



Conférence du 3 février 2018

L'adaptation au vol des oiseaux et des mammifères

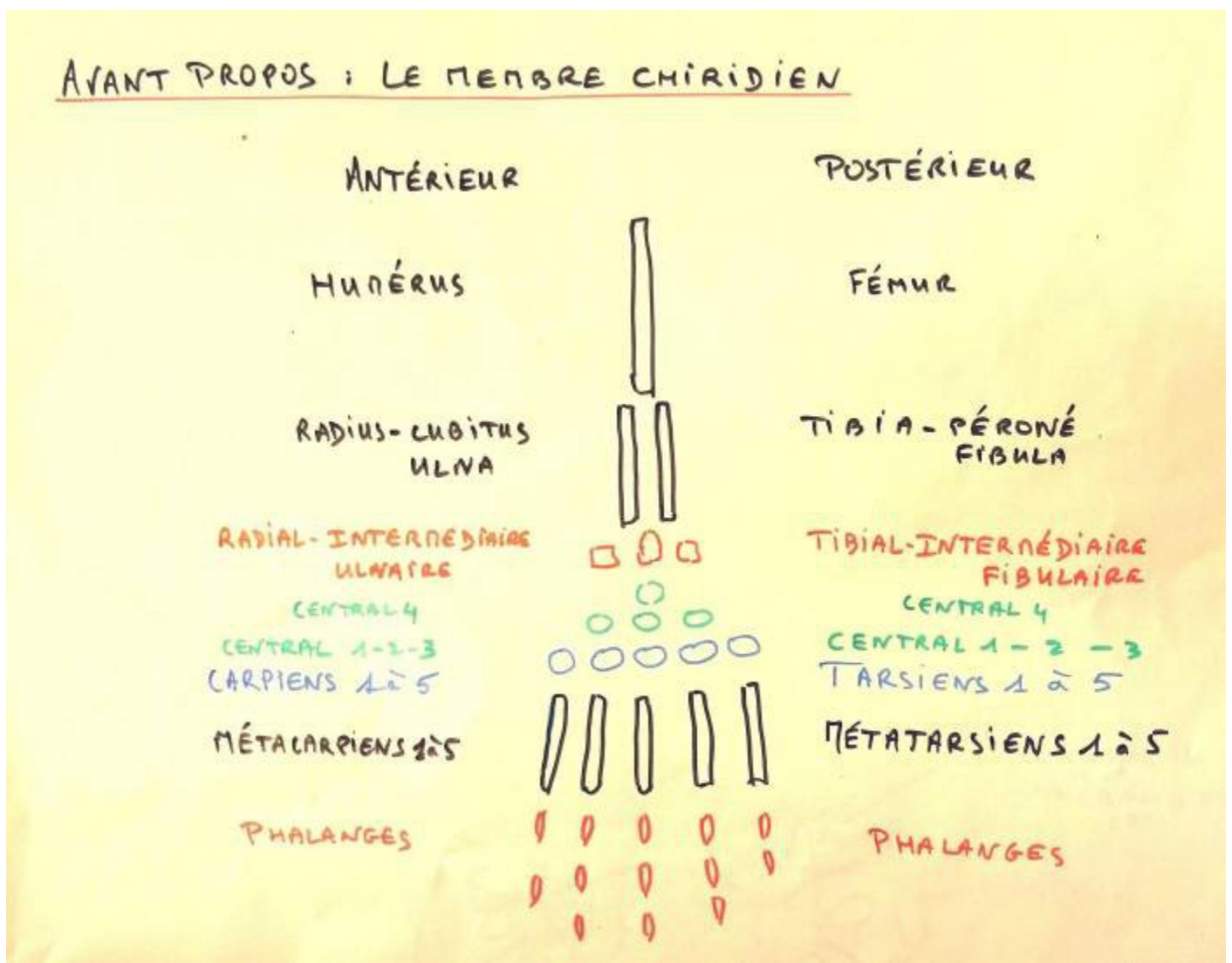
Animateur: Jean-Pierre Chassaing

**Résumé:**

Après des généralités sur le vol des animaux, et guidées par le fil conducteur de l'évolution, les modifications des organes ayant permis le vol ont été présentées en détaillant les contraintes liées au poids, à l'aérodynamique, à la physiologie. Les fonctions impliquées ont été passées en revue, et dans chaque cas, différentes solutions trouvées par la nature en fonction des types d'environnement ont été évoquées. La séance s'est terminée par l'examen de différents organes (os, ailes, plumes) illustrant concrètement l'exposé.

**Participants:** 14 personnes.

Sont données ci-dessous les photographies des planches présentées, accompagnées des commentaires issus de mes notes prises au cours de la conférence.



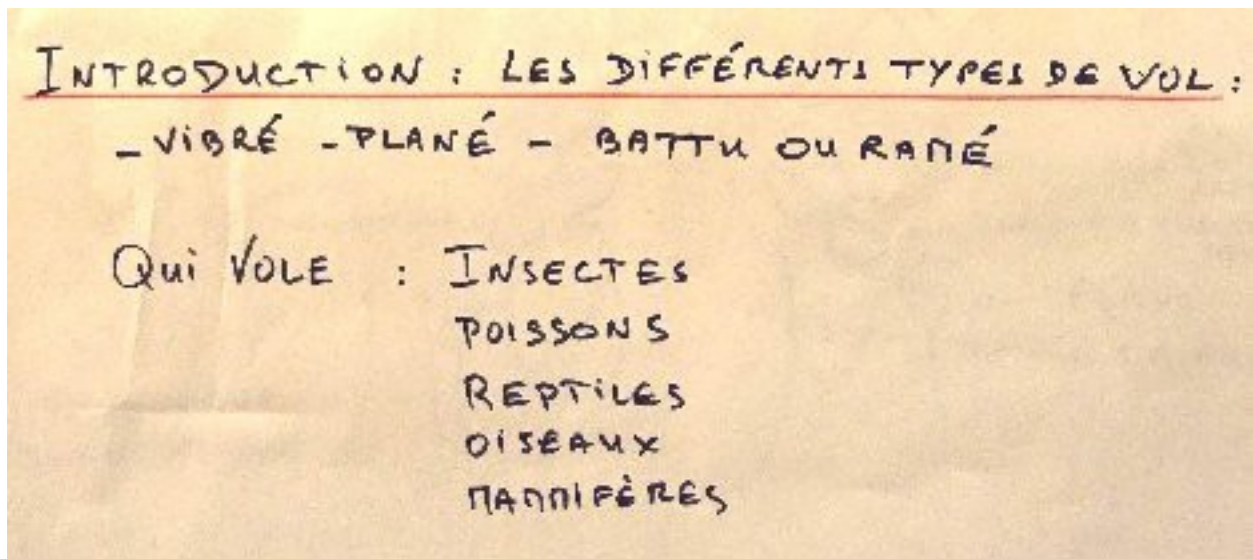
Les membres des vertébrés résultent de la modification des nageoires paires (pectorales et pelviennes) des premiers poissons apparus à l'ère primaire. La structure de ces nageoires primitives – le membre chiridien – est reconnaissable dans les membres de tous les tétrapodes qui ont suivi, aussi bien membres antérieurs que postérieurs. Leur évolution a permis aux vertébrés de conquérir tous les milieux (terre, air). Ainsi, les poissons ont donné naissance aux amphibiens, suivi des reptiles parmi lesquels deux groupes ont permis le vol :

- Les Ptérosauriens (doigt 5 hypertrophié) ont donné ptérodactyle, ptéranodon, rhamphorynque.
- Les Archosauriens (doigt 2 hypertrophié) ont donné les oiseaux.

