

# MUSÉES DE MONTBÉLIARD

Exposition 2019

## O.V.N.I.

Objets Volants Naturellement Inspirés

11 mai 2019 – 5 janvier 2020



Comment la nature a-t-elle inspiré l'homme pour la conquête de l'air ? L'exposition O.V.N.I. propose de vous transporter dans cette aventure, où se croisent et se côtoient animaux, végétaux et machines volantes. De la graine d'érable au gyroptère, de la libellule au drone, venez découvrir l'application d'observations naturalistes dans la conception d'extraordinaires Objets Volants Naturellement Inspirés.

## DOSSIER DE L'EXPOSITION – DOCUMENTATION

Musée du château des ducs de Wurtemberg

25 200 Montbéliard

Tél : 03 81 99 22 61

Fax : 03 81 99 22 64

[musees@montbeliard.com](mailto:musees@montbeliard.com)

[www.montbeliard.fr](http://www.montbeliard.fr)



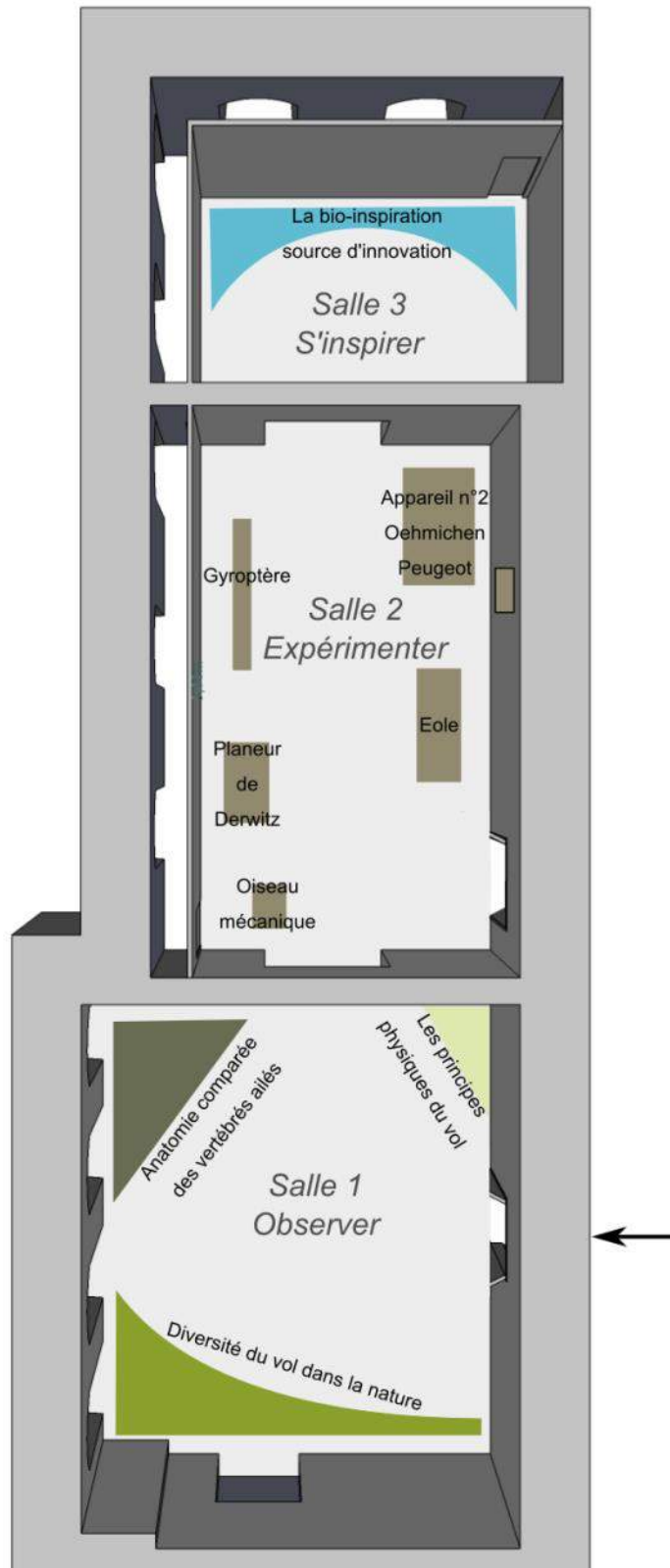
Ville de Montbéliard



## SOMMAIRE

Plan de l'exposition.....	4
Salle 1 - OBSERVER .....	5
La diversité du vol dans la nature .....	5
Anatomie comparée des vertébrés ailés.....	7
Éléments de physique du vol .....	9
Salle 2 - EXPÉRIMENTER .....	11
1872 – Oiseau mécanique d'Alphonse Pénaud .....	12
1891 – Planeur de Derwitz d'Otto Lilienthal .....	12
1890 – Éole de Clément Ader.....	12
1912-1915 – Gyroptère d'Alphonse Papin et Didier Rouilly .....	13
1922-1924 – Appareil n°2 Œhmichen Peugeot.....	13
Salle 3 – INNOVER .....	14
CONCLUSION – Le vol par l'homme : du rêve à la réalité .....	17
Fiches détaillées « Diversité du vol dans la nature ».....	18
Fiches détaillées « Anatomie comparée ».....	43
Fiches détaillées « Appareils » .....	50
Notices biographiques .....	72
Lexique .....	74
Repères chronologiques.....	75

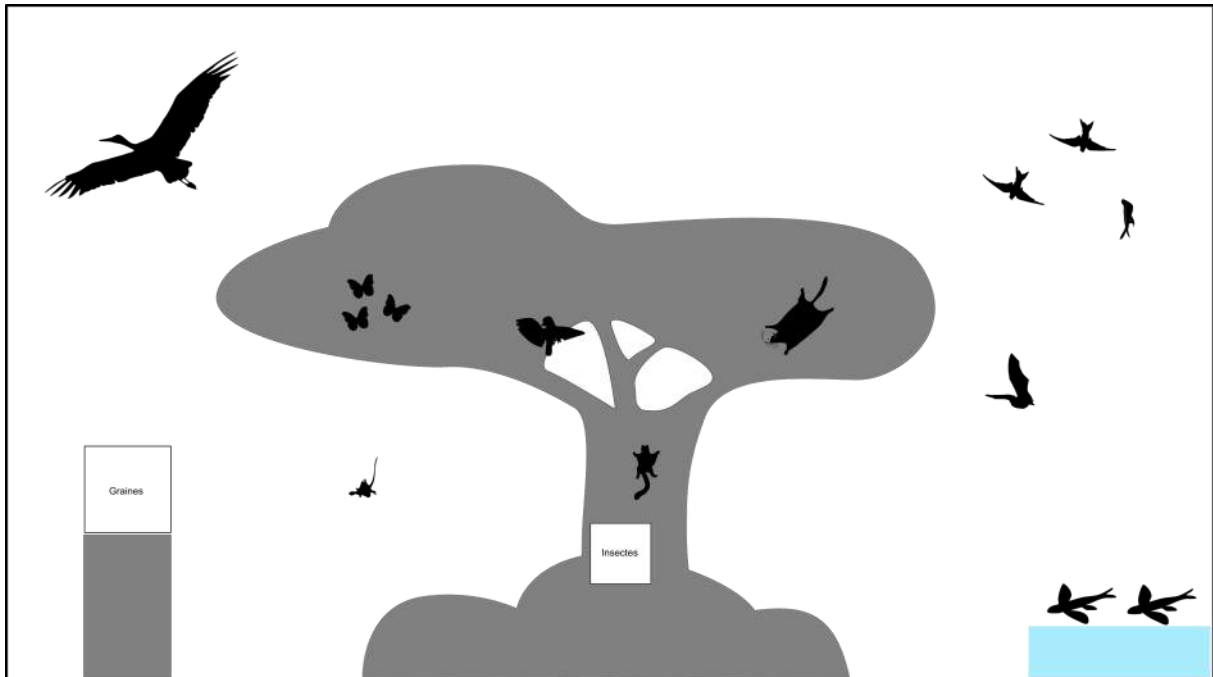
## PLAN DE L'EXPOSITION



## SALLE 1 - OBSERVER

L'exposition débute par une présentation du vol dans la nature, de l'observation d'animaux et d'éléments végétaux à la compréhension de la mécanique et de la physique qui permettent le vol.

