; les autres baguettes sont concaves inférieurement.

Les articulations carpo-métacarpiennes affectent un type différent pour chaque doigt ; la disposition la plus curieuse est offerte par le quatrième métacarpien qui commence toujours par s'écarter soit du troisième dans l'extension, soit du cinquième dans la flexion.

La nature de la surface, formée par ces baguettes, doit être considérée au repos et dans l'extension. M. Maisonneuve a parfaitement remarqué ce fait, que les métacarpiens ne se fléchissent pas directement l'un derrière l'autre, mais obliquement, en frappant successivement chaque métacarpien. Il ne se prononce pas d'ailleurs autrement sur la nature de cette surface. Pettigrew traduit le même fait en disant que cette surface est une hélice.

Je suis d'un autre avis, et j'estime que la surface de la main n'est pas hélicoïdale ; c'est une espèce d'hyperboloïde, à génératrices élastiques, dont la courbe directrice passerait par le carpe, et dont l'angle avec ces génératrices serait essentiellement variable, mais limité.

La ligne d'insertion des métacarpiens forme la courbe directrice, à concavité tournée vers le bas, vers le sommet de pyramide carpienne. Cette ligne directrice est courbe et non rectiligne. Dans le repliement, les baguettes sont rapprochées presque parallèlement comme les génératrices d'un cylindre et non d'un plan. Dans l'extension elles divergent comme les génératrices d'une hyperboloïde. Cette divergence n'est nullement comparable à celle des génératrices d'une hélice.

Un exemple grossier fera mieux comprendre la différence. L'éventail des dames donne une idée de l'hélice. Il représente un plan dans le repliement complet (en supposant bien entendu chaque rayon linéaire) et une hélice dans le déploiement. Son axe de rotation est une droite passant par la poignée.

Tout autre est l'éventail des Chauves-souris. Son axe est courbe ; les rayons figurent d'une part au repos non un plan, mais un cylindre, et d'autre part dans l'extension une hyperboloïde. Ce n'est pas naturellement une surface de deuxième ordre, puisque les génératrices ne sont pas des lignes droites, et que la directrice n'est pas une conique géométrique. J'emploie néanmoins l'expression d'hyperboloïde, parce que c'est la surface de deuxième ordre qui nous en donne la meilleure idée. J'insiste sur la distinction entre hélice et hyperboloïde.

J'avais d'abord (1) été séduit par les idées de Pettigrew, basées sur le phénomène général de torsion. Mais l'hélice n'est pas la seule surface tordue. Une étude attentive dans toute la série animale me confirme pleinement dans cette nouvelle interprétation.

Nous avons déjà fait observer que l'éventail des Sauterelles n'est pas comparable à une hélice. L'ensemble des nervures dans toute la série des Insectes forme une surface analogue à celle de la main des Chéiroptères, et dont la directrice passerait à la base des deux versants antérieur et postérieur de l'aile, c'est-à-dire coïnciderait avec notre angle ou concavité axillaire.

Géométriquement, la main des Chéiroptères est assimilable à l'aile des Insectes. Rien n'y manque, pas même le rebord proantérieur, ici formé par la membrane qui relie le pouce au bord antérieur de la main.

L'idée d'hyperboloïde n'exclut pas celle de torsion; nous avons vu en effet que l'humérus pouvait rouler par son bord inférieur de 30 degrés environ, et nous venons d'insister particulièrement sur la circumduction des métacarpiens. La Chauve-souris comme l'Insecte démontre par l'étude seule de son squelette la possibilité de rotation et de torsion du bord antérieur de l'aile.

Les génératrices de la main sont élastiques, formées chacune de plusieurs parties (métacarpien et phalanges), unies entre elles par des symphyses, qui permettent une légère flexion sous des pressions venant de haut en bas. Il y a là une certaine analogie avec l'articulation sinusoïdale des *Cicada*.

Les parties que nous venons d'examiner sont constantes dans toute la série des Chéiroptères, sauf pour le nombre des phalanges, où il se présente quelques variations suivant les genres. Il y a aussi des différences sur l'étendue et la répartition de la membrane alifère. Ainsi la queue peut être plus ou moins recouverte par la membrane interfémorale (*Molossus*, *Taphozus*, *Rhinolophus*). La queue peut même manquer (*Pteropus*).

(1) *Essai sur le vol des Insectes* (*Revue des sciences naturelles*, juin 1883).

Un fait qui ne varie pas dans la base de la membrane, c'est la concavité inférieure de sa courbe d'insertion. Cette concavité est maintenue par le membre postérieur. L'angle fémoro-tibial est au repos, tourné en arrière, en dedans et surtout en bas, tandis que l'angle huméro-radial est ouvert en dedans, en haut et surtout en avant.

Le membre inférieur, dans sa flexion, se porte en avant et en bas, entraînant avec lui le versant postérieur de la base de l'aile. C'est là le rôle du terminal et du proterminal dans une aile d'Insecte.

Ainsi, que nous comparions soit une partie de l'aile des Chéiroptères, la main, soit l'aile tout entière, avec l'aile des Insectes, nous avons toujours le même facies : concavité basilaire, sinuosité et torsion du bord antérieur, existence de deux versants basilaires; l'antérieur très simple, avec une arête rigide; type hyperboloïde de la surface entière.

MUSCLES DU VOL (1).

Nous pourrions déjà placer les principaux muscles, les yeux fermés. L'étude du squelette, en nous montrant l'étendue et les limites des mouvements, nous fait nettement pressentir la nature et la position des moteurs. Elle ne nous apprend pas sans doute la nature du mouvement final; mais la myologie n'est pas souvent plus explicite à cet égard. La forme et la direction des muscles, la faradisation nous donnent d'utiles renseignements sur l'action spéciale de chaque muscle, mais nous laissent dans une grande incertitude sur les combinaisons, soit des muscles d'un même groupe, soit des muscles de groupes différents (2). On n'arrive à l'action totale que par une série d'hypothèses. Nous ne sommes pas étonné de la multiplicité des théories sur le vol.

(1) La myologie des Chéiroptères a été étudiée par Cuvier et Laurillard, Owen, Macalister, Meckel. L'ouvrage le plus récent est celui de Maisonneuve (*Ostéologie et myologie du Vespertilio murinus*, 1878).

(2) Dernièrement, M. Strasser de Breslau s'est servi d'un appareil ingénieux pour donner une idée des diverses combinaisons. Voy. Strasser, *Zür mechanik des Fluges*.

L'omoplate est solidement maintenue contre les parois thoraciques grâce au trapèze, au rhomboïde, au grand dentelé, au grand dorsal et à l'angulaire de l'omoplate. De tous ces muscles, le grand dentelé seul s'insère sur la face antérieure des côtes, les autres sur la colonne vertébrale. Le grand dorsal ne s'insère pas sur l'omoplate; mais il contourne son angle inférieur et contribue par conséquent à le fixer contre les côtes. Ces muscles ont un rôle principalement fixateur. Il est nécessaire pour le vol, on le comprend aisément, que la ceinture thoracique ait le moins de déplacement possible.

C'est ainsi que la portion cervicale du trapèze n'existe pas : la tête est enfoncée entre les épaules et assure la continuité de la ceinture thoracique. De plus, comme nous l'avons vu, l'appui vertical (la clavicule) est très fort et solidement fixé sur la face antérieure du thorax, d'une part par son articulation sternale, de l'autre par le muscle sous-clavier sur la première côte. Il est en outre bridé en avant par deux petits muscles allongés, le sterno-cléido-mastoïdien, et un autre qui se rend à l'apophyse transverse de l'atlas (1).