## Cercle des Naturalistes de Corbeil-Essonnes et Environs

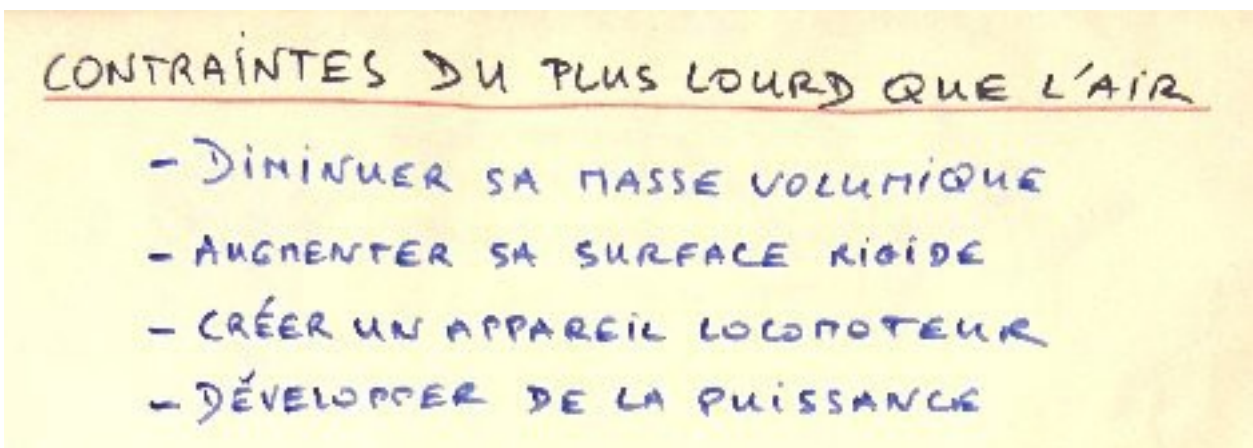
Les grandes étapes qui ont précédé ces apparitions :

- Age de l'Univers : 13,8 milliards d'années
- Age de la Terre : 4,567 milliards d'années (peu après la formation du système solaire)
- Premiers microbes : 4 milliards d'années
- Vie multicellulaire : 1 milliard d'années
- Premiers arthropodes : 570 millions d'années (MA)
- Premiers vertébrés : 530 MA
- Poissons agnates : 520 MA
- Poissons à mâchoires : 500
- Plantes terrestres : 440 MA
- Premiers tétrapodes : 400 MA
- Premiers tétrapodes terrestres : 365 MA
- Reptiles : 330 MA
- Mammifères : 225 MA
- Oiseaux : 160 MA



Le vol est ou a été constaté dans un grand nombre de groupes animaux : la plupart des insectes, quelque poissons (poissons volants = exocets), reptiles préhistoriques, oiseaux, mammifères (chiroptères = chauves-souris). Quelques animaux, sans vraiment voler, ont développé des moyens de ralentir et guider leur chute (écureuils volants).

Il existe plusieurs façons de voler : vol vibré des insectes, vol plané, sans mouvement des surfaces portantes (reptiles de l'ère secondaire, poissons volants, oiseaux grands voiliers), vol battu ou ramé (la plupart des oiseaux, chiroptères).

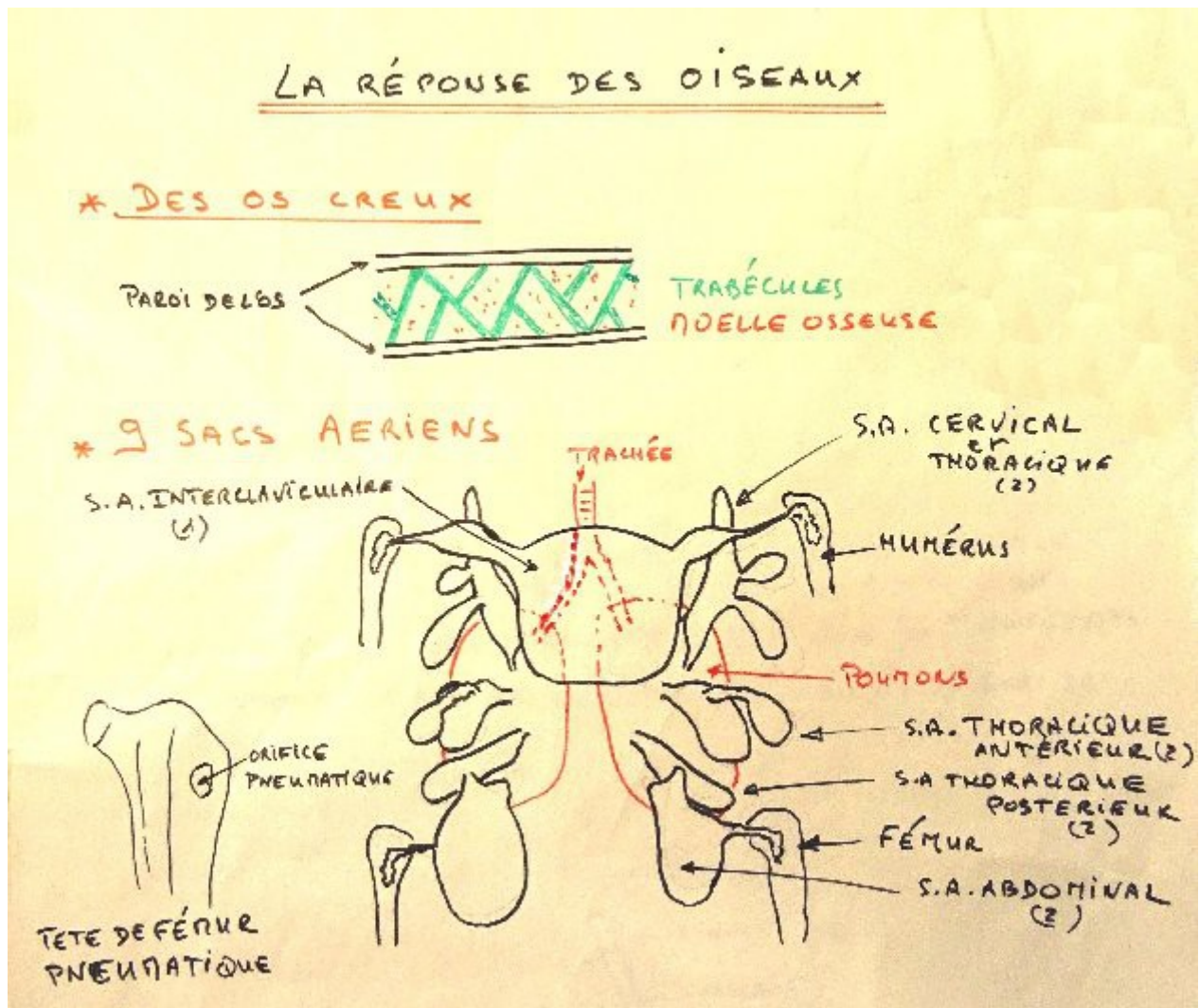


Un certain nombre d'évolutions doivent apparaître pour que le vol soit réalisable de façon soutenue.