### LA DIVERSITÉ DU VOL DANS LA NATURE



*Aperçu de la mise en scène « Diversité du vol dans la nature »*

### Objectif

Observer, à travers quelques exemples de spécimens actuels, animaux et végétaux, naturalisés ou séchés, la diversité des adaptations au vol.

Observer la variété des formes de vol : chute ralentie, vol plané, vol battu.

### Éléments muséographiques

Animaux et végétaux, naturalisés ou séchés, mis en scène sur et autour d'une cimaise-arbre.

Un seul panneau, installé sur un piédestal en avant de l'arbre, contient un court texte de présentation et les cartels des spécimens exposés. Le piédestal fait office de mise à distance.

## **Spécimens exposés**

### **Type de vol : CHUTE RALENTIE**

Graines : Samares d'érables, de frêne commun, d'orme glabre, Cône et samare d'épicéa commun, fruits de tilleul, de clématite des haies, de pissenlit, Coton (collection des musées de Montbéliard)

### **Type de vol : VOL PLANÉ**

Dragon volant (prêt du Muséum - Jardin des sciences, Dijon)

Phalanger volant (collection des musées de Montbéliard)

Écureuil volant (prêt du Muséum - Jardin des sciences, Dijon)

Poissons volants (prêt du Musée des Confluences, Lyon)

### **Type de vol : VOL BATTU**

Cigogne blanche (collection des musées de Montbéliard)

Geai des chênes (collection des musées de Montbéliard)

Martinets noirs (collection des musées de Montbéliard)

Roussette des palmiers africaine (prêt du Musée zoologique de Strasbourg)

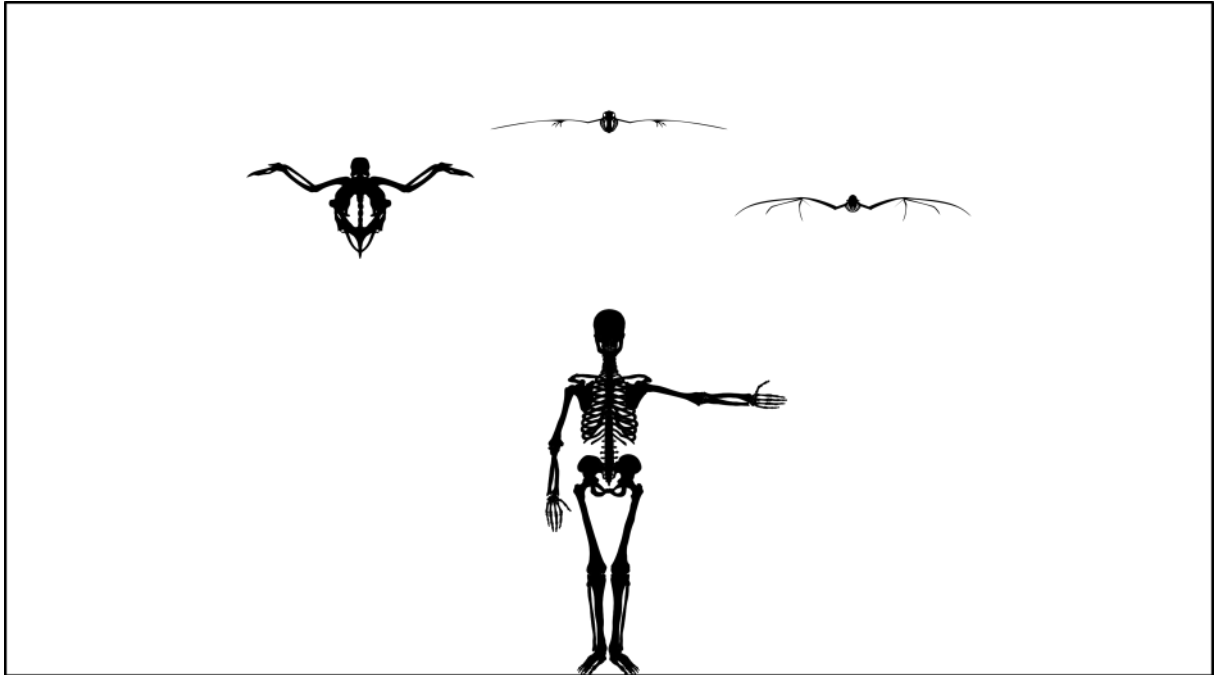
Papillons morpho (collection des musées de Montbéliard)

Insectes (capot) : sphinx, libellule, frelon, criquet, hannetons (collection des musées de Montbéliard)

## **Informations sur les organismes exposés :**

cf. fiches détaillées « Diversité du vol dans la nature »

## ANATOMIE COMPARÉE DES VERTÉBRÉS AILÉS



*Aperçu de la mise en scène « Anatomie comparée des vertébrés ailés »*

### Objectif

Observer la forme des squelettes des différents vertébrés ailés (ptérosaure, oiseau, chauve-souris) en les comparant entre eux et au squelette humain. Comprendre comment ces trois vertébrés sont adaptés au vol, chacun à sa façon.

N.B. : Cela revient à conduire une étude d'anatomie comparée.

### Éléments muséographiques

Squelettes (reconstitutions et naturels) de chacun des trois types de vertébrés ailés, suspendus, et un squelette humain (reconstitué) au sol.

Un seul panneau, installé sur un piédestal en avant de l'installation, contient les cartels des spécimens exposés et un texte sur l'anatomie comparée et une courte biographie de Georges Cuvier. Le piédestal fait office de mise à distance.

### Spécimens exposés

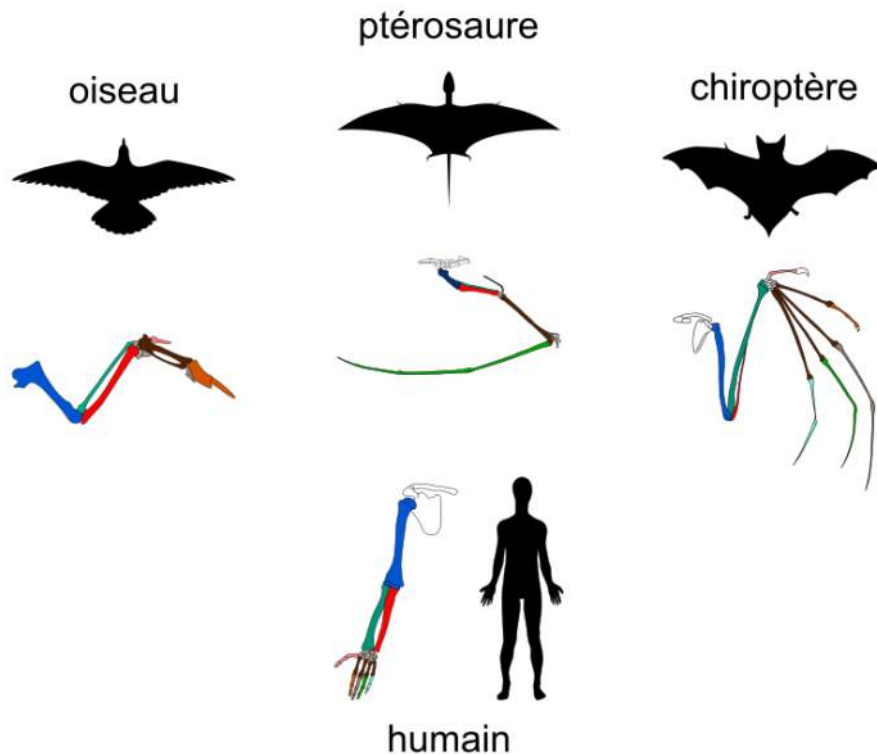
Ptérosaure (reconstitution, acheté pour l'exposition)

Oiseau (squelette de paon, acheté pour l'exposition)

Chauve-souris (squelette d'Hypsignathe monstrueux, acheté pour l'exposition)

Homme (reconstitution d'un squelette humain, acheté pour l'exposition)

**Texte du panneau (hors cartels et note biographique)**



Trois groupes de vertébrés ont acquis la capacité de voler en battant des ailes : les ptérosaures, les oiseaux et les chiroptères (chauves-souris). Que révèlent leurs squelettes sur cette aptitude ?

En examinant et comparant les squelettes de ces trois animaux, deux sortes d'informations peuvent être mises en évidence : leurs relations de parenté et les adaptations liées à leur mode de vie. C'est cela faire de l'anatomie comparée.

Comme l'être humain, ils possèdent un squelette constitué d'un crâne, d'une colonne vertébrale et de quatre membres. Ils appartiennent au groupe des animaux vertébrés tétrapodes. Ils sont ainsi apparentés.