Les mouvements de l'humérus sont sous la dépendance des muscles pectoral, sous-scapulaire, sus-épineux, sous-épineux, grand rond, grand dorsal, coraco-brachial, deltoïde. Les muscles qui déterminent l'abaissement et la propulsion sont beaucoup plus développés que les rétracteurs et élevateurs. Le pectoral est énorme, le deltoïde faible. C'est là du reste un fait général, observé depuis longtemps, facile à comprendre à cause de la résistance de l'air dans le coup concave, de haut en bas et en avant. Nous l'avons vu aussi chez tous les Insectes.

La flexion et l'extension sont commandées par un biceps et

(1) Ce muscle est considéré par Blanchard comme représentant la portion du trapèze. Maisonneuve le désigne sous le nom d'*élevateur de la clavicule*; il donne aussi ce rôle au sterno-cléido-mastoïdien. Nous ne croyons pas que ces muscles aient une grande action sur la clavicule. Dans le vol, la tête étant immobilisée entre les deux épaules, les deux muscles précités doivent se borner à la maintenir en avant, et à contre-balancer les tiraillements rétracteurs des autres muscles.

un triceps (1). L'épitrôchlée et l'épicondyle sont comme chez l'Homme le siège des tendons des muscles fléchisseurs et extenseurs du poignet et de la main.

Les muscles de la main sont peu développés; ils n'y sont représentés que par leurs tendons très effilés et intimement appliqués contre les os. Il est permis d'affirmer que la main est uniquement composée de parties élastiques, absolument comme l'aile des Insectes. Ce résultat ne saurait nous surprendre après les considérations déjà exposées sur la forme du squelette.

La plupart de ces muscles, toutes choses égales d'ailleurs, ont leurs homologues chez l'Homme. Il en est un cependant que nous n'avons pas cité, inconnu chez l'Homme, et qui a une grande importance. C'est un muscle en partie peaussier, qui part de la ligne courbe inférieure de l'occipital sous forme d'une étroite bandelette, passe ensuite sur l'épaule, où il devient peaussier, et se continue avec le bord rétractile de la membrane antérieure alifère. Il est bridé sur l'épaule par un petit détachement des aponévroses sous-jacentes.

C'est là l'élément contractile dont nous avons parlé au début. La membrane antérieure se rend à la base du pouce en décrivant une surface tordue avec une nappe externe très large, tournée en arrière. C'est celle-ci qui se continue avec le rebord basilaire antérieur de la main. L'exemple de cette membrane correspond au rebord proantérieur, observé chez tous les Insectes sans exception; l'élément contractile est représenté chez ces derniers par les préaxillaires.

Cet élément est surtout destiné à réagir contre la résistance de l'air dans la torsion du bord antérieur de l'aile, ou « en style de Chéiroptère » dans la rotation scapulo-humérale, la circumduction du poignet et de la main.

On conçoit que l'air violemment frappé par l'extrémité de l'aile, tende à faire rouler l'aile en sens inverse; de là la nécessité d'un frein à la fois élastique et contractile. Nous désignerons ce muscle sous le nom de *tenseur* (2).

(1) Ainsi nommé, quoiqu'il n'ait que deux chefs supérieurs comme le biceps.

(2) Ce muscle a donné lieu à de nombreuses interprétations au point de vue

X. — OISEAUX.

Je suivrai la même marche que chez les Chéiroptères, me bornant aux considérations géométriques et aux rapprochements, soit avec les Chéiroptères, soit avec les Insectes.

Squelette thoracique. — L'appui des ailes est formé de trois os distinctifs : clavicule, coracoïde et scapulum, auxquels il faut joindre la cage thoracique. Cet appui se compose d'un axe rigide médio-longitudinal (sternum des Insectes, cage thoracique des Chéiroptères et Oiseaux), d'un montant vertical (coracoïdes des Oiseaux; clavicule des Chéiroptères, entopleuron des Insectes) et d'un appendice latéral postérieur, le scapulum. Il serait un peu risqué de chercher l'analogue du scapulum chez les Insectes: il n'y a chez eux ni cavité glénoïde ni humérus; comment comparer? Ainsi, les fonctions de l'omoplate sont en partie remplies par le postpleuron (comme partie de la cavité glénoïde), par le poststernum (comme lieu d'insertion des muscles rétracteurs), par le dorsum (comme attache des muscles releveurs), par le prothorax (comme attache des muscles cervicaux), etc.

En somme, l'omoplate n'a pas d'analogue chez les Insectes, ou plutôt il en a trop, ce qui revient au même.

L'appendice antérieur des Oiseaux, la clavicule, est un organe peu important pour le vol. Les Platycerques, par exemple, volent très bien sans clavicule. Puisque c'est un organe inconstant, même parmi les Oiseaux, il devient oiseux d'en chercher l'analogue dans une classe aussi éloignée que celle des Insectes.

La cage thoracique forme, avec son revêtement musculaire, morphologique : c'est le *dorso-occipital* de Cuvier et Laurillard, l'*occipitopollicalis* de Macalister, etc. ; Meckel lui fait jouer un grand rôle comme abducteur du pouce. M. Maisonneuve le compare au *sterno-radial* des Batraciens; il se rapproche ainsi de la vérité, mais sans donner les vrais motifs de la généralisation de ce muscle. Nous le nommons simplement *tenseur*, à cause de son analogie avec le tenseur de la membrane antérieure alifère des Oiseaux.

une masse ovoïde, à grosse extrémité en avant. Privée de ses muscles, elle présente au contraire le gros bout en arrière. On entre dans la cage par une petite ouverture en gueule de maquereau, et on en sort par une section ovale, à gros bout supérieur, et dont le diamètre est le double de l'écartement à l'entrée. La clef de voûte est formée par une colonne vertébrale droite, forte et rigide; le plancher par un sternum large, à contour elliptique, à face intrathoracique fortement concave, et dont le diamètre longitudinal ferait, avec la colonne, un angle de 40 à 45 degrés. La face extrathoracique est remarquable par le grand développement de cette crête sternale, que nous avons déjà constatée chez les Chéiroptères et dont le développement est en rapport avec la puissance d'abaissement de l'aile.

La colonne et le sternum sont réunis par un système de grands cerceaux élastiques ou côtes vertébrales, parallèles à l'ouverture de sortie. Ces cerceaux sont reliés à une grande échancrure du sternum par l'intermédiaire de petites baguettes, renflées aux deux bouts (côtes sternales), fortement inclinées sur les cerceaux. Leur angle est ouvert en avant et varie de 40 à 45 degrés (système des premières côtes vertébrale et sternale), à 100 degrés environ (système des dernières côtes vertébrale et sternale). Il varie en outre, pour un même système, dans les mouvements de la respiration et dans le vol. Le diamètre vertical de la cage augmente ou diminue avec cet angle.

La crête sternale est fortement épaissie sur son bord antérieur, surtout au niveau de son implantation sur le sternum, à l'entrée de la cage. C'est à ce niveau, en effet, qu'est assis l'appui de l'aile ou coracoïde.

Le *coracoïde* est le plus fort des trois os de la ceinture. Il est allongé, incliné en avant et en dehors, séparé de son symétrique par un angle variable suivant les espèces, mais toujours < 90 degrés. La base est large, aplatie d'avant en arrière et solidement liée au sternum par une articulation, par une symphyse en pas de vis. Le sternum est creusé d'une rigole

hélicoïdale, qui empêche tout déplacement, soit d'arrière en avant, soit autour de l'axe du coracoïde. Quant aux mouvements de dehors en dedans, ils sont rendus impossibles par des ligaments très serrés. La tête du coracoïde s'articule : en haut et en avant, avec la clavicule par une symphyse ; en arrière, en bas et en dedans, avec l'omoplate.