- Une masse volumique faible est favorable, elle traduit un allègement global pour un volume donné,

## Cercle des Naturalistes de Corbeil-Essonnes et Environs

- La surface portante, nécessairement rigide ou, au moins raidie, doit être suffisante pour assurer la portance (poussée verticale vers le haut) nécessaire,
- Elle doit être activée par un appareil locomoteur adapté,
- Cet appareil locomoteur exige une grande puissance, pouvant être soutenue longtemps.



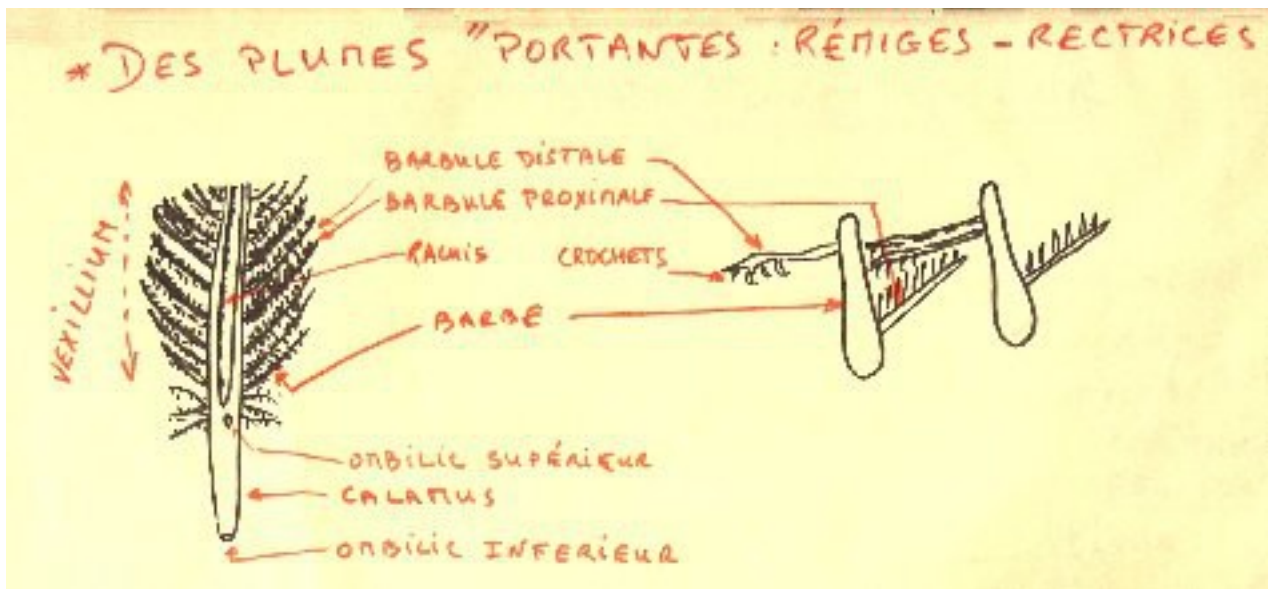
Les os sont creux. Leur paroi est mince, mais la solidité est assurée par des renforts intérieurs, les trabécules.

Neuf sacs aériens donnent du volume pour une faible augmentation de poids. Ce sont :

- Sac aérien interclaviculaire (1),
- Sac aérien cervical et thoracique (2)
- Sac aérien thoracique antérieur (2)
- Sac aérien thoracique postérieur (2)
- Sac aérien abdominal (2).

Les sacs aériens abdominaux pénètrent dans la tête du fémur par l'orifice pneumatique.

Les sacs aériens peuvent remplir d'autres fonctions.

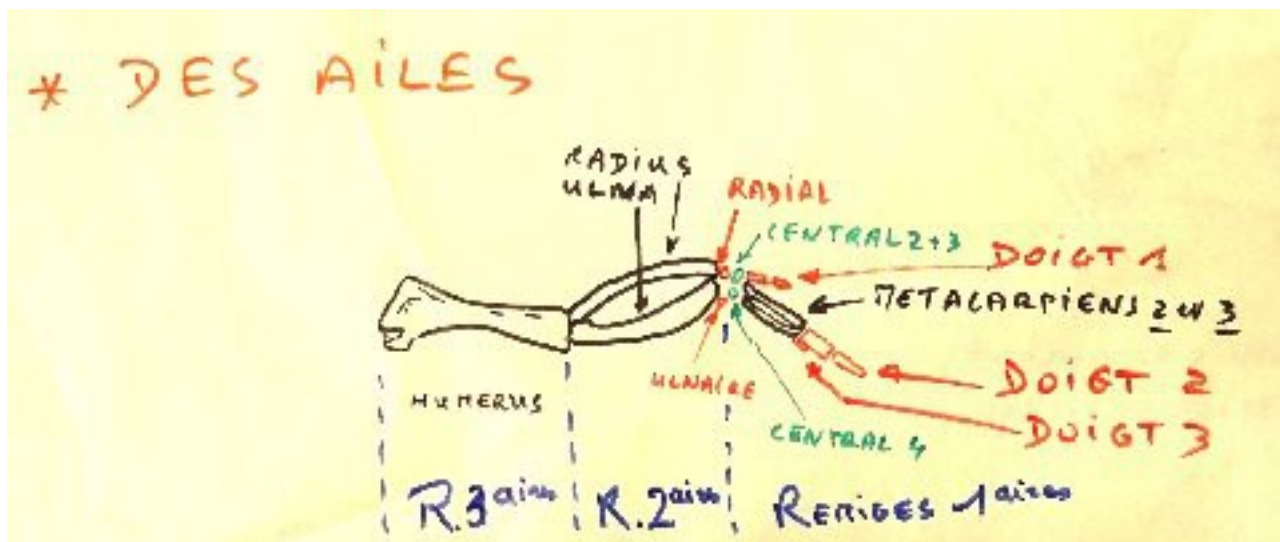


Certaines plumes assurent la portance. Ce sont les rémiges, implantées sur les ailes, et les rectrices, qui forment la queue.

Dans ces plumes, le rachis prolonge le calamus pour former un axe rigide sur lequel sont implantées des barbes, lesquelles supportent des barbules qui sont de deux sortes : les barbules distales, qui portent de fins crochets, et les barbules proximales, sur lesquelles les crochets s'agrippent, assurant la rigidité de l'ensemble.

Les plumes se forment à partir de papilles dermiques, auxquelles s'attachent des fibres musculaires. Chaque papille fabrique un tube permanent, à l'intérieur duquel croissent des cellules qui se kératinisent. Les plumes ont la même origine embryonnaire que les écailles des reptiles et les poils des mammifères.

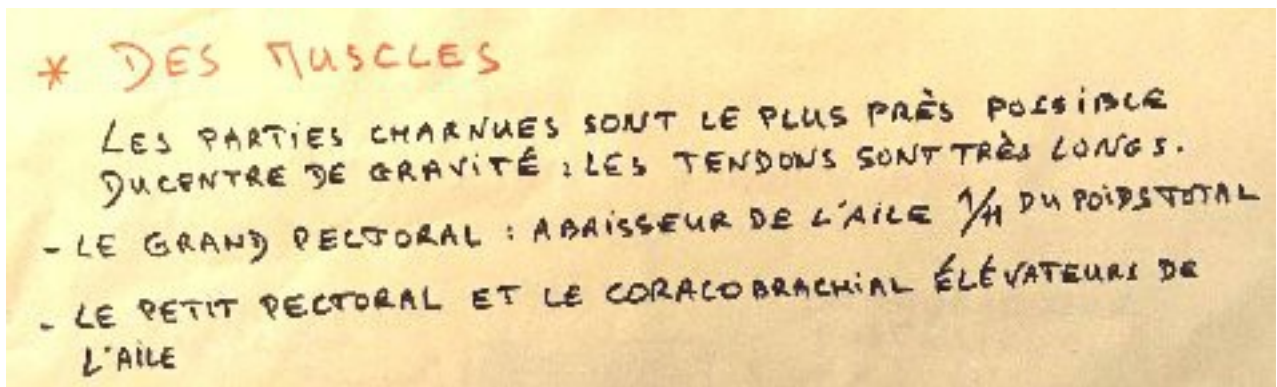
Les plumes sont régulièrement renouvelées, soit pour remplacer des plumes usées, soit dans le cadre des modifications nuptiales du plumage. Elles tombent en général par paires, et sont remplacées au même endroit par des neuves ; ce remplacement est rapide (quelques jours).