L'adaptation au vol est notable au niveau des membres antérieurs. Ce sont eux qui supportent les ailes, mais de trois façons différentes, révélant que ce processus s'est fait de manière distincte chez ces trois groupes.

L'aile des ptérosaures est constituée d'une membrane portée par le membre antérieur prolongé par un seul doigt très agrandi. Chez l'oiseau, c'est une main partiellement fusionnée, avec des doigts atrophiés, qui sert de support aux plumes. La chauve-souris, elle, vole grâce à une membrane soutenue par quatre des cinq doigts de la main, dont les phalanges sont allongées.

**Informations sur les organismes exposés**

Cf. fiches détaillées « Anatomie comparée »



## ÉLÉMENTS DE PHYSIQUE DU VOL

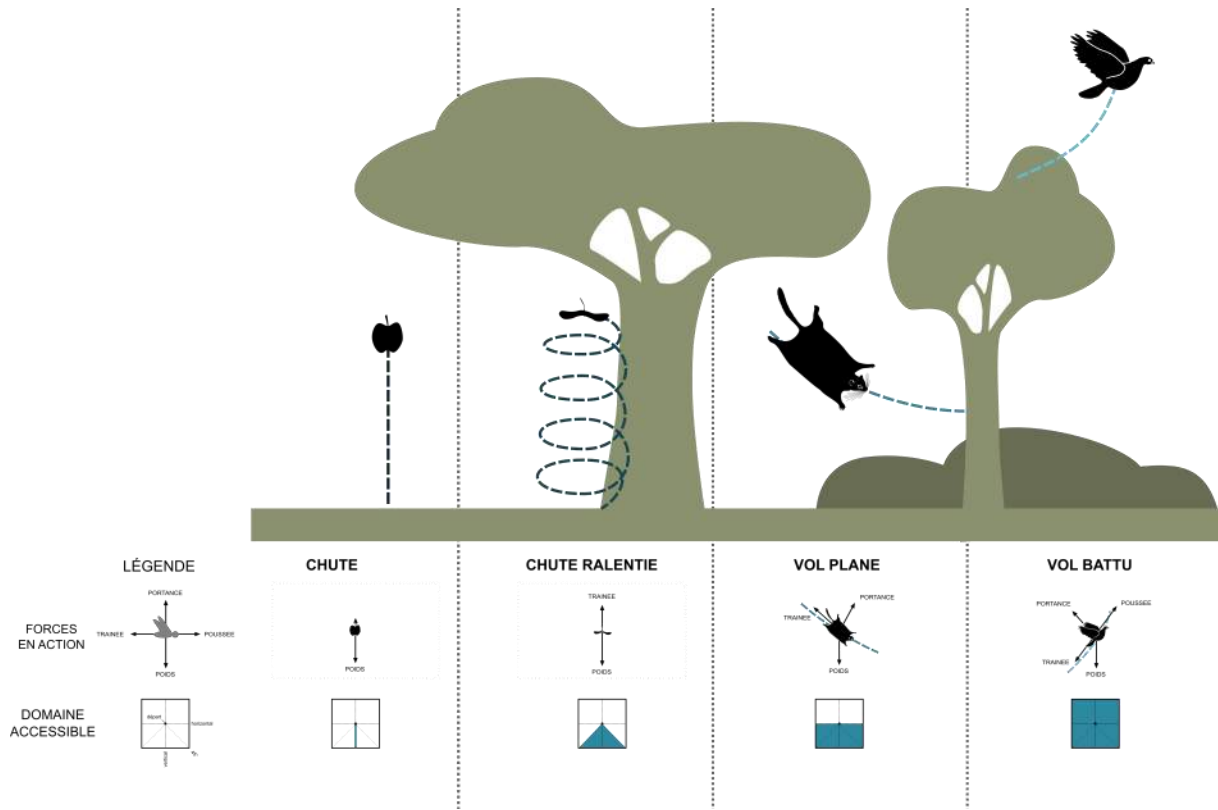


Schéma du panneau « Éléments de physique du vol »

### Objectif

Présentation de quelques éléments de physique du vol, en particulier quelles sont les forces en action dans les différentes formes de vol (chute ralentie, vol plané, vol battu) et comment ces différents vols sont possibles.

### Éléments muséographiques

Un panneau au mur, qui contient un texte explicatif accompagné d'un schéma.

### Texte du panneau

À cause de la gravité terrestre, la force de pesanteur entraîne tout corps mis en suspension dans l'air vers la surface de la Terre (le centre de la Terre plus précisément). Pour une pomme tombant de l'arbre, c'est la CHUTE. La force en jeu est le POIDS.

### CHUTE RALENTIE

Pour certains objets, comme de nombreuses graines ou encore les parachutistes, la chute peut être ralentie quand leur surface est grande par rapport à leur masse. Lors de la chute d'un parachutiste, l'air retenu par la voilure crée une force opposée au mouvement, la TRAINÉE, qui le freine.

## **VOL PLANÉ**

Pour planer, avoir une grande surface est nécessaire mais ne suffit pas. Celle-ci doit pouvoir être orientée pour modifier la trajectoire (angle d'incidence). Ainsi, quand le corps atteint une vitesse suffisante, une force perpendiculaire à la trajectoire apparaît, contrebalançant en partie le POIDS. C'est la force de PORTANCE.

## **VOL BATTU**

Il s'agit d'un vol actif. Pour se déplacer dans toutes les directions de l'espace, comme un oiseau ou une chauve-souris, en plus d'avoir une grande surface portante orientable, il faut avoir un moyen de propulsion. C'est le battement des ailes qui l'assure, créant une force supplémentaire qui s'oppose à la TRAINÉE : la force de POUSSÉE.

## SALLE 2 - EXPÉRIMENTER

Avec la deuxième salle débute la partie dédiée aux technologies humaines inspirées par la nature, celles-ci étant présentées selon un parcours chronologique.

La salle 2 est ainsi consacrée aux machines volantes historiques, réalisées entre la fin du 19<sup>e</sup> et début du 20<sup>e</sup> siècle.

N.B. : Le choix a été fait de ne présenter que des machines qui ont été construites. C'est pourquoi aucune machine volante esquissée par Léonard de Vinci n'est présente.

### Objectifs

Présenter des exemples historiques de machines volantes inspirées par la nature.

### Éléments muséographiques

Cinq maquettes réalisées par les élèves et enseignants en ébénisterie, menuiserie ainsi qu'en conception de produits industriels du groupe scolaire Saint-Joseph Saint-Paul de Besançon, en bois, toile, et, pour certains éléments réalisés avec une imprimante 3D, en matériau dérivé d'amidon de maïs. Sauf la maquette de l'oiseau mécanique (environ taille réelle), les autres maquettes représentent les machines à l'échelle 1/6<sup>e</sup>.

Un film « Interview d'Étienne Œhmichen », film réalisé en 2019 par SacRouge Films, tourné avec un acteur incarnant Étienne Œhmichen et intégrant des documents historiques extraits des collections des musées de Montbéliard et des archives Gaumont ainsi que des illustrations réalisées pour le film. Film d'environ 8 minutes, avec bande sonore et sous-titres en français.

Associé à chaque maquette, un panneau (35 x 25 cm) sert de cartel, incluant aussi une présentation de la machine (source d'inspiration, éléments historiques, informations sur le fonctionnement pour la plupart des machines et devenir du modèle) ainsi qu'une courte biographie de l'inventeur.

Un panneau (40 x 60 cm), intitulé « Le vol par l'homme : du rêve à la réalité », placé à proximité de la sortie de l'exposition, qui est conçu comme pouvant être lu à l'entrée du visiteur dans la salle, comme texte de salle, ou au moment de la sortie de l'exposition, comme conclusion de l'exposition. (cf. chapitre « Conclusion – Le vol par l'homme : du rêve à la réalité »)

### Objets exposés

Oiseau mécanique d'Alphonse Pénaud (1872)

Éole de Clément Ader (1890)

Planeur de Derwitz d'Otto Lilienthal (1891)

Gyroptère de d'Alphonse Papin et Didier Rouilly (1912-1915)

Appareil n°2 d'Étienne Œhmichen (1922-1924) (maquette et film présentant la machine)

### Informations complémentaires sur les machines exposées

Cf. fiches détaillées « appareils »

#### 1872 – OISEAU MÉCANIQUE D'ALPHONSE PÉNAUD

##### Texte du panneau (hors cartels et note biographique)

Cet oiseau mécanique, à structure originelle en acier, fait sensation quand il prend son envol et traverse la salle des séances de la Société de navigation aérienne le 20 juin 1872. C'est un des premiers « plus lourds que l'air »\* qui réussit à prendre de l'altitude en cours de vol. Il s'inspire du vol battu des oiseaux. Ses ailes, actionnées par un caoutchouc en torsion, reproduisent les deux principaux mouvements des ailes d'oiseaux : l'abaissement et relèvement successifs combinés au changement d'orientation du plan des ailes lors du battement.