Les extrémités inférieures de la clavicule postérieure de l'omoplate jouissent d'une certaine élasticité, grâce à leur minceur.

L'*omoplate* est allongée, en lame de sabre, dirigée d'avant en arrière et en dedans, à 70-80 degrés, sur l'axe du coracoïde. Son extrémité postérieure est très rapprochée de la colonne vertébrale. La cavité glénoïde est formée en partie par une facette de l'omoplate, en partie par une facette du coracoïde. Un cartilage réunit les deux facettes et donne à la cavité sa forme définitive.

La surface de cette cavité présente, comme chez les Chéiroptères, un grand arc dirigé dans le sens de l'omoplate et un petit arc dans le sens du coracoïde. C'est, si l'on veut, une gouttière allongée à contour réniforme, telle qu'on la découperait sur une surface cylindrique, et de manière que le sens général de l'allongement soit celui d'une spire plus ou moins inclinée sur l'axe du cylindre, suivant les espèces.

Il faut distinguer, dans le contour curviligne de cette gouttière, une partie inférieure, la plus étendue, et une partie supérieure, situées de chaque côté de la spire supposée. L'appréciation de ces éléments nous donnera une idée exacte du mouvement huméro-scapulaire. Le sommet supérieur de la gouttière est aigu chez les Chéiroptères, et c'est là un caractère distinctif d'avec les Oiseaux. Elle indique, chez les Chéiroptères, un balancement plus énergique du bord inférieur de l'humérus. La spire et la courbe inférieure sont plus allongées chez les Buses que chez les Pigeons ; la gouttière est aussi moins concave. Il en résulte que la trajectoire décrite par un point de l'humérus est, toutes choses égales, plus étendue chez les Buses que chez les Pigeons.

Toutes ces déductions supposent naturellement que la tête articulaire de l'humérus a une surface concordante avec celle de la gouttière, et qu'une capsule fibreuse l'attache aux bords de celle-ci. C'est en effet ce qui a lieu. La tête articulaire de l'humérus est régulièrement convexe, allongée dans le sens de la spire ou du grand arc, rétrécie dans le sens du petit. Ces directions sont telles que l'humérus, en s'abaissant, se porte en arrière, s'il suit le grand arc, en avant, s'il suit le petit. Où ira-t-il, finalement? Nous n'en savons rien, et, même les muscles en main, nous sommes réduits aux hypothèses. Il peut y avoir mouvement en arrière ou en avant, ou une combinaison des deux avec rotation. Ceci est encore possible; car la tête articulaire de l'humérus n'est pas rigoureusement concordante avec la cavité glénoïde, et la capsule fibreuse est assez lâche pour permettre une rotation de l'humérus autour de son propre axe. Il nous suffit d'avoir démontré la possibilité de ces mouvements.

L'*humérus* est un os court, presque droit chez le Martinet, le Pigeon, en général chez les bons Ramiers, il est long, courbé en S chez les Rapaces et les grands voiliers. Dans ce dernier cas, la branche interne de l'S est ouverte en arrière, et la branche externe en avant (1). La courbure de l'humérus à ses deux extrémités est bien plus prononcée que chez les Chéiroptères.

La tête de l'humérus est ellipsoïdale, étroite dans le sens antéro-postérieur, allongée verticalement. Cette tête se fond en haut, sans ligne de démarcation bien nette, avec la crête du deltoïde et celle du pectoral, en bas, avec la face antérieure de la tubérosité postérieure.

L'extrémité externe de l'humérus est en relation avec deux os, le radius et le cubitus; cette extrémité est difficile à repré-

(1) Cette inflexion n'a rien de commun avec la rotation de 90 degrés telle que la comprenait M. Martins, dans sa théorie de la torsion de l'humérus. Cette théorie ingénieuse et habilement présentée avait été adoptée par la majorité des anatomistes (Broca, Gegenbaur, etc.), lorsqu'elle fut, il y a peu de temps, vivement attaquée par M. Sabatier, et renversée par de nombreux et solides arguments (*Comparaison des ceintures et des membres*).

senter géométriquement. Nous avons vu que, chez les Chéiroptères, l'articulation du coude était une diarthrose en charnière, à mouvement hélicoïdal. L'extrémité humérale pourrait se comparer à la surface d'un tronc de cône, creusée de deux rigoles spirales superposées, dont une plus petite, la supérieure. Grâce à cette double rigole, le mouvement est automatique, sans ballottement.

L'extrémité humérale des Oiseaux n'a qu'une rigole très large, séparant deux condyles inégaux. L'ensemble a l'aspect d'une gourde de pèlerin, la petite moitié représentant le condyle anticubital, la grande le condyle antiradial. Ces deux condyles (dont l'un correspondrait à la trochlée) sont séparés par un faible col de deux éminences, l'un de l'épitrachée, l'autre de l'épicondyle. Ils sont reçus dans des cavités concordantes, peu profondes, l'une circulaire, l'autre réniforme. Ces cavités sont séparées par une arête sigmoïdale.

L'articulation du coude n'est pas une diarthrose en charnière. La flexion ou l'extension peuvent s'accompagner d'une rotation longitudinale du bras. Il y a donc plus d'un axe de rotation. On a souvent disputé sur les directions respectives des axes des deux extrémités de l'humérus; il faudrait cependant s'entendre sur le choix des axes, avant de donner un avis quelconque. Il est bien difficile de donner des axes à des surfaces qui n'en ont pas: elles ne sont pas de révolution.

On peut tout au plus partir d'axes hypothétiques. Si nous supposons, par exemple, que la rigole de notre gourde est circulaire, et que les os du bras roulent sans ballottement sur les deux moitiés de la gourde, nous aurions un axe de flexion, passant par le centre de la gourde, perpendiculaire au plan de la rigole. Si maintenant nous choisissons comme axe de la tête de l'humérus la corde du grand arc, on voit que les deux axes ainsi choisis sont loin de faire un angle de 90 degrés, comme on l'avait soutenu pour les besoins de la théorie de la torsion. Ils ne sont pas néanmoins dans le même plan; l'axe du coude est incliné de bas en haut, en dedans et en arrière. *Sic* chez les Chéiroptères.

Il semblait, d'après la théorie de la torsion, que l'extrémité externe et le corps de l'humérus subissent seuls l'influence du milieu, l'extrémité scapulaire ne bougeant pas. Nous n'avons pas à citer ici les nombreuses preuves accumulées par M. Sabatier contre cette prétention, mais nous pourrions y ajouter une considération basée sur la mécanique du vol.

La résistance de l'air attaque tous les points du bord antérieur de l'aile, avec une force d'autant plus grande que ces points sont plus éloignés de l'épaule. Celle-ci, dans tous les cas, en subit le contre-coup. Ces forces se dirigent d'avant en arrière ; de là l'obliquité dans le sens des axes ci-dessus mentionnés, et la divergence plus prononcée de l'axe centrifuge que de l'axe basilaire. Les axes ont subi chacun l'influence du vol, mais inégalement ; ils ne peuvent pas être dans le même plan. Nous verrons cette inflexion se poursuivre dans tout le reste du bord antérieur de l'aile.