Comme précisé en avant-propos, les ailes constituent une évolution du membre chiridien, par soudure de certains os, et par raccourcissement / allongement de certains autres (comparer avec la première planche). Les soudures d'os réduisent et simplifient le système musculaire.

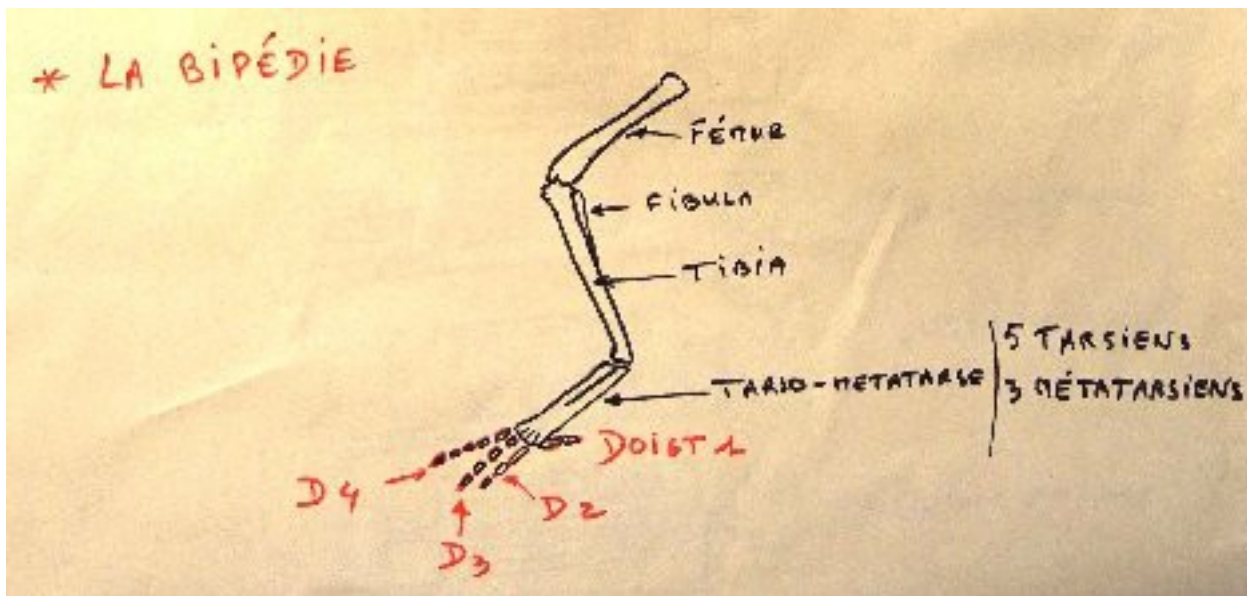
Les différents segments de l'aile portent les rémiges qu'il est traditionnel de désigner par rémiges primaires sur les os de la main, rémiges secondaires sur l'avant-bras, et rémiges tertiaires sur le bras.

Les ailes sont mues par des muscles puissants.



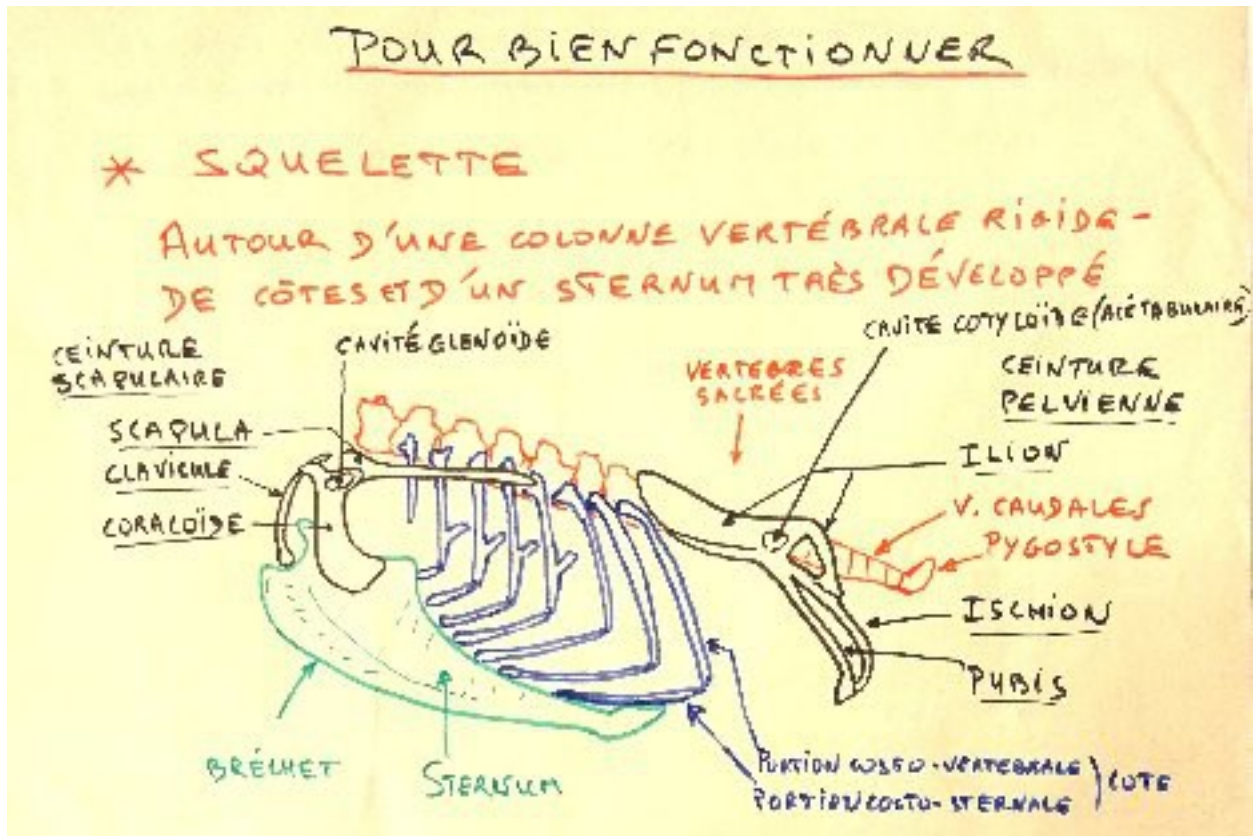
Pour faciliter les évolutions, la masse est concentrée autant que possible autour du centre de gravité. En particulier, les muscles alaires sont concentrés sur le thorax, et leur force est transmise aux différents os par les tendons, qui sont donc particulièrement longs pour les os de la main. Le mouvement propulsif est fourni par le grand pectoral, abaisseur de l'aile et massif, et par le petit pectoral et par le coracobrachial, éleveurs.