Ce mécanisme est repris depuis par plusieurs jouets, comme l'oiseau Tim.

#### 1891 – PLANEUR DE DERWITZ D'OTTO LILIENTHAL

##### Texte du panneau (hors cartels et note biographique)

En s'élançant de la colline de Derwitz (nord-est de l'Allemagne) à bord de son planeur en 1891, Otto Lilienthal réalise un exploit en volant sur quelques dizaines de mètres à près de 5 m d'altitude. Préalablement, l'étude détaillée de la morphologie des ailes d'oiseaux, de la cigogne en particulier, lui a fait comprendre l'importance de leur courbure, qui augmente la portance lors du vol. Ce planeur, premier d'une longue série, applique avec succès cette observation.

Les deltaplanes actuels sont les descendants directs des planeurs de Lilienthal.

#### 1890 – ÉOLE DE CLÉMENT ADER

##### Texte du panneau (hors cartels et note biographique)

Le 9 octobre 1890, dans le parc du château de Gretz-Armainvilliers (Seine-et-Marne), une curieuse machine à vapeur, semblable à une chauve-souris, s'arrache avec difficulté du sol pour un vol, court mais historique. C'est l'Éole, avec Clément Ader à son bord. Cet « appareil ailé pour la navigation aérienne dit Avion », selon le brevet, est directement inspiré de la morphologie d'un grand chiroptère\*, la roussette des Indes. L'ingénieur reproduit jusqu'aux articulations des membres antérieurs, afin de rendre sa machine facilement transportable les ailes repliées.

Deux autres « avions », le Zéphyr et l'Aiglon, suivront ce premier prototype.

### 1912-1915 – GYROPTÈRE D'ALPHONSE PAPIN ET DIDIER ROUILLY

#### Texte du panneau (hors cartels et note biographique)

Une étrange machine à longue aile projette de grandes gerbes d'eau en tournant sur elle-même sur le lac de Cercey (Côte d'Or) le 31 mars 1915. C'est le gyroptère qui tente de s'envoler. Son principe : la rotation d'une aile unique autour d'un axe, constitué par la nacelle, grâce à la propulsion d'un jet d'air à son extrémité. Inspiré de la graine d'érable, ce système promet de décoller et atterrir verticalement, d'évoluer dans l'air ou au point fixe et, en cas de panne moteur, de ralentir la chute.

Faute de moteur assez puissant, ce projet n'a pas abouti... jusqu'à la réutilisation du modèle samare pour la conception de drones actuels !

### 1922-1924 – APPAREIL N°2 ŒHMICHEN PEUGEOT

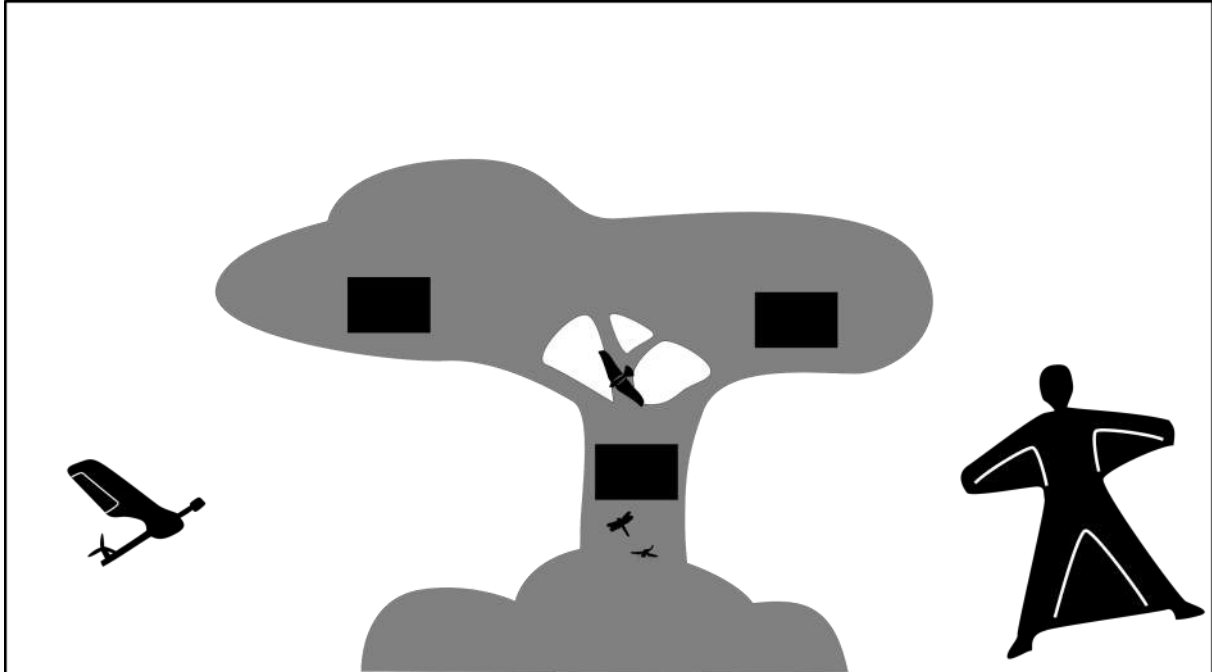
#### Texte du panneau (hors cartels et note biographique)

Le soir du 4 mai 1924, la plaine d'Arbouans (Doubs) résonne des vrombissements du vol d'un drôle d'insecte géant, fait de toile et d'aluminium. Pour la première fois au monde, un hélicoptère, l'appareil n°2 d'Étienne Œhmichen, est en train de parcourir un circuit de 1 km en boucle fermée. Cet engin aux multiples hélices met en application les mécanismes de récupération d'énergie du vol animal, que son inventeur a mis en évidence, en scrutant oiseaux et insectes avec son regard d'ingénieur (approche biomécanique).

D'autres appareils volants suivront ainsi que de nombreux brevets, dont certains ont marqué l'histoire de l'hélicoptère moderne.

## SALLE 3 – INNOVER

La troisième salle poursuit le parcours chronologique initié dans la salle précédente. Ici sont présentés des objets volants naturellement inspirés issus des technologies actuelles voire futuristes.



*Aperçu de la mise en scène « La bio-inspiration, source d'innovation »*

### Objectif

Montrer comment la nature sert, encore de nos jours, de source d'inspiration, y compris pour le développement de nouvelles technologies.

### Éléments muséographiques

Prototypes de drones divers, films de démonstration, jouet volant et combinaison ailée, mis en scène sur et autour d'un arbre-cimaise, qui répond à l'arbre présentant la diversité du vol dans la nature de la salle 1. Les objets exposés seront sous capot ou dans une vitrine, sauf la combinaison ailée.

**ATTENTION : Il est interdit de photographier les prototypes « libellule » de SilMach.**

Un seul panneau, installé sur un piédestal en avant de l'arbre, contient un texte de présentation sur la bio-inspiration aujourd'hui ainsi que les cartels des objets exposés. Le piédestal fait office de mise à distance.

### Objets exposés

Prototype de drone samare de l'école d'ingénieur ECE Paris (prêt de l'ECE Paris et de l'ONERA)

Films de démonstration des prototypes de l'entreprise FESTO (films propriété de l'entreprise FESTO, montage réalisé par SacRouge Films avec leur autorisation)

Deux prototypes et film de démonstration des drones « libellules » de la société SilMach (prêt de la société et de la Direction générale de l'armement)

Bionic Bird, jouet volant radiocommandé de la société XTim (don de XTim)

Combinaison ailée (ou Wingsuit) (prêt de l'école de parachutisme Nord Franche-Comté)

## **Texte du panneau**

### **La bio-inspiration, source d'innovation**

Approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques, la bio-inspiration ouvre aujourd'hui de nouvelles voies à la conquête du ciel par l'homme.