Le bras se compose de deux os d'inégal volume, placés l'un derrière l'autre. L'antérieur, le *radius*, est un os grêle, court et assez droit dans les petites espèces, long et infléchi en S dans les grandes. Le postérieur, le *cubitus*, est bien plus volumineux et un peu plus long ; il décrit une courbe sans inflexion, concave en avant et en bas. Cet os est très réduit chez les Chéiroptères ; il s'est maintenu chez les Oiseaux : il a des plumes à supporter.

Les deux extrémités internes de ces deux os forment deux cavités ovalaires concordantes avec les condyles de l'humérus ; nous avons déjà parlé des contours de ces cavités. Ces contours s'abouchent à peu près comme les boucles d'un ∞ de chiffre, tordu de manière que les plans de ces boucles forment entre eux un angle obtus ouvert en dedans. Il faut y ajouter une troisième portion, comblant l'angle supérieur du ∞ et en continuité de concavité avec la boucle antérieure ou radiale.

Les extrémités externes de l'avant-bras sont en rapport avec le *carpe*, formé de deux os seulement : *os radial* et *os cubital*.

L'*os radial* a une forme tétraédrique, roulant par trois de ses faces sur le radius, le cubitus et le métacarpien antérieur.

La quatrième face est en rapport avec des tendons ou des ligaments; c'est la plus considérable.

La tête du cubitus a l'aspect d'une poulie en tronc de cône, dont la gorge descend de haut en bas, en avant et en dedans. Le cubital présente une facette qui roule dans cette gorge, et par suite dans cette direction. Le métacarpe suivra le cubital dans cette voie, et, finalement, les plumes métacarpiennes (rémiges primaires) viendront se placer dans la flexion sous les plumes cubitales (rémiges secondaires).

Le mouvement du métacarpe peut être plus complexe par la structure même de sa tête articulaire.

La tête du métacarpe forme une poulie cylindrique, dont la gorge n'est bien accusée qu'en arrière, où son arête inférieure est engagée et roulée dans une échancrure profonde du cubital. La face antérieure de la poulie roule par une surface régulièrement cylindrique, sans gorge, sur la face postéro-externe du radial. Cette dernière s'amincit insensiblement de manière à se fondre avec la face adjacente du radial, avec la face postéro-interne. Les deux faces arrivent ainsi en arrière à être tangentes à la grande gorge du cubitus; en d'autres termes, elles sont en continuité de courbure avec elle, ce qui assure la concordance des surfaces.

L'ensemble de la tête métacarpienne et du cubital roulera sur l'ensemble du radius et du cubitus d'un mouvement à la fois de flexion et de circumduction, en rapport avec la nature hélicoïdale des surfaces en contact.

Tel est le sens général du mouvement, mais il peut être modifié, augmenté ou diminué dans le sens de la flexion ou de la circumduction. La tête du métacarpien est en effet placée entre deux osselets mobiles, dont l'un, le radial, facilite la pronation, et l'autre, le cubital, la supination.

La mobilité du radial peut être mise en jeu par l'extrémité articulaire du radius. Cette extrémité est allongée de haut en bas, en avant et en dehors. Sa face supérieure est légèrement excavée. Son extrémité postérieure concorde avec une gondole ovalaire, qui forme la face antéro-interne du radial. Les li-

gaments du coude et du poignet qui lient le radius sont disposés de telle sorte que *dans la flexion du coude, le condyle huméral pousse le radius en dehors*; le radial à son tour roule sur la grande gorge du cubitus, et favorise la flexion du métacarpien. Je dis favorise, seulement; car le métacarpien peut être en état d'extension sur l'avant-bras, malgré la flexion du coude.

En résumé, je schématiserais l'*articulation du poignet par un S à branche supérieure bifide*. La branche inférieure serait fixe et représenterait la partie inférieure de la grande gorge du cubitus. Les deux branches supérieures seraient mobiles, et représenteraient l'une, les facettes internes du radial, l'autre, la facette postéro-externe. Quant à l'ensemble du métacarpien et du cubital, je le schématiserais par une surface concordante avec la partie externe de notre S.

Le *métacarpe* se compose de deux os soudés par leurs extrémités. Ces deux os sont très disproportionnés comme volume : le postérieur est très grêle. Leur articulation avec la main est une condylarthrose, en forme de gourde, comme au coude. Seulement, la gourde, et surtout la *base de la gourde est plus plate*, ce qui entraîne moins d'étendue dans les déplacements. Les deux condyles appartiennent à l'extrémité du grand métacarpien; mais le métacarpien postérieur a aussi une extrémité articulaire; il se termine par une petite facette, séparée du petit condyle par une rigole. Cette facette est presque plane, liée en symphyse avec l'extrémité interne cunéiforme de l'articulation métacarpo-phalangienne du dernier doigt. Cette articulation contribue à limiter les mouvements.

On peut distinguer quatre doigts. Le premier se réduit à un os cunéiforme, s'articulant par le gros bout à la base de la crête antérieure de l'extrémité interne du grand métacarpien. Les surfaces articulaires sont en *selle de cheval* assez plate; le mouvement est peu étendu, mais curviligne par la nature même des surfaces en contact.

Ce grand métacarpien appartient au second doigt. Celui-ci se continue par deux phalanges unies entre elles par une sym-

physe en selle de cheval encore plus plate. La première phalange est soudée aux deux bouts avec l'unique phalange du troisième doigt. Enfin, le quatrième doigt se réduit au petit os cunéiforme, qui s'articule avec le troisième métacarpien.

En résumé, les articulations du coude, du poignet et des doigts ne sont nullement des charnières, mais des diarthroses soit en gourde de pèlerin, soit en selle de cheval, où les mouvements de flexion s'accompagnent de circumduction, dont l'étendue va en diminuant de dedans en dehors, c'est-à-dire que les surfaces articulaires, tout en gardant le caractère de surface gauche, s'aplatissent de plus en plus, à mesure que nous approchons de l'extrémité de l'aile, et passent du type condylarthrose au type symphyse.

Le résultat total de ces circumductions successives est de produire une torsion longitudinale du bord antérieur de l'aile.

Nous avons observé le même fait dans toute la série des Insectes, et ici encore, comme chez ces derniers, nous pouvons ajouter que *l'angle de torsion est en raison inverse de la distance à la base de l'aile.*

Nous voulons dire, par angle de torsion, celui que fait un élément quelconque du bord antérieur avec l'élément qui le précède immédiatement. Ceci résulte, chez les Oiseaux, de l'aplatissement graduel des surfaces articulaires à mesure qu'on s'éloigne de la base, et chez les Insectes, de l'accolement successif des quatre premières nervures proantérieure, antérieure, subantérieure, et médiane à mesure qu'on s'approche des parties centrifuges de l'aile.

Muscles de l'aile. — De nombreux travaux ont été faits sur la myologie des Oiseaux. On n'est pas encore d'accord sur la morphologie comparée de ces muscles (1). Nous pouvons heu-

(1) Un ouvrage des plus complets sur cette matière est celui d'Alix (*Essai sur l'appareil locomoteur des Oiseaux*. Paris, 1874). Ses déterminations sont souvent en désaccord avec celles de M. Sabatier et de M. Lannegrace.

Sabatier, *loc. cit.*

Lannegrace, *Essai sur la myologie comparée*. (Thèse inaugurale de médecine, Montpellier)

reusement laisser de côté ce terrain brûlant; nous avons sous les yeux des moteurs susceptibles de mesure; peu nous importent les noms.