La spécialisation du membre antérieur le rend impropre à la marche : les oiseaux sont nécessairement bipèdes.



Ici aussi, la structure résulte de l'évolution du membre chirodien. Les tarsiens et métatarsiens sont soudés en tarso-métatarses, les doigts sont en général au nombre de quatre, trois dirigés vers l'avant, un vers l'arrière.



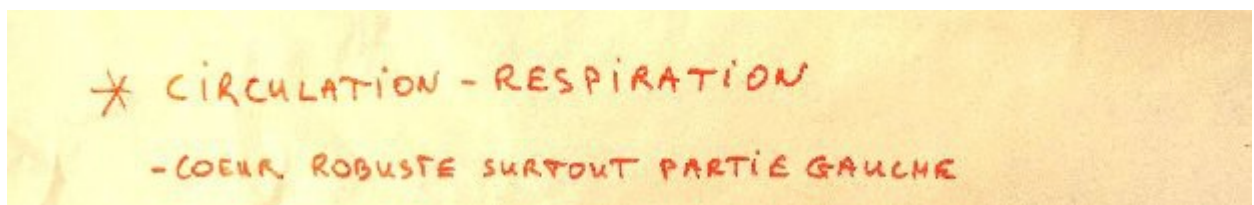


Le squelette des oiseaux est plus rigide que celui des autres vertébrés. Les articulations sont réduites, l'attache des membres dépend moins du squelette que du tonus des muscles.

Les côtes (4 à 10) soutiennent le sternum caréné en un solide bréchet, relié à la ceinture scapulaire (appui des membres antérieurs) par les os coracoïdes. Les clavicules sont réunies à une extrémité pour former une fourchette.

Le nombre des vertèbres va de 39 à 63. La plupart sont soudées entre elles ; les vertèbres sacrées constituent un bloc qui soutient la ceinture pelvienne (appui des membres postérieurs). Elles sont prolongées par les vertèbres caudales dont les dernières sont soudées pour former le pygostyle. Il n'y a pas de symphyse pubienne, ce qui facilite la ponte.

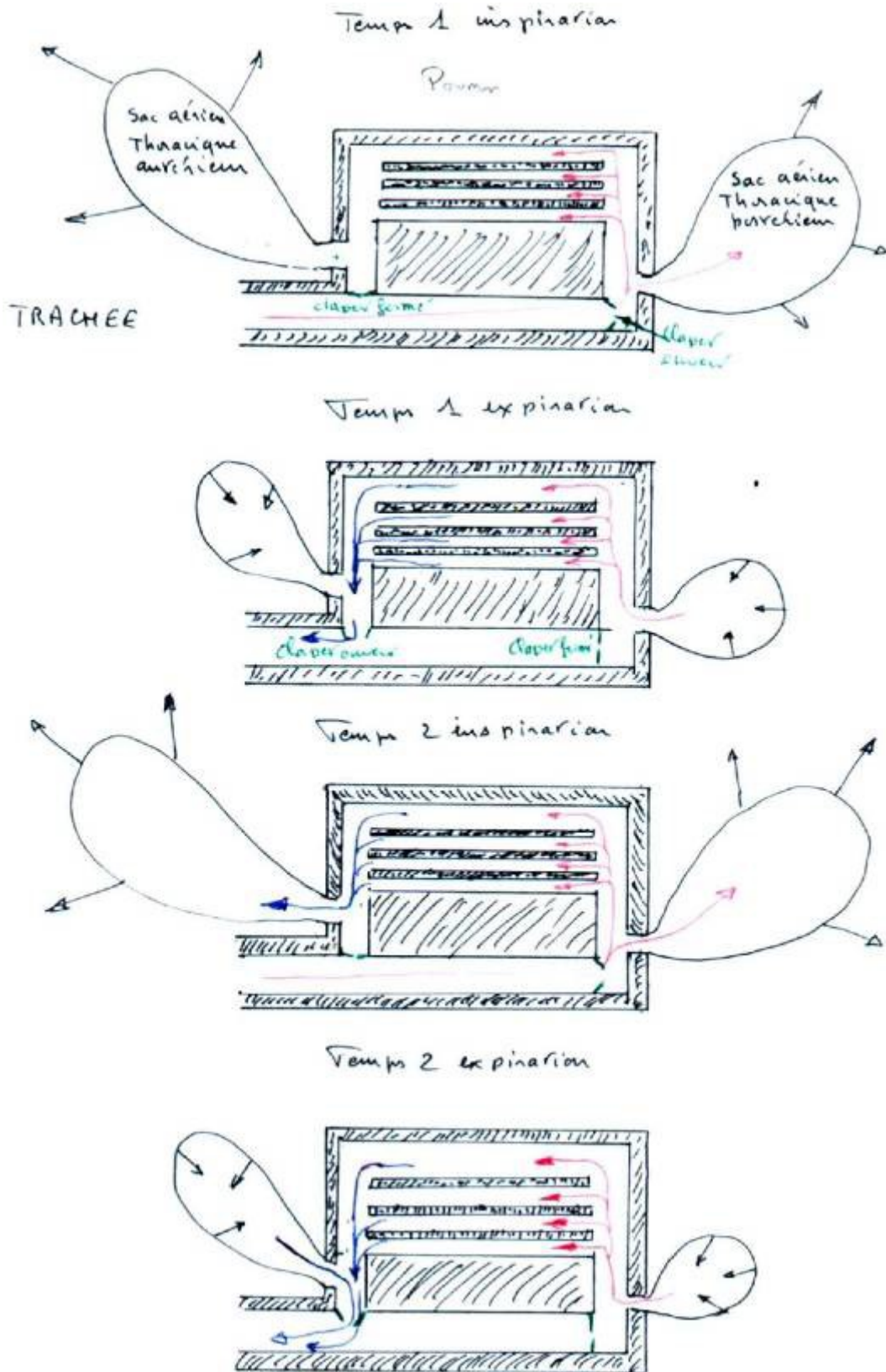
Il n'y a pas de diaphragme, ce qui implique un mode respiratoire particulier.



Le cœur des oiseaux est cloisonné comme celui des mammifères, et alimente donc deux circuits sanguins séparés, l'un envoyant le sang pauvre en oxygène vers les poumons, l'autre envoyant vers les divers organes le sang riche revenant des poumons.

La trachée se sépare en deux bronches qui, dans le poumon, se divisent de nombreuses fois pour constituer un réseau de capillaires aériens étroitement entrelacés aux capillaires sanguins. Leur paroi est extrêmement mince (0,1 à 0,2 /1000 e de mm). Les capillaires aériens se regroupent et débouchent dans les bronches, sans former de cul-de-sac tels que les vésicules pulmonaires chez les mammifères. Des valves jouant le rôle de clapets anti-retour imposent à l'air aspiré ou expiré de circuler en continu à l'intérieur des poumons. Il n'y a jamais d'air résiduel, ce qui améliore l'efficacité des échanges gazeux. Le système est 10 fois plus efficace que chez les mammifères.

Les poumons sont rigides, ils ne changent pratiquement pas de volume. Ils sont petits et non lobés. En l'absence de diaphragme, ce sont les sacs thoraciques antérieurs et postérieurs qui assurent la ventilation.