Mêlant sciences de la vie et sciences de l'ingénieur, cette approche pluridisciplinaire connaît un essor extraordinaire depuis les années 1990. L'aéronautique est un domaine bénéficiant de nombreuses innovations technologiques bio-inspirées. Qu'elles améliorent les performances d'appareils existants ou donnent le jour à de nouveaux engins, elles prennent toujours la nature comme modèle. C'est ainsi que l'air se peuple d'êtres étranges, mi-hommes, mi-écureuils volants, ou de drones mimant si bien oiseaux, chauves-souris ou insectes, que leurs congénères vivants s'y trompent parfois.

### **Drone samare de l'ECE Paris, 2013-2014**

Développé dans le cadre d'un projet d'étude par des élèves ingénieurs de l'ECE Paris, ce drone vole selon le principe des graines ailées tournant sur elles-mêmes, les samares. La graine d'érable a été choisie comme modèle afin de réaliser un prototype à coûts économique et énergétique réduits.

### **Smartbird, eMotionButterflies, BionicOpter, Bionic FlyingFox de FESTO, 2011 - 2018**

Du Smartbird (goéland, 2011) au Bionic FlyingFox (chauve-souris, 2018) en passant par le BionicOpter (libellule, 2013-2014) et les eMotionButterflies (papillons, 2015-2017), voici quatre exemples de robots bio-inspirés développés par le Bionic Learning Network, groupe de recherche et développement de l'entreprise allemande FESTO. De tailles centimétriques et ne pesant que quelques grammes chacun, ces démonstrateurs résultent d'études conjointes entre naturalistes et ingénieurs pour trouver des systèmes automatisés permettant d'imiter au mieux les modèles naturels. Ces projets servent de base à la mise au point de nouvelles solutions technologiques adaptées aux enjeux de demain.

### **Microdrone libellule de SilMach et de la D.G.A., 2017**

Le microdrone « Libellule » est conçu et réalisé par la société bisontine SilMach, avec le soutien de la Direction générale de l'armement. Il s'agit d'un démonstrateur du savoir-faire de cette entreprise dans le domaine de la micromécanique. Ces deux prototypes sont de la dernière génération de ce drone directement inspiré de la libellule. Comparables en taille à l'original naturel, leurs ailes sont actionnées grâce à un moteur micrométrique en silicium, issu de la technologie MEMS (micro-systèmes électro-mécaniques). Encore en cours de développement, ces drones témoignent des progrès technologiques vers l'ultra-miniaturisation, où les insectes deviennent des références.

### **Bionic bird de E. Van Ruymbeke, XTim, 2015**

Ce drone inspiré de l'oiseau, de la taille d'une hirondelle, est capable de voler en battant des ailes. Commandé à distance par bluetooth (Norme de communication par ondes radio entre appareils électroniques équipés, comme les smartphones) et d'une autonomie de plusieurs minutes, il s'agit de la version moderne d'un jouet mécanique à élastique créé dans les années 1960, l'oiseau Tim. Très léger (moins de 10g), sa conception est une réelle performance micro-technologique.

### **Combinaison ailée ou Wingsuit**

Les combinaisons ailées jouent le même rôle que les membranes tendues entre les pattes des écureuils volants, à savoir augmenter la portance lors d'un saut, ralentissant la chute, tout en permettant plus de manœuvrabilité et un déplacement horizontal. Si des tentatives, souvent fatales, ont été faites dès les années 1930, la version moderne voit le jour dans les années 1990. Utilisée pour des sauts depuis un avion ou un point fixe, la wingsuit est aujourd'hui toujours associée à un parachute, pour une réception en douceur. Mais demain peut-être verrons-nous de nouvelles combinaisons pouvant assurer aussi l'atterrissage sans parachute ?

### **Informations sur les objets exposés**

Cf. fiches détaillées « appareils »



## CONCLUSION – LE VOL PAR L'HOMME : DU RÊVE À LA RÉALITÉ

Le texte intitulé « Le vol par l'homme : du rêve à la réalité » est placé sur un panneau situé en salle 2, à proximité de la sortie de l'exposition. Ce texte est conçu pour pouvoir être lu soit à l'entrée du visiteur dans la salle, soit au moment de la sortie de l'exposition, comme conclusion de l'exposition.

### Élément muséographique

Un panneau (40 x 60 cm), intitulé « Le vol par l'homme : du rêve à la réalité », placé à proximité de la sortie de l'exposition en salle 2.

### Texte du panneau

#### Le vol par l'homme : du rêve à la réalité

L'oiseau et l'insecte volent avec grâce et aisance dans le ciel, allant où ils veulent sans contrainte. Depuis la nuit des temps, l'homme rêve de pouvoir les imiter. C'est vers la nature qu'il se tourne spontanément pour y trouver une solution.

La mythologie grecque nous rapporte l'ingéniosité de Dédale qui, afin de fuir la Crète et échapper au roi Minos par les airs, fabrique, pour lui et son fils Icare, des ailes faites de plumes disposées comme celles des oiseaux. Au 15<sup>e</sup> siècle, c'est après avoir longuement observé libellules et oiseaux que Léonard de Vinci esquisse d'étranges machines volantes, comme son ornithoptère, aux ailes mues par un homme. Au tout début du 19<sup>e</sup> siècle, le vol des corbeaux inspire à George Cayley, un des pères de l'aérodynamique, un projet de planeur aux ailes inclinées.

Les premiers « plus lourds que l'air » qui s'élèvent timidement dans le ciel à partir de la fin du 19<sup>e</sup> siècle résultent aussi d'études préalables de la nature. Les travaux d'Étienne-Jules Marey sur le vol animal et ses clichés chronophotographiques d'oiseaux ont suscité nombre d'inventions. Oiseau mécanique, planeur, hélicoptère... : l'oiseau est une des principales sources d'inspiration mais ce n'est pas la seule. Insecte, chauve-souris et graine d'érable en sont également.

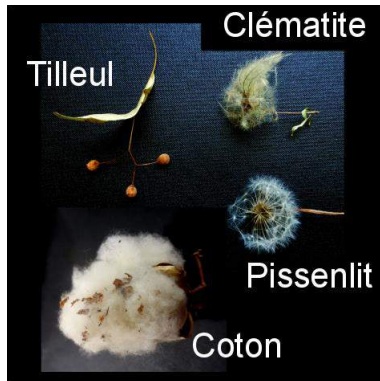
La combinaison des progrès techniques avec ceux de la connaissance de la nature, liée au développement de moyens d'observation, permet l'invention de nouveaux et extraordinaires objets volants naturellement inspirés. La nature se révèle une source inépuisable et diversifiée d'inspiration, qui trouve une place au cœur du développement technologique. En cherchant à l'imiter, l'homme apprend d'elle. Plus qu'un lieu de simples ressources matérielles, la nature est une source de connaissances et d'expérience.

## FICHES DÉTAILLÉES « DIVERSITÉ DU VOL DANS LA NATURE »

Liste des fiches :

- Graines portées par le vent
- Graines – samares
- Dragon volant
- Phalanger volant
- Écureuil volant
- Poissons volants
- Cigogne
- Geai
- Martinet noir
- Chauve-souris
- Insectes (papillons morpho inclus)

## GRAINES PORTÉES PAR LE VENT (SAUF SAMARES)



Formes exposées (collection des musées de Montbéliard)

### Classification

Règne :	Plantes
Classe :	Spermatopsides

### Caractéristiques

Longueur : centimétrique  
Poids : quelques grammes

### Mode de vol

Vol passif  
Chute ralentie

### Informations complémentaires

La dispersion des graines par le vent (anémochorie) est le moyen de dispersion le plus répandu parmi les végétaux terrestres. Pour permettre cette dispersion par le vent, une multitude de formes sont apparues au cours de l'évolution.

#### - Graines ailées

Il en existe plusieurs sortes.

- les **samars** dont l'aile membraneuse est dérivée du péricarpe (cf. fiche dédiée)
- autre cas, le **tilleul**.

Chez le tilleul, l'aile est constituée par une bractée (feuille proche de la fleur et donc du fruit) qui est associée à un ensemble de fruits (2-3) en capsules.

### Tilleuls (*Tilia* sp. Linné, 1753 ; de l'Ordre des Malvales)



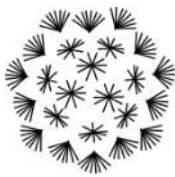
GB : *Lime tree* ; D : *die Linde*

Les tilleuls sont des arbres ou arbustes décidus (feuilles tombant en hiver) des zones tempérées d'Amérique du Nord, d'Europe et d'Asie. Il en existe près de 30 espèces.