Ainsi, l'omoplate est fixée aux côtes et à la colonne vertébrale par des muscles, bien moins volumineux que chez les Mammifères et les Chéiroptères. On se l'explique par le moindre volume de l'omoplate et par sa fixité plus grande, grâce à sa solide union avec le coracoïde. De plus, la colonne vertébrale est raide. Tous ces faits sont aussi liés à la prédominance des forces pronatrices et fléchissantes sur les forces élévatrices, prédominance qui est une fonction du vol, et que nous avons partout signalée (Insectes, Chéiroptères). Le pectoral est énorme, surtout chez les bons ramiers, à battements nombreux; il est même aidé par un autre muscle puissant qui va de la partie supérieure du sternum à la tubérosité antéro-inférieure de l'humérus. Le deltoïde est très réduit, mais il est puissamment aidé par un muscle à tendon réfléchi, à action multiple, celui qu'on appelle en général *subclavius*. Il est très développé chez les forts rameurs (1).

Les muscles du bras, de l'avant-bras et de la main sont en partie comparables à ceux des Chéiroptères (biceps, triceps, fort peu de muscles épicondyliens, nombreux muscles épitrochléens). Les faces antérieure et supérieure du poignet sont pauvres en muscles. L'épitrochlée donne aussi bien insertion à des muscles fléchisseurs qu'à des extenseurs; ces derniers parviennent à leur but au moyen de tendons ou de poulies de renvoi.

La présence du cubitus et des plumes nécessite des muscles qui ne sont pas chez les Chéiroptères, soit pour la flexion du cubitus, soit pour l'extension du poignet, soit pour la flexion des plumes.

(1) Ce développement n'implique pas des ailes défectueuses (*Schlechte Flügel*), comme sembleraient le croire Legal et Reichel. C'est simplement l'indice d'un mode, d'un type de vol, qui n'a rien à envier à l'aéroplane des Gypaètes, Buses, etc.

Legal und Reichel, *Ueber die Beziehungen der Grösse der Flugmuskulatur*, etc. Breslau.

La *flexion des plumes cubitales* est sous la dépendance d'un muscle, situé en arrière du cubitus, allant de l'épitrôchlée à l'osselet cubital, adhérent tout le long aux ligaments de la base des plumes cubitales. Il est donc fléchisseur du poignet et des plumes à la fois. Il est antagoniste d'un muscle très puissant allant de la face antérieure de l'extrémité externe de l'humérus (par un double tendon) à la crête antérieure du grand métacarpien. Ce dernier muscle, ou *extenseur du poignet*, passe sur une poulie de renvoi, située sur la face antérieure libre de l'osselet radial.

Parmi les muscles les plus intéressants figure le *tenseur de la membrane antérieure* de l'aile. Nous avons déjà observé un tenseur chez les Chéiroptères; celui des Oiseaux lui est entièrement comparable, comme direction et fonction. Il part de l'acromion et de l'extrémité externe de la clavicule, passe sur le deltoïde, devient peaussier et se rend au pli du coude sur une aponévrose très forte, qui le bride et l'attache au pli du coude. Un autre faisceau de fibres peaussières part de cette bride et arrive jusqu'à la base du pouce.

La membrane antérieure est l'analogue du rebord proantérieur des Insectes; nous avons déjà développé cette comparaison à propos des Chéiroptères.

Le *fléchisseur* des plumes cubitales (rémiges secondaires) serait plutôt l'analogue du muscle du tampon.

Nous allons du reste mieux saisir les comparaisons en examinant la forme générale de la surface alaire.

Aspect géométrique de l'aile. — La surface de l'aile de l'Oiseau renferme plus de variables que celle de l'Insecte. Elle paraît même s'éloigner notablement de celle des Chéiroptères. Ces différences proviennent des modes de génération de la surface, qui sont différents dans ces trois types.

La surface principale de l'aile chez l'Insecte est engendrée par des nervures divergentes à partir d'une courbe d'insertion presque basilaire (les osselets basilaires sont très courts par rapport aux nervures). Deux plans mobiles attachent le corps

de l'aile au thorax, l'un en avant, peu développé (base du versant postérieur).

La surface des Chéiroptères est engendrée par des membranes élastiques, tendues en avant et en arrière de deux longues tiges articulées, l'analogue des plans mobiles, et celles-ci sont suivies d'une longue main. Les deux plans mobiles sont excessivement développés; mais nous avons retrouvé le type Insecte dans le poignet et la main.

La surface de l'aile d'Oiseau est engendrée par une membrane contractile tendue en avant de deux tiges articulées (humérus-radius), et par des plumes qui s'étalent en arrière de ces tiges. La main se réduit à trois tiges articulées, bordées de plumes en arrière. Cette main diffère considérablement de celle des Chéiroptères; c'est dans les plumes qu'il nous faudra chercher les génératrices de la surface.

Les plumes ont leur face inférieure concave et leur face externe convexe (sauf les plumes axillaires, dont la face externe tend à être concave). La plus interne des plumes cubitales, à son maximum de flexion, forme un angle presque nul avec la direction du radius. La première des plumes primaires continue la courbure convexe à grand rayon formé par le bord antérieur de la main. L'angle maximum des deux axes du radius et de la main est variable chez les Oiseaux; il est en général $> 100^\circ$. Toutes les plumes intermédiaires (rémiges primaires et secondaires) s'insèrent en arrière de ces deux axes, avec des angles variant graduellement entre les deux positions extrêmes. Leurs extrémités divergent, et décrivent par leurs sommets une ligne concave inférieurement.

Les *plumes axillaires* continuent la concavité jusque sur les flancs de l'animal, en arrière de l'humérus et de l'articulation scapulo-humérale.

L'ensemble de toutes ces parties forme une surface gauche triangulaire, à bord antérieur infléchi, avec deux versants basilaires bien distincts, plongeant, l'un en avant, l'autre en arrière.

Cette surface n'est ni plane, ni hélicoïdale. Nous éprouvons

les mêmes difficultés que chez les Chéiroptères, à la dénommer géométriquement. Ici encore nous trouvons qu'elle se rapproche du type hyperboloïde.

La main peut se comparer à celle des Chéiroptères, et par suite à l'aile des Insectes. Nous y retrouvons un versant basilaire antérieur (pouce et plumes du pouce), un bord antérieur passible d'une légère torsion longitudinale, et un versant postérieur formé par des rémiges primaires, et les premières rémiges secondaires. La torsion longitudinale du bord antérieur est, il est vrai, très faible; mais elle est suppléée par celle des tiges centripètes.

Pendant que la main donne son coup de fouet, le segment centripète tend à augmenter la concavité du gouffre axillaire, grâce au tenseur de la membrane antérieure, et à celui des rémiges cubitales. Cette action, constante dans toute la série animale, est destinée à réagir contre la violence du coup. *Elle empêche que la torsion imposée par l'air ne dégénère en luxation et dislocation.* C'est une nécessité mécanique de premier ordre.

On voit en outre qu'il en résulte entre les surfaces centripètes et centrifuges, une surface de raccordement, une sorte de ventre, dont la direction et la superficie varient à tout instant.

Des physiologistes éminents ont constaté les « retournements de plan alaire » sans préciser néanmoins les facteurs mécaniques de ces retournements. Pettigrew ne sort pas des notions de charnière à propos des articulations du bord antérieur. Mais il a été vivement frappé par la torsion de ce bord, et en a conclu que l'hélice était la reine des surfaces en matière de locomotion.

Si nous supprimons les parties basilaires des grands planeurs pour n'en garder que la main, ou mieux si nous comparons l'aile de rameurs excessifs, tels que le Martinet, l'Oiseau-mouche, avec l'aile d'un Insecte, nous trouvons des génératrices divergentes, comme celles non d'une hélice, mais d'une hyperboloïde.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES MACHINES A VOL
DANS LA SÉRIE ANIMALE.