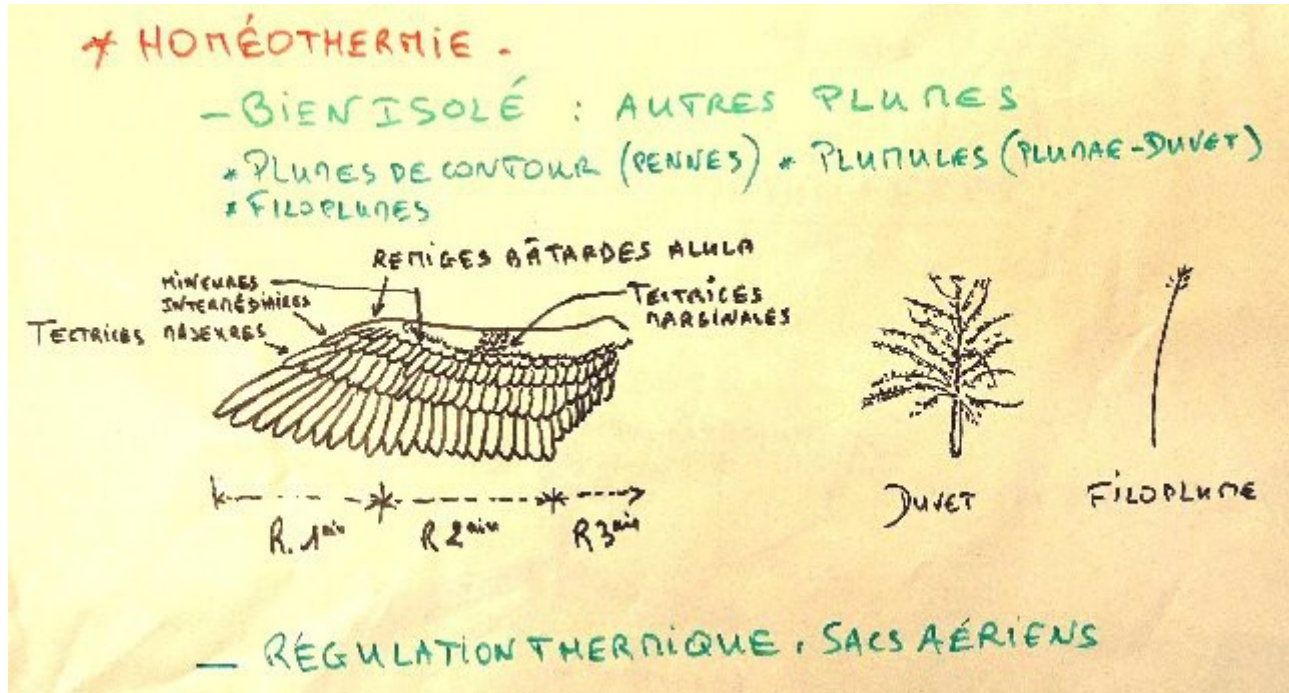
Schématiquement, à l'inspiration, le sac aérien thoracique postérieur et une partie du poumon se remplissent d'air frais, pendant que le sac aérien thoracique antérieur aspire l'air déjà vicié du poumon. A l'expiration, le sac aérien thoracique postérieur envoie son air frais dans le poumon, pendant que le sac aérien thoracique antérieur se vide de l'air vicié dans la trachée.

Lors du vol, l'alimentation des reins est bloquée, de sorte que tout le sang passe par les poumons et bénéficie de l'oxygénation.

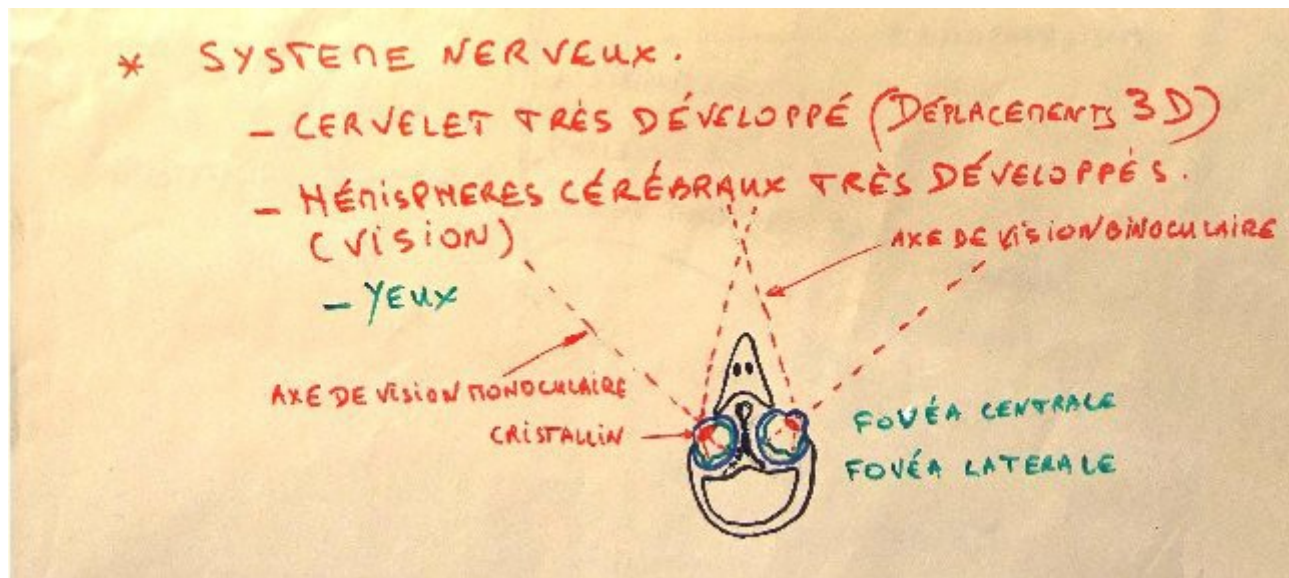
## Cercle des Naturalistes de Corbeil-Essonnes et Environs

Il n'y a pas de vessie, l'urine est mélangée aux excréments et éjectée par le cloaque.

Les oiseaux sont des animaux à sang chaud, dont la température, constante, est légèrement plus élevée que celle des mammifères (38 à 44°C suivant les familles). Ils ont donc besoin d'une bonne isolation thermique.



L'isolation est assurée par des plumes de structure voisine de celle des rémiges et des rectrices. Il y a différentes formes : plumules (duvet), plumes pennées duveteuses, filoplumes, plumes de contour couvrant une grande partie du corps. Les plumes ne se forment pas sur la totalité du corps, mais sur des zones bien délimitées appelées ptérylies.