#### - Graines à plumet

La graine est contenue dans une petite enveloppe sèche surmontée d'un plumet, de forme variable, qui sert de parachute.

### Pissenlits (*Taraxacum* sp. F.H.Wigg., 1780; de l'Ordre des Astérales)



GB : *Dandelions* ; D : *der Löwenzahn*

Les pissenlits sont des plantes herbacées à fleurs composées, originaires des zones tempérées d'Amérique du Nord, d'Eurasie. Certaines espèces parmi les plus communes sont maintenant présentes partout dans le monde.

Les graines sont des akènes (graine unique dans une capsule qui ne s'ouvre pas spontanément) munis d'**aigrette (ou pappus)**, selon la terminologie botanique).

### Clématite des haies (*Clematis vitalba* Linné, 1753 ; de l'Ordre des Ranunculales)



GB : *Traveler's joy* ; D : *die Waldrebe*

La clématite des haies est une plante grimpante ligneuse présente dans tout l'hémisphère Nord. Elle est parfois considérée comme invasive.

Chaque graine est un akène (graine unique dans une capsule qui ne s'ouvre pas spontanément) muni d'un long **plumet soyeux** qui joue le rôle de parachute.

### Coton (*Gossypium* sp. Linné, 1753 ; de l'Ordre des Malvales)



GB : *Cotton* ; D : *die Baumwolle*

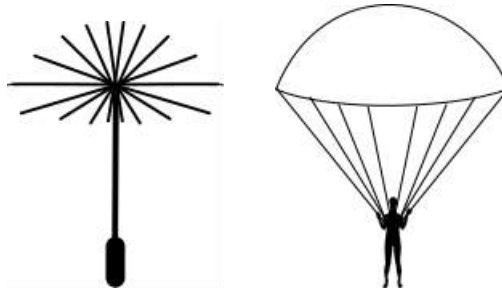
Les cotonniers « véritables » sont généralement des arbustes des zones arides ou semi-arides des régions tropicales et subtropicales du Nouveau et de l'Ancien Mondes. Il en existe environ 50 espèces.

Les graines sont contenues dans une capsule rigide qui, à maturité, les laisse s'échapper. Celles-ci sont munies d'une houppe de fibres - dont on fait les fils de coton.

N.B. : Il existe aussi des **fruits « ballons »**, comme le fruit du physalis, qui est gonflé d'air et peut ainsi être porté par le vent comme un ballon.

### Technologies bio-inspirées liées

Le parachute fonctionne selon le même principe que l'aigrette des graines de pissenlits.



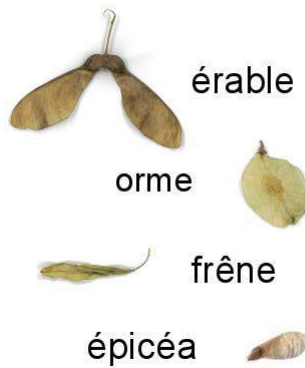
### Sources

Livre :

- Biomimétisme, Quand la nature inspire la science, 2e édition. M. Fournier et TITWANE, édition Plume de carotte, 2017.

# SAMARES

GB : *Samara* ; D : *Flügelnuss*



*Samares exposées*

## Classification

Règne :	Plantes
Classe :	Spermatopsides

## Caractéristiques

Le terme samare désigne tout fruit sec indéhiscant (qui ne s'ouvre pas spontanément) constitué généralement d'une graine unique munie d'une aile membraneuse. Cette aile est formée à partir du péricarpe, c'est-à-dire de la paroi de la graine.

Longueur : centimétrique

Poids : quelques grammes

## Mode de vol

Vol passif:

Chute ralentie

## Informations complémentaires

La forme des samares permet aux graines d'être plus facilement emportées par le vent sur de longues distances, assurant ainsi une grande dispersion aux graines. La dispersion des graines par le vent, ou anémochorie, est un mode de dispersion largement répandu chez les plantes en produisant (Conifères et angiospermes ou plantes à fleur).

La plus ancienne samare trouvée à ce jour est une empreinte fossile datée d'il y a 270 millions d'années (au Permien, avant l'apparition des dinosaures) d'une graine d'une plante proche des pins actuels.

Détails sur les exemples exposés :

### Érables (*Acer sp.* Linné, 1753 ; de l'Ordre des Sapindales)



GB : *Maple* ; D : *der Ahornbaum*

Les érables sont des arbres ou arbustes décidus (feuilles tombant en hiver) des zones tempérées d'Amérique du Nord, d'Europe et d'Asie. Il en existe plus de 40 espèces.

Le fruit des érables sont des samares doubles, ou disamares.

### Ormes (*Ulmus sp.* Linné, 1753 ; de l'Ordre des Rosales)



GB : *Elm* ; D : *die Ulme*

Les ormes sont des arbres décidus des zones tempérées d'Amérique du Nord, d'Europe et d'Asie. Il en existe plus de 30 espèces.

Le fruit des ormes sont des samares simples.

### Frênes (*Fraxinus sp.* Linné, 1753 ; de l'Ordre des Lamiales)



GB : *Ash* ; D : *die Esche*

Les frênes sont des arbres moyens à grands d'Amérique du Nord, d'Europe et d'Asie. Ils sont presque tous décidus, sauf quelques espèces des zones tropicales. Il en existe plus de 50 espèces.

Le fruit des frênes sont des samares simples.

### Épicéas (*Picea sp.* A. Dietr., 1824 ; de l'Ordre des Pinales)



GB : *spruce* ; D : *die Fichte*

Les épicéas sont des arbres des zones montagneuses tempérées et des zones boréales d'Amérique du Nord et d'Eurasie. Il en existe environ 35 espèces, toutes des conifères à feuilles persistantes.

Les cônes des épicéas contiennent des samares simples.

### Technologies bio-inspirées liées

Les samares d'érable ont inspirés de nombreuses inventions à travers les âges. En voici quelques exemples :

A partir du IV<sup>e</sup> siècle avant J.C., on trouve des traces en d'un jouet s'en inspire. Il s'agit d'une double hélice en bambou qui s'élève dans les airs quand elle est mise en rotation (au moyen d'un bâton tourné entre les mains).

Au tout début du XXe siècle, Papin et Rouilly prennent la samare de l'érable sycomore comme modèle pour leur gyroptère.

Depuis les années 2000, plusieurs équipes à travers le monde ont cherché à développer des drones s'inspirant du principe de la samare. C'est le cas d'élèves-ingénieurs de l'ECE Paris en 2013 ou de l'école d'ingénieur James Clark de l'Université du Maryland (USA) à partir de 2009.

### Sources

Livre :

- Le grand livre du biomimétisme, V. Kapsali, Hors collection, Dunod, 2017
- Biomimétisme, Quand la nature inspire la science, 2e édition. M. Fournier et TITWANE, édition Plume de carotte, 2017.



## DRAGON VOLANT

### *Draco* sp. LINNÉ, 1758

GB : flying dragon OR flying lizard ; D : die fliegende Eidechse



#### Classification

Règne :	Animal
Classe :	Reptiles
Ordre :	Squamates

*Le spécimen exposé vient des collections du muséum – jardin des sciences de Dijon*

#### Caractéristiques

Longueur : env. 20 cm

#### Mode de vol

Vol passif:

Vol plané grâce à la membrane (patagium) supportée par des côtes thoraciques agrandies, qu'il étend, grâce à une musculature spécialisée lors de son vol entre deux arbres. Une membrane, plus petite, est aussi présente de part et d'autre du cou de ces lézards. Celle-ci s'étend également lors du saut, en étant soutenue par des cartilages de la zone de l'hyoïde. Il peut parcourir ainsi des distances allant jusqu'à 60 m.

#### Informations complémentaires sur l'organisme

Répartition géographique : Inde et Asie du Sud-Est.

Milieu de vie : Forêts tropicales humides, jungles.

Les dragons volants sont des lézards vivant presque exclusivement dans les arbres. Les femelles descendent au sol uniquement pour pondre leurs œufs. Ils se nourrissent d'insectes, surtout des fourmis.

#### Technologies bio-inspirées liées

Aucune en particulier.