Cette étude, un peu longue et aride, ne serait pas complète sans un résumé aussi dense que rapide.

Nous distinguerons deux types principaux de machine, la *Machine-Insecte* et la *Machine-Vertébrée*.

Machine-Insecte. — Le corps principal de la machine est formé de deux segments placés l'un derrière l'autre : le *mésothorax* et le *métathorax*.

I. Chaque segment est charpenté par une tige médiane antéro-postérieure (*entosternum*), formant l'axe longitudinal du plancher.

Les flancs de chaque segment sont soutenus par trois cerceaux verticaux (bord antérieur de l'antépleuron, *entopleuron*, bord postérieur du postpleuron), s'appuyant sur le plancher.

Le bord supérieur des flancs forme deux échancrures ou golfes, séparés par un cap (*apophyse alifère*) qui est le sommet du cerceau moyen (*entopleuron*).

Le golfe antérieur est moins prononcé que le postérieur.

Le toit de chaque segment est formé par deux ressorts arciformes, concaves inférieurement ; l'antérieur en forme de T (*dorsum*, *antédorsum*) à cheval sur le postérieur en forme d'X (*podorsum*, *subpodorsum*). La barre horizontale du T représente l'antédorsum, la barre verticale, la ligne de courbure antéro-postérieure du toit. La branche antérieure de l'X représente la crête de séparation (*entodorsum*) du *dorsum* et du *podorsum* ; la branche postérieure, la séparation du *podorsum* et du *subpodorsum*.

L'angle antérieur de l'X forme un dôme (*dorsum*), l'angle externe une dépression (*dépression postdorsale*).

Les extrémités externes de la branche antérieure de l'X et du T sont séparées par une fente (*fente dorsale*).

La branche postérieure de l'X forme avec le cerceau posté-

rieur ou postpleuron, un cercle complet plus ou moins rigide (*cercle postérieur*).

Les bords latéraux du toit forment un angle obtus ouvert en bas et en dehors, dont le sommet (*coude dorsal*) correspond à la fente dorsale. Ces bords constituent le rivage dorsal des golfes antérieur et postérieur. Un mince détroit sépare les deux caps (*alifère, coude dorsal*), ou plutôt le cap entopleural de la fente dorsale.

Le détroit et les golfes servent de terrain d'évolution à un organe spécial, servant à frapper l'air, l'*aile*.

II. La charpente de l'aile est formée par six nervures principales et leurs ramifications. Ce sont : les *nervures proantérieure, antérieure, subantérieure, médiane, submédiane et postérieure*.

Elles sont alternativement en rapport avec le pleuron ou les flancs (proantérieure, subantérieure, submédiane) et avec le toit (antérieure, médiane, postérieure).

Les nervures antérieures se fusionnent graduellement vers l'extrémité centrifuge de l'aile, et forment à la base le versant basilaire antérieur de l'aile.

La nervure postérieure est rarement simple ; elle forme en général à sa base une tubérosité suivie d'un voile membraneux avec ou sans nervures secondaires.

La forme générale de l'aile est celle d'un triangle biplane à base centripète, à sommet centrifuge. La base est formée de deux plans ou versants : un versant antérieur (nervures proantérieure, antérieure, subantérieure, médiane) et un versant postérieur (médiane, submédiane, postérieure, voile). Celui-ci est le plus développé. Les deux versants sont inclinés l'un sur l'autre, de manière à former une aisselle concave inférieurement : c'est là ce que je nomme le *dièdre basilaire*.

La nervure médiane forme l'arête du dièdre ; l'angle de celui-ci est variable : ses évolutions ont pour limites celles des golfes antérieur et postérieur.

La base de l'aile est unie aux flancs et au toit de chaque segment par autant de pièces articulaires qu'il y a de nervures :

avec les flancs par les nervures proantérieure, subantérieure, et l'*appareil de pronation* dans le golfe antérieur, par la nervure submédiane, le *rétro-médian* et le *submédian*, dans le golfe postérieur; avec le toit par les nervures antérieure, médiane et postérieure d'une part, par l'*écaille*, le *sigmoïde*, et le *terminal* d'autre part.

L'*écaille* peut manquer (Orthoptères, Hémiptères); plusieurs de ces pièces peuvent être ankylosées (Orthoptères, Pseudo-Névroptères).

Des pièces supplémentaires peuvent exister, pour relier le terminal aux parties voisines (proterminal ou tampon, extraterminal, dorso-terminal, pleuro-terminal).

Tous les Insectes dont l'aile se replie ont, à la suite de la nervure médiane, une dépression (*dépression submédiane*) donnant au rétro-médian l'espace nécessaire pour plisser l'aile.

L'appareil de pronation est constant, avec des formes variables. Il peut se schématiser par deux pièces : une pièce antérieure formant un pivot mobile, séparée du pivot fixe (alifère) par un espace ou cavité articulaire.

Comme consistance, elle est la plus forte le long, non du bord antérieur, mais de l'arête du dièdre. Le rebord proantérieur du versant basilaire antérieur est mince et parfois mou. A cela près, la consistance de l'aile diminue graduellement en allant de la base au sommet et d'avant en arrière.

Le bord antérieur présente à son extrémité centrifuge un point d'épaississement, résultant de l'accolement des nervures antérieures. C'est, si l'on veut, le voisinage du sommet d'une longue pyramide quadrangulaire, dont les quatre arêtes seraient les nervures antérieure, subantérieure, médiane, subdiane.

Supposons que ces quatre arêtes puissent subir une torsion longitudinale, et nous aurons une idée des retournements de plans alaires.

Cette torsion est possible, grâce aux articulations des nervures antérieure et subantérieure avec leurs terminaisons basilaires (*tubérosité antérieure*).

La ligne directrice de la torsion n'est pas une droite. C'est une courbe sinueuse passant par la tête basilaire de la nervure postérieure par une commissure spéciale (*commissure de torsion*) et par l'extrémité basilaire du rebord proantérieur lorsqu'il est tendu.

L'extrémité centrifuge de l'aile présente à l'air, dans le coup ascendant, une ligne ou zone sinueuse suivant laquelle l'aile fléchit (*sinussoïde de flexion*). Cette ligne se dirige du versant basilaire postérieur au niveau du point d'épaississement. La branche postérieure regarde en dedans, la branche antérieure en dehors.

III. L'aile n'est jamais comparable à un levier simple. Les Pseudo-Névroptères sembleraient donner un type approchant du levier, mais à condition de leur ankyloser les articulations antérieure et subantérieure, ainsi que les pivots mobiles. Il est probable qu'alors ces animaux cesseraient de voler.

Les pièces basilaires, y compris le toit, peuvent se grouper sur trois arêtes d'un cône de révolution, dont l'alifère serait l'axe : une arête interne (*dorsum, sigmoïde, nervure médiane*), une arête postérieure (*submédian, terminal*) et une arête antérieure (*appareil de pronation*). L'arête interne ou arête de notre dièdre forme, si l'on veut, une sorte de levier roulant autour du cône par les deux autres arêtes.

Les muscles se groupent d'après ces trois arêtes (*dorsaux, sternali-dorsaux, latéro-dorsaux, préaxillaires, postaxillaires*) et les tirent dans toutes les directions compatibles avec leur propre direction et la nature des articulations.

Les directions des muscles sont très variées. Il n'y a pas à proprement parler de muscles exclusivement verticaux ou horizontaux. Cela jure avec le schéma qui précède : l'articulation de l'aile n'est pas une charnière simple.