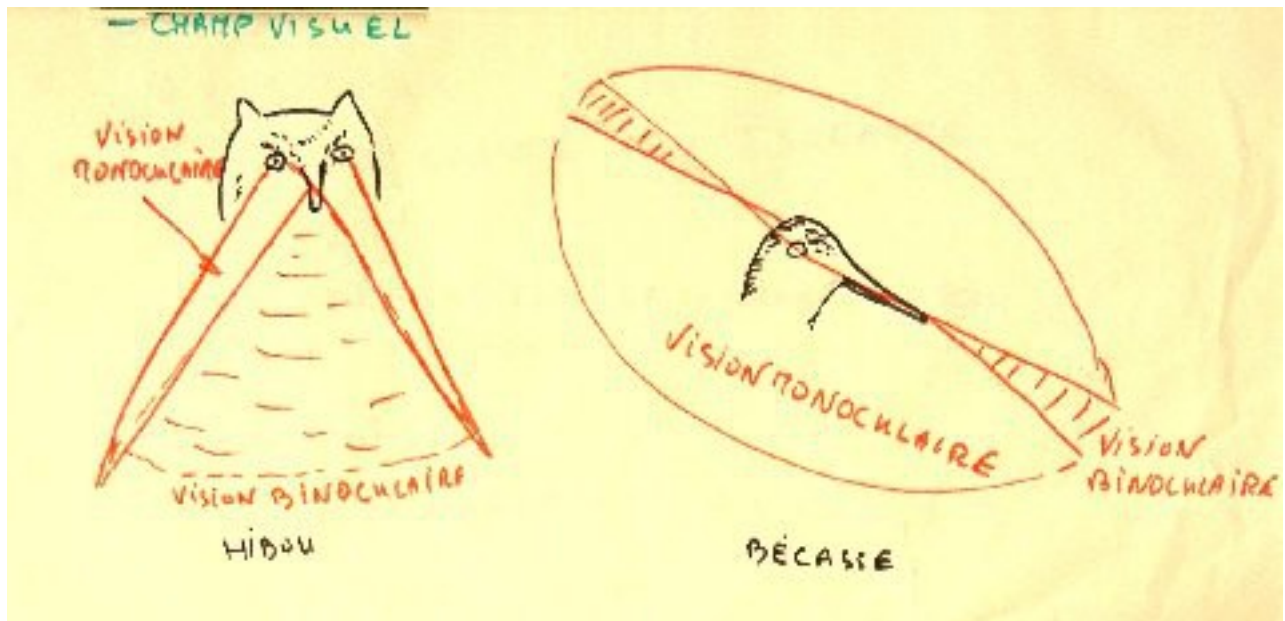


Le sens de l'équilibre se situe dans le cervelet. Celui-ci est très développé, car les oiseaux qui doivent gérer des déplacements rapides en trois dimensions, dans des attitudes souvent acrobatiques.

Le sens de la vision est le plus développé, il est plus performant que celui de l'homme. La constitution du cristallin, comprenant une zone centrale dure, permet une mise au point rapide et étendue, L'oeil dispose de deux fovéas où l'image est plus fine et sensible aux couleurs, dont la fovéa latérale qui lui permet de voir près de son bec,. En outre une acuité visuelle élevée conduit à des performances remarquables : l'aigle perçoit des détails dix fois plus fins que l'homme.

Il en résulte un fort développement des hémisphères cérébraux qui contrôlent le sens de la vue.





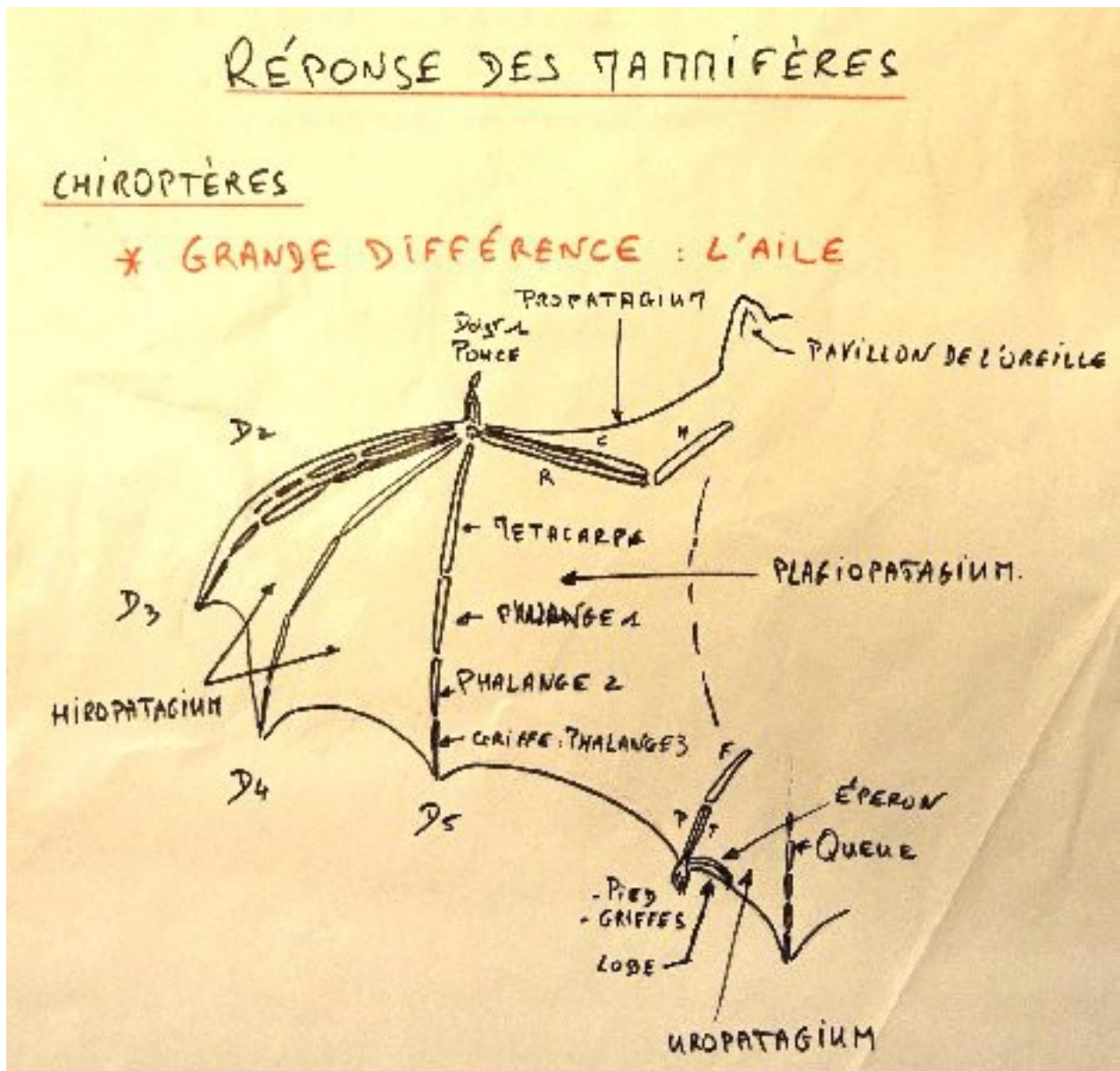
Le champ visuel et plus précisément la vision binoculaire est très variable suivant les espèces. La vision binoculaire des rapaces nocturnes est faciale, mais la grande mobilité de leur tête leur permet de voir tout autour d'eux. La bécasse a une vision monoculaire à 360 °, et deux zones étroites de vision binoculaire, à l'avant (nourriture) et à l'arrière (danger).



Aile de faisan. Il est facile de reconnaître, de gauche à droite, les rémiges primaires, secondaires et tertiaires, et au bord antérieur, les tectrices.