#### Sources

- Article "*Draco volans*" sur Animal Diversity Web. URL : [https://animaldiversity.org/accounts/Draco\\_volans/](https://animaldiversity.org/accounts/Draco_volans/)
- Article "*Draco (genus)*" sur Wikipedia. URL : [https://en.wikipedia.org/wiki/Draco\\_\(genus\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Draco_(genus))

## PHALANGER VOLANT

### *Petaurus breviceps* WATERHOUSE, 1838

GB : Sugar glider ; D : der Kurzkopfgleitbeutler



Spécimen des collections des musées de Montbéliard

#### Classification

Règne :	Animal
Classe :	Mammifères
Ordre :	Diprotodontes

#### Caractéristiques

Longueur : entre 30 cm et 70 cm (la queue représente un peu plus de la moitié de cette longueur)

Poids : env. 110 g

#### Mode de vol

Vol passif:

Vol plané grâce à la membrane (patagium) présente entre ses quatre pattes, qu'il tend et oriente lors de son vol quand il saute d'arbre en arbre. Il peut parcourir ainsi des distances allant jusqu'à 45 m.

#### Informations complémentaires sur l'organisme

Répartition géographique : Nouvelle-Guinée, Archipel des Bismarks et Nord et Est de l'Australie.

Milieu de vie : Forêts contenant des eucalyptus

Les phalangers volants sont des marsupiaux. Omnivores, ils se nourrissent de sève d'eucalyptus, pollen, nectar, larves, insectes, voire petits vertébrés. Territoriaux, ils vivent en petits groupes et font leurs nids dans les eucalyptus de leur territoire.

#### Technologies bio-inspirées liées

Son patagium (membrane tendue entre les pattes) qu'il tend entre ses pattes pour planer a servi de modèle pour créer les combinaisons ailées (*Wingsuits*).

#### Sources

- Article "*Petaurus breviceps*" sur Animal Diversity Web. URL : [https://animaldiversity.org/accounts/Petaurus\\_breviceps/](https://animaldiversity.org/accounts/Petaurus_breviceps/)
- Biomimétisme, Quand la nature inspire la science, 2e édition. M. Fournier et TITWANE, édition Plume de carotte, 2017.

# ÉCUREUIL VOLANT

## *Petaurista petaurista* (PALLAS, 1766)

GB : Red giant flying squirrel ; D : Taguan



### Classification

Règne :	Animal
Classe :	Mammifères
Ordre :	Rongeurs

Photo : spécimen des collections des musées de Montbéliard  
Le spécimen exposé dans « O.V.N.I. » est prêté par le Muséum – Jardin des sciences de Dijon.

### Caractéristiques

Longueur : env. 40 cm

Envergure : 50 – 70 cm

Poids : env. 1,7 kg

### Mode de vol

Vol passif:

Vol plané grâce à la membrane (patagium) présente entre ses quatre pattes, qu'il tend et oriente selon un angle entre 40 et 60° lors de son vol quand il saute d'arbre en arbre. Il peut parcourir ainsi des distances allant jusqu'à 75m.

N.B. : Pour atterrir en douceur (sur un tronc), il modifie l'angle de son corps et tend ses pattes vers l'avant. Son patagium fait alors office de parachute.

### Informations complémentaires sur l'organisme

Répartition géographique : Sud-Est de l'Asie (du Sud de la Chine jusqu'en Indonésie)

Milieu de vie : Forêts denses et plantations de conifères

Cet écureuil volant se nourrit de feuilles, branches et cônes de conifères, de fruits en saison et parfois d'insectes. Nocturne, il peut se déplacer d'arbre en arbre en planant, à la recherche de nourriture ou pour fuir un prédateur.

### Technologies bio-inspirées liées

Son patagium (membrane tendue entre les pattes) qu'il tend entre ses pattes pour planer a servi de modèle pour créer les combinaisons ailées (*Wingsuits*).

*Sources :*

Internet :

- Article "*Petaurista petaurista*" sur Animal Diversity Web. URL : [https://animaldiversity.org/accounts/Petaurista\\_petaurista/](https://animaldiversity.org/accounts/Petaurista_petaurista/)
- Article « Red giant flying squirrel » sur Wikipédia [https://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_giant\\_flying\\_squirrel](https://en.wikipedia.org/wiki/Red_giant_flying_squirrel)

Livre:

- Biomimétisme, Quand la nature inspire la science, 2e édition. M. Fournier et TITWANE, édition Plume de carotte, 2017.

## POISSON VOLANT

### *Cheilopogon* sp. LOWE, 1841

GB : flying fish ; D : der fliegende Fisch



#### Classification

Règne : Animal  
Classe : Actinoptérygiens  
Ordre : Beloniformes

Les deux spécimens exposés viennent des collections du musée des Confluences, Lyon

#### Caractéristiques

Longueur : de 20 à 40 cm

Envergure : jusqu'à env. 40 cm pour les plus grands spécimens

#### Mode de vol

Vol actif

Vol plané, grâce à leurs nageoires pectorales agrandies, qu'ils tiennent plus ou moins dans un plan horizontal lors de leurs sauts hors de l'eau. Leur vol peut être considéré comme actif, dans une certaine mesure, car ils sont capables d'augmenter la durée de leur vol à la surface de l'eau en se propulsant grâce à leur queue, tant que l'extrémité inférieure reste plongée dans l'eau. Ils peuvent parcourir ainsi des distances allant jusqu'à plusieurs dizaines de mètres (env. 50 m). Ils peuvent aussi parfois utiliser des courants d'air chauds ascendants qui se forment à l'avant de vagues, pour faire des vols plus long (jusqu'à 400 m).



*Poisson volant prenant son envol.  
Le battement de queue qui sert à le propulser est bien visible  
sur cette photo. (source : Wikipedia, domaine publique)*

### Informations complémentaires sur l'organisme

Cheilopogon est un des 7 à 9 genres de poissons volants (ou exocets), regroupés dans la famille des Exocoetidés. Les informations qui suivent sont valables pour toute cette famille.

Répartition géographique : tous les océans, en zones tropicale et subtropicale

Milieu de vie : eaux chaudes, dans la couche d'eau supérieure des océans

Les poissons volants se nourrissent principalement de plancton. Leurs vols planés à la surface des océans leur servent généralement à échapper à leurs prédateurs marins (dauphins, thons, phoques...).

### Technologies bio-inspirées liées

Les nageoires spécialisées des poissons volants ont été étudiées au début de l'aviation (années 1900 – 1930) comme modèle potentiel pour la forme des ailes d'avion.

### Sources :

Internet :

- Article "Flying fish " sur Wikipedia. URL : [https://en.wikipedia.org/wiki/Flying\\_fish](https://en.wikipedia.org/wiki/Flying_fish)
- Article "Exocoetidae" sur Wikipedia. URL : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Exocoetidae>

# CIGOGNE BLANCHE

## *Ciconia ciconia* LINNÉ, 1758

GB : White stork ; D : Weißstorch



### Classification

Règne :	Animal
Classe :	Reptiles
Sous-classe :	Oiseaux
Ordre :	Ciconiiformes

*Spécimen des collections des musées de Montbéliard*

### Caractéristiques

Longueur : 1,10 m  
Envergure : 1,80 m  
Poids : de 3 à 3,5 kg

### Mode de vol

Vol actif :

Vol battu (battement lent des ailes), parfois plané en profitant des courants thermiques aériens

### Informations complémentaires sur l'organisme

Répartition géographique : Afrique et Eurasie

Milieu de vie : Zones ouvertes (pâturages, prairies, plaines humides près des cours d'eau)

Cet échassier vit et se nourrit souvent en groupe.

Oiseau migrateur, il hiverne en général en Afrique sub-saharienne (dans la zone tropicale, jusqu'en Afrique du Sud) ou dans le sous-continent indien.

### Technologies bio-inspirées liées

Ses caractéristiques de grand voilier planant au gré des courants thermiques lui ont valu d'être pris comme modèle par Otto Lilienthal pour ses planeurs.

La forme particulière de ses ailes à leur extrémité et leur déformation en cours de vol (extrémité des plumes remontant vers le haut) a servi d'inspiration pour améliorer la forme des ailes des avions actuels, en les prolongeant d'une « ailette » située en bout d'aile et qui pointe vers le haut (*Winglet*).

*Sources :*

Internet :

- Article « cigogne blanche » sur Oiseaux.net. URL : <http://www.oiseaux.net/oiseaux/cigogne.blanche.html>

Livre :

- Le grand livre du biomimétisme, V. Kapsali, Hors collection, Dunod, 2017
- Biomimétisme, Quand la nature inspire la science, 2e édition. M. Fournier et TITWANE, édition Plume de carotte, 2017.