La torsion de l'aile est favorisée et bridée en même temps par les préaxillaires et les postaxillaires, et parmi ces derniers surtout par le muscle du tampon ou proterminal.

IV. La forme générale de la machine entière est sphéroïdale ou ovoïde à gros bout tourné en avant.

Machine-Vertébrée. — Le Chéiroptère et l'Oiseau ont une machine à pièces dures internes, à moteurs externes. Cette différence est radicale : la machine-insecte est une sorte de nacelle élastique à l'intérieur de laquelle seraient abrités les moteurs.

Nous avons vu que la forme générale de la machine, la forme générale de l'aile et la répartition de la consistance à sa surface, ainsi que la rotation du bord antérieur, étaient comparables à celle des Insectes.

Nous avons vu que la torsion de la surface alaire avait pour directrice une ligne sinueuse concave inférieurement, et que la surface pouvait être comparée à celle d'une sorte d'hyperboloïde ayant cette ligne pour directrice et pour génératrices des baguettes élastiques courbes.

En résumé, la Chauve-souris et l'Oiseau sont des Insectes dont l'aile serait portée à l'extrémité de deux bras articulés. Y aurait-il une relation nécessaire entre le grand volume d'un animal volant et le développement des versants basilaires, et d'autre part entre le petit volume et le développement du « coup de fouet » ? Je pose seulement la question.

On me reprochera peut-être de ne pas terminer mon travail par une théorie sur le vol. Nous avons reculé devant l'obscurité qui règne encore sur l'action des muscles et sur les lois de la résistance de l'air. Mais nous apportons des faits et des données nouvelles susceptibles d'être appliquées dans le domaine physiologique et expérimental.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CE MÉMOIRE.

INTRODUCTION.....	9
A. — DES ORGANES DU VOL CHEZ LES INSECTES.	
Plan. — Technique. — Nomenclature.....	12
Des divers types d'articulations usités chez les Insectes. (Suture. — Adhère- — Symphyse. — Charnière simple. — Syndesmose. — Écaille. — Condylarthrose. — Charnière à condyles. — Flexion. — Fente. — Articulation fissurale. — Écrou. — Rainure et languette. — Hélice. — Spire conique.) Ordre suivi dans la description.....	15
I. PSEUDO-NÉVROPTÈRES.	
Appareil de pronation. — Mésonotum. — Métanotum. — Pleuro-sternum.	20
Aile antérieure. (Nouvelle nomenclature pour les nervures. — Distinction de deux versants basilaires.....)	27
Tubérosité antérieure. — Articulation du bord antérieur de l'aile avec la tubérosité antérieure; de la tubérosité avec le mésonotum. — Tubéro- sité postérieure.).....	31
Aile postérieure.....	36
Muscles du vol. (Abaissement artificiel de l'aile. — Commissure articu- laire. — Muscles du vol de l'aile antérieure. — Muscles de l'aile posté- rieure.).....	37
Revue et critique des diverses théories du vol. (Théories du plan, de l'hélice. — Ailes artificielles.).....	41
II. ORTHOPTÈRES.	
Aile antérieure. (Expérience sur un <i>Acridium</i> . — Charpente de l'aile. — Schéma du plissement et du déplissement.).....	51
Aile postérieure. (Prédominance du versant postérieur. — Lèvre de plis- sissement. — Arcade terminale. — L'éventail des nervures secondaires n'est pas hélicoïdal. — Appareil de pronation. — Période d'abaisse- ment. — Période de déplissement.).....	55
Pleuro-sternum. — Mésonotum (schéma mécanique du mésonotum). — Métanotum (brisure des bords latéraux).....	59
Loi générale de la concavité axillaire.....	61
Muscles du vol (du mésothorax, du métathorax).....	63
Comparaison entre les Orthoptères et les Pseudo-Névroptères. — Arcade terminale des <i>Acridium</i>	67

III. NÉVROPTÈRES.

Considérations générales sur l'ancienneté de cet ordre. — Notum. — Pleuro-dorsum. — Pièces basilaires.....	68
--	----

IV. HYMÉNOPTÈRES.

1. — *Organes du vol chez les Térébrants.*

Considérations générales. (Solidarité des deux ailes antérieure et postérieure. — Historique du dièdre basilaire.).....	73
Anatomie des ailes.....	76
Aile antérieure. (Charpente. — Articulation du bord antérieur avec la tubérosité antérieure. — Commissure articulaire. — Arcade terminale.).	84
Aile postérieure.....	79
Prothorax. — Mésonotum. — Métanotum (cercle postérieur). — Pleuron (alifère et appareil de pronation). — Sternum.....	79
Base de l'aile antérieure. — Base de l'aile postérieure. — Comparaisons avec Névroptères et Orthoptères.....	84
Muscles du vol. — Hypothèses sur diverses combinaisons de muscles....	87

2. — *Organes du vol chez les Porte-aiguillons.*

Anatomie des ailes. (Concentration du versant antérieur. — Tubérosité antérieure.).....	92
Pronotum (collier). — Mésonotum. — Métanotum. — Mésopleurosternum (mésopleuron avec description des surfaces alifères. — Mésosternum).	93
Métopleurosternum. (Sur le prétendu scutellum du métanotum. — Méta-sternum. — Concentration des deux entosternum.).....	97
Base de l'aile antérieure. (Particularités de l'appareil de pronation et des pièces basilaires du golfe postérieur.).....	101
Base de l'aile postérieure.....	104
Muscles du vol. (Sur un muscle métanoto-dorsal non signalé.).....	105
Facteurs constants des organes du vol.....	107

V. HÉMIPTÈRES.

Caractéristique.....	109
Aile antérieure. (Commissure transversale. — Arcade postérieure. — Mécanisme de l'oscillation longitudinale de l'aile. — Sinussoïde de flexion.).....	109
Base de l'aile. (Quadrilatère. — Quadrilatère postérieur. — Complication de l'arcade postérieure. — Structure de la cellule postérieure. Pleuro-terminal. — Support du voile.).....	113
Aile postérieure.....	117

Mésopleuron (fente antépleurale, alifère). — Métapleuron (face interne). Mésotum. (Grand volume du subpodorsum. — Cercle postérieur.) — Mésosternum	118
Métapleuron; face externe (réduction du golfe antérieur). — Métanotum (mobilité du dôme métanotal). — Muscles du vol	123

VI. LÉPIDOPTÈRES.

Traits généraux	128
Aile antérieure. (Aspect planiforme de la surface alaire. — Écaille. — Cel- lule postérieure. — Comparaisons du port des ailes entre les Lépi- doptères et les Pseudo-Névroptères; de la tubérosité basilaire avec les quadrilatères des Hémiptères.)	128
Un double sigmoïde (comparaison avec celui des Pseudo-Névroptères.) . .	131
Aile postérieure. (Transformation de la nervure antérieure. — Sur les moyens de solidarité des deux ailes.)	134
Aspect cunéiforme du corps principal de l'aile. — Mésopleurosternum. (Pivot mobile antérieur. — Alifère. — Commissure entopleurodorsale; commissure entosternopleurale. — Schéma du mésopleurosternum.) . .	135
Métapleurosternum (grande poche entosternopleurale). — Mésotum. (La fourchette de Chabrier. — Comparaison du subpodorsum avec celui des Porte-aiguillons.) — Métanotum	136
Muscles du vol	143