Les plumes peuvent jouer un rôle important dans la parade nuptiale. La roue du paon est l'une des plus spectaculaires



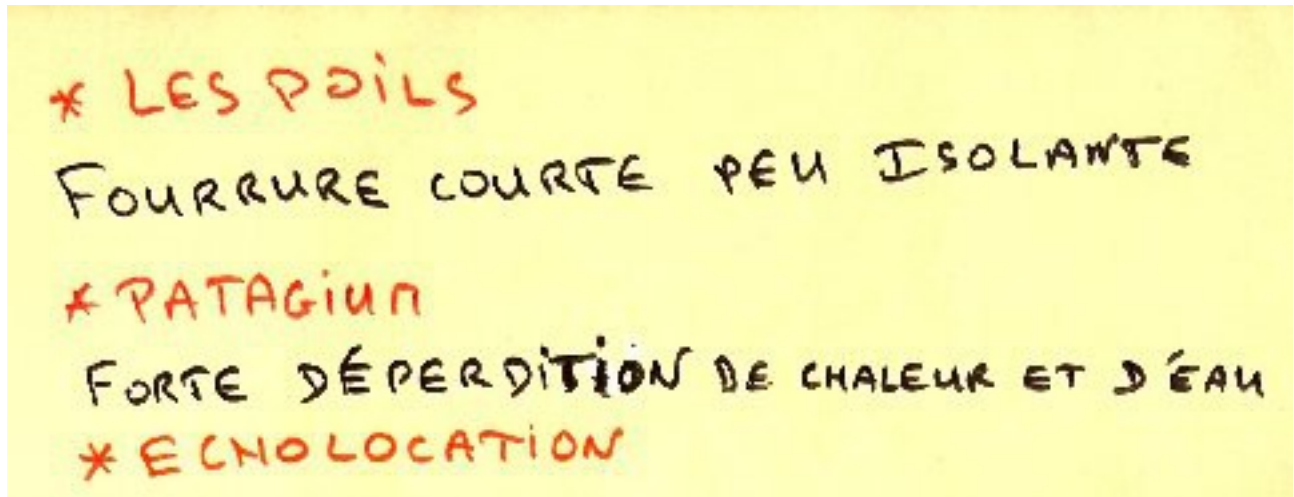
Les mammifères volants ont un point commun avec les oiseaux : le membre antérieur est transformé en aile, membrane tendue à partir des doigts. Elle dérive elle aussi du membre chiridien. Mais elle présente des différences importantes avec l'aile d'oiseau. Outre une extension plus considérable des os de la main et des doigts (sauf doigt D1 réduit à un pouce crochu), la surface portante est un tissu membraneux appelé patagium, qui se décompose en quatre secteurs délimités par les membres : le propatagium, l'hiropatagium, le plagiopatagium, et l'uropatagium tendu par la queue lorsqu'elle existe. Le membre postérieur fait donc partie intégrante de l'aile. L'ensemble correspondant aux os du pied est compact et se termine par des doigts griffus servant d'organe de préhension. Les chiroptères ne peuvent pas vraiment marcher au sol, mais ils sont capables de ramper.

L'uropatagium joue un rôle important lors de la mise bas : il forme alors une sorte de poche qui retient le nouveau-né avant qu'il ne s'agrippe à sa mère et rejoigne les mamelles.

*La reproduction des chiroptères des régions tempérées a une particularité : l'accouplement a lieu en automne, à une période où les femelles ne sont pas fécondes. Le sperme est conservé deux mois dans une capsule qui le libère quand la maturation ovulaire s'est produite, la naissance a lieu au printemps.*

L'intégrité du patagium est évidemment vitale pour la chauve-souris ; en cas de blessure, il est capable d'autoréparation.

Inconvénients supportés par les chiroptères :



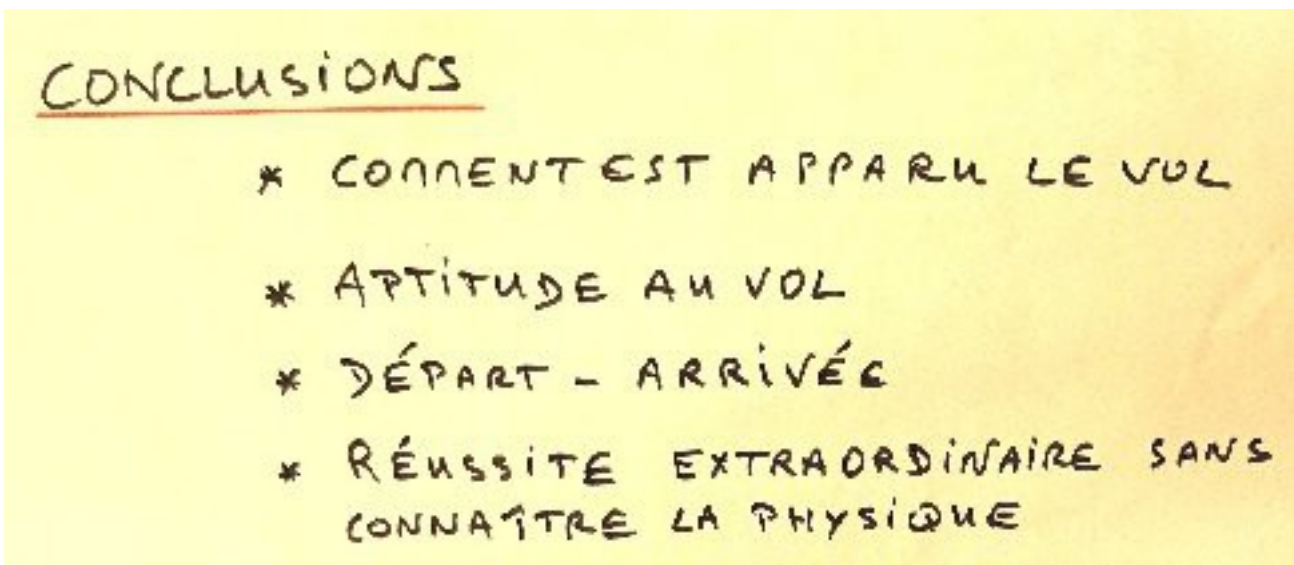
Les poils, assez courts, ne constituent pas une bonne isolation thermique.

Le patagium, mince et fortement vascularisé, provoque une forte déperdition de chaleur.

Les chauves-souris des régions tempérées hibernent en léthargie.

Elles disposent d'un système de guidage par ultrasons (écholocation) très performant, qui leur permet de se déplacer, de s'orienter et de chasser en vol dans le noir absolu.

Les chiroptères sont divisés en deux sous-ordres : les mégachiroptères, de grande taille, frugivores, crépusculaires plus ou moins diurnes, de répartition tropicale (une famille, 18 espèces), et les microchiroptères, de petite taille, insectivores, nocturnes, de répartition tempérée (17 familles, 800 espèces).



Il est probable que les plumes soient apparues sur des animaux arboricoles qui devaient pratiquer une espèce de vol sautillant, de branche en branche.

L'aptitude au vol diffère fortement d'une espèce à l'autre. La forme des ailes détermine le mode de vol : plané pour les ailes longues, battu pour les ailes courtes voire presque rondes, avec de nombreux cas intermédiaires. La fréquence des battements est variable ; dépendant de la taille, elle atteint des valeurs très élevées pour les plus petits oiseaux. Le rythme respiratoire est également associé à la taille : 5 fois par minute pour l'autruche, 200 pour les colibris.

L'envol est très variable : pratiquement sur place, presque vertical (canard de surface, petits passereaux) ou au contraire après une course pour prendre de la vitesse (canards plongeurs, cygnes). Pour le retour sur terre ou sur l'eau, l'oiseau casse sa vitesse par des battements d'aile inversés ; s'il rejoint un perchoir, il se présente plus bas et diminue sa vitesse en remontant.

\*\*\*\*\*

Rédaction : Jean-Pierre Chassaing et Alain de Guerra ; photos : Alain de Guerra