VII. — COLÉOPTÈRES.

Élytre. (Apophyses et échancrures de la base de l'élytre. — Osselet pos- térieur de l'Hydrophile.)	147
Aile postérieure. (Nervures. — Base de l'aile.)	150
Mode d'accolement à la base des nervures antérieures. — Commissure de torsion. — Arcade terminale des Dytiques. — Mécanisme de la tor- sion longitudinale de l'aile	157
Pleuro-sternum. (Mésopleuron. — Appareil de pronation. — Métapleu- ron. — Sternum.)	158
Mésotum. — Métanotum (schéma du métanotum)	163
Muscles du vol	166

VIII. DIPTÈRES.

Ailes. (Éperon. — Voile.)	169
Commissure de torsion. — Sinussoïde de flexion. — A propos des Para- ptères à bouquet de poils terminal et du naviculaire	171
Thorax	175
Prothorax. — Mésopleuro- et métapleurosternum. (Fente antépleurale. — Mésos- sternum. — Métasternum. — Cercle postérieur. — Postpleuron. — Alifère; appareil de pronation.)	175
Notum. — Comparaison avec les Hémiptères	181
Muscles du vol	184

B. — DES ORGANES DU VOL CHEZ LES VERTÉBRÉS.

IX. CHÉIROPTÈRES.

A propos du rebord proantérieur des Coléoptères. — Rôles du sternum, de la clavicule. — L'humérus n'a pas d'analogue chez les Insectes.....	186
Articulation scapulo-humérale. — Huméro-radiale. — Radio-carpienne (schéma du carpe.)	189
Charpente de la main. — La surface de la main est-elle hélicoïdale. — Éventail hélicoïdal et éventail hyperboloïde.....	192
Sur les muscles du vol. — Du muscle tenseur.....	195

X. OISEAUX.

Appui des ailes; comparaisons avec Chéiroptères et Insectes. — Cavité glénoïde; tête de l'humérus. — Articulation du coude. — Sur l'inflexion de l'humérus.....	198
Schéma des articulations du poignet. — La torsion de l'aile est une somme de torsions échelonnées, et dont l'angle diminue à partir de la base...	205
Sur les muscles de l'aile. — Flexion des plumes cubitales; tension de la membrane antérieure alifère.....	206
Aspect géométrique de l'aile.....	208

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES MACHINES A VOL DANS LA SÉRIE ANIMALE.....	211
--	-----

EXPLICATION DES PLANCHES.

Lettres de renvoi communes à plusieurs figures.

- a*, nervure antérieure.
a', nervure proantérieure ou rebord proantérieur.
sa, nervure subantérieure.
m, nervure médiane.
sm, nervure submédiane.
p, nervure postérieure.
n, nervures intermédiaires.
ad, antédorsum.
d, dorsum; *f*, fente dorsale.
pd, postdorsum ou podorsum.
spd, subpostdorsum ou subpodorsum.
Ep, entopleuron; *Ep'*, apophyse pédio-pleurale.
Ap, antépleuron; φ , fente antépleurale.
Pp, postpleuron.
ast, antésternum.
Est, entosternum; *Est'*, apophyse entosternale.
 α , pivot mobile antérieur.
 β , pivot fixe ou médian.
 γ , pivot mobile postérieur.
 ς , sigmoïde (ς' , sigmoïde antérieur; ς'' , sigmoïde postérieur).
A, tubérosité antérieure; *B*, tubérosité postérieure.
S, submédian; *E*, écaille.
T, terminal; *Pt*, proterminal ou tampon; *plt*, pleuro-terminal; *dt*, dorso-terminal.
R, rétro-médian.
 π , arcade postérieure; *v*, voile.
l, commissure antépleuro-dorsale; *l'*, commissure entopleuro-dorsale.
l'', commissure entosterno-pleurale.
 λ , cercle antérieur; μ , cercle postérieur.
c, parapet supérieur des hanches.

PLANCHE I.

Pseudo-Névroptères.

- Fig. 1. Région supérieure dorso-alare (*Æschna*).
 Fig. 2. Région pleurale (*Æschna*).
 Fig. 3. Abaissement du rebord proantérieur.
 Fig. 4. Vue antérieure du mésonotum (*u*, apophyse onguiculée *sd*, insertion des sternali-dorsaux).

PLANCHE II.

Pseudo-Névroptères.

Fig. 1. Région dorso-alaire.

Fig. 2. Région externe pleuro-alaire (*X*, insertion des préaxillaires; *x*, grand postaxillaire; *x*₂, *x*₃, petits postaxillaires).

Fig. 3. Région interne pleuro-alaire (*pld*, muscle pleuro-dorsal; *Pt*, muscle proterminal ou du tampon).

PLANCHE III.

Orthoptères.

Fig. 1. Région dorso-alaire (Locustide).

Fig. 2. Région pleurale et pleuro-alaire.

Fig. 3. Marche du versant basilair antérieur.

Fig. 4-5. Schéma du plissement et du déplissement.

PLANCHE IV.

Névroptères et Hémiptères.

Fig. 1. Face externe de la région pleurale supérieure de *Panorpe*.

Fig. 2. Région pleuro-sternale (face interne).

Fig. 3. Face interne de la région pleurale supérieure.

Fig. 4. Schéma de pleurosternum.

Fig. 5. Région interne métapleurale de *Cicada*.

Fig. 6. Région interne mésopleurale.

PLANCHE V.

Hémiptères.

Fig. 1. Région dorso-alaire.

Fig. 2. Région montrant la sinusoïde de flexion *z*.

Fig. 3. Région pleuro-alaire de l'aile antérieure.

Fig. 4. Schéma de la cage thoracique.

Fig. 5. Base de l'aile antérieure (face inférieure).

Fig. 6. Coupe transversale des nervures de l'aile antérieure au niveau des terminaisons basilaires.

PLANCHE VI.

Lépidoptères.

Fig. 1. Région dorso-alaire.

Fig. 2. Région pleuro-dorsale du mésothorax (face interne).

- Fig. 3. Région pleuro-dorsale du mésothorax (face externe).
- Fig. 4-5-6. Osselets du versant postérieur de l'aile antérieure.

PLANCHE VII.

Coléoptères.

- Fig. 1. Région dorso-alaire (aile postérieure).
- Fig. 2. Région pleuro-alaire (Id.).

PLANCHE VIII.

Diptères.

- Fig. 1. Thorax de Volucelle (face pleurale externe).
- Fig. 2. Base de l'aile (face supérieure.)
- Fig. 3. Base de l'aile (face inférieure). — *k*, courbe de torsion.

PLANCHE IV.

Neuroptères et Hyménoptères.

- Fig. 1. Face externe de la région pleurale supérieure de l'aile.
- Fig. 2. Région pleuro-sternale (face interne).
- Fig. 3. Face interne de la région pleurale supérieure.
- Fig. 4. Schéma de pleurosternum.
- Fig. 5. Région interne métapleurale de Cicada.
- Fig. 6. Région interne mésopleurale.

PLANCHE V.

Hyménoptères.

- Fig. 1. Région dorso-alaire.
- Fig. 2. Région montrant la sinusoidé de l'épave.
- Fig. 3. Région pleuro-alaire de l'aile antérieure.
- Fig. 4. Schéma de la cage thoracique.
- Fig. 5. Base de l'aile antérieure (face inférieure).
- Fig. 6. Coupe transversale des nervures de l'aile antérieure au niveau des terminaisons basales.

PLANCHE VI.

Lépidoptères.

- Fig. 1. Région dorso-alaire.
- Fig. 2. Région pleuro-dorsale du mésothorax (face interne).