## GEAI DES CHÊNES *Garrulus glandarius* (LINNÉ, 1758)

GB : Eurasian jay ; D : Eichelhäher



Spécimen des collections des musées de Montbéliard

### Classification

Règne :	Animal
Classe :	Reptiles
Sous-classe :	Oiseaux
Ordre :	Passeriformes

### Caractéristiques

Longueur : 30 cm

Envergure : 40 cm

Poids : 140 à 190 g

### Mode de vol

Vol actif:

Vol battu

### Informations complémentaires sur l'organisme

Répartition géographique : Eurasie

Milieu de vie : Forêts de feuillus ou forêts mixtes, parfois les prairies et jardins s'il y a quelques arbres.

Le geai des chênes se nourrit de glands de chênes et faines de hêtres, dont il constitue des réserves au sol, dans la mousse ou les feuilles mortes.

### Technologies bio-inspirées liées

Aucune particularité spécifique aux geais n'a servi d'inspiration. Par contre, le vol battu des oiseaux a servi d'inspiration pour de nombreuses machines, comme les ornithoptères de Vinci ou Pénau, des jouets oiseaux (*Tim bird...*) ou des oiseaux radiocommandés (*Bionic bird*, *Smartbird...*).

### Sources

- Article « geai des chênes » sur le site Oiseaux.net. URL : <http://www.oiseaux.net/oiseaux/geai.des.chenes.html>

## MARTINET NOIR

### *Apus apus* (LINNÉ, 1758)

GB : Common swift ; D : Mauersegler



*Spécimens des collections des musées de Montbéliard*

#### Classification

Règne :	Animal
Classe :	Reptiles
Sous-classe :	Oiseaux
Ordre :	Apodiformes

#### Caractéristiques

Longueur : 18 cm

Envergure : 40 cm

Poids : 38 à 45 g

#### Mode de vol

Vol actif:

Vol battu avec des mouvements rapides mais peu amples de ses longues ailes effilées.

#### Informations complémentaires sur l'organisme

Répartition géographique : Eurasie à la belle saison, Afrique sub-saharienne (au sud de l'équateur) en hiver.

Milieu de vie : Passe une grande partie de sa vie dans les airs. Niche en hauteurs, souvent sous les toits des bâtiments.

Le martinet noir se nourrit en vol, principalement d'insectes.

C'est un oiseau migrateur capable de parcourir de très grandes distances. A la belle saison, pour sa reproduction et nidification, le martinet vit en Eurasie, de la France à la Chine. Toutes les populations hivernent en Afrique, au sud de l'Equateur.

### Technologies bio-inspirées liées

Aucune particularité spécifique aux martinets n'a servi d'inspiration. Par contre, le vol battu des oiseaux a servi d'inspiration pour de nombreuses machines, comme les ornithoptères de Vinci ou Pénaud, des jouets oiseaux (*Tim bird...*) ou des oiseaux radiocommandés (*Bionic bird, Smartbird...*).

#### Sources :

##### Internet :

- Article 'martinet noir » sur le site Oiseaux.net. URL : <http://www.oiseaux.net/oiseaux/martinet.noir.html>

## CHAUVE-SOURIS

### ROUSSETTE DES PALMIERS AFRICAINE

### *Eidolon helvum* (KERR, 1792)

GB : bat (straw-coloured fruit bat) ; D : die Fledermaus



#### Classification

Règne :	Animal
Classe :	Mammifères
Ordre :	Chiroptères

Photo d'une Roussette (Pteropodidé) des collections des musées de Montbéliard  
Le spécimen exposé est prêté par le Musée zoologique de Strasbourg

#### Caractéristiques

Longueur : env. 20 cm  
Envergure : jusqu'à 70 cm  
Poids : entre 230 et 340 g

#### Mode de vol

Vol actif

Vol battu, grâce à des ailes constituées par une membrane, le patagium, tendue sur leurs bras et entre leurs doigts aux phalanges très allongées.

#### Informations complémentaires sur l'organisme

Répartition géographique : Afrique sub-saharienne et Sud-ouest de la péninsule arabique

Milieu de vie : forêts et savanes

La roussette des palmiers africaine est une des espèces de grandes chauves-souris d'Afrique. Elles vivent en grandes colonies, pouvant rassembler plus de 100 000 individus. Elles se nourrissent d'écorce, fleurs, feuilles, nectar et fruits.

*Eidolon helvum* est une espèce de la famille des Pteropodidés. Cette famille regroupe les plus grandes chauves-souris existantes, certaines atteignant près de 1,7 m d'envergure. On les désigne souvent sous le nom de roussettes ou renards-volants. On en trouve en Afrique, sud de l'Asie et nord de

l'Océanie. La plus part de ces chauves-souris sont frugivores ou nectarivores. Contrairement aux autres chauves-souris, les roussettes ne sont pas capables d'utiliser l'écholocation (qui sert en général à éviter les obstacles ou localiser des proies).

### **Technologies bio-inspirées liées**

La morphologie des Roussettes a servi de source d'inspiration à plusieurs inventions, comme les « avions », dont l'Éole, de Clément Ader.

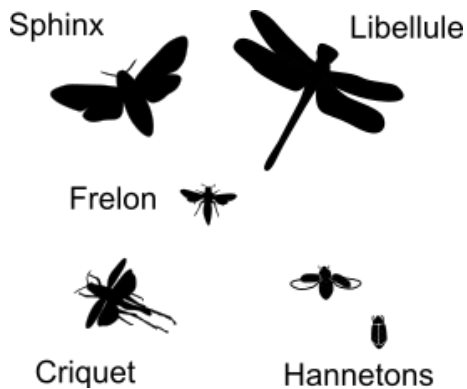
#### *Sources :*

##### Internet :

- Article « Straw-coloured fruit bat » sur Wikipedia. URL : [https://en.wikipedia.org/wiki/Straw-coloured\\_fruit\\_bat](https://en.wikipedia.org/wiki/Straw-coloured_fruit_bat)
- Article « Megabat » sur Wikipedia. URL : <https://en.wikipedia.org/wiki/Megabat>

# INSECTES

GB : *Insects* ; D : *die Insekten*



*Spécimens des collections des musées de Montbéliard*

## Classification

Règne :	Animal
Classe :	Insectes
Ordre :	plusieurs représentés

## Caractéristiques

Longueur : quelques cm

Envergure : quelques cm

Poids : quelques grammes

## Mode de vol

Vol actif:

Vol battu.

## Informations complémentaires sur les organismes

Les insectes sont apparus sur Terre bien avant l'homme et même avant les dinosaures. Le premier fossile connu d'insecte ailé, morphologiquement proche des éphémères actuels, remonte à plus de 310 millions d'années (au Carbonifère).

Aujourd'hui, un très grand nombre d'insectes volent. Les poissons d'argent (ordre des zygentomes) font partis des exceptions. Parmi les insectes ailés, plusieurs formes de vol existent. Les spécimens exposés permettent d'en illustrer quelques-unes.

## Ordre des Odonates – Libellules et demoiselles



Spécimen exposé : Libellule (*Aeshna cyanea* (O.F. Müller, 1764))

GB : *dragonfly* ; D : *die Libelle*

Les odonates ont des capacités de vol exceptionnelles : ils peuvent voler sur place, à reculons et changer très rapidement de direction ou de vitesse. Ces aptitudes résultent de leur anatomie particulière : les muscles impliqués dans le vol sont directement rattachés aux ailes et leurs deux paires d'ailes sont indépendantes.

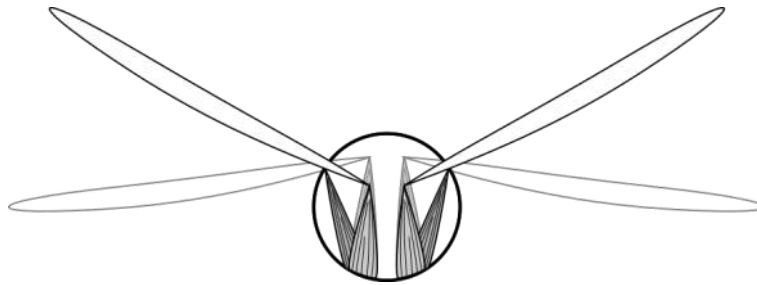


Schéma d'une coupe de thorax d'un odonate  
quand les ailes sont relevées (tracé en noir)  
et quand elles sont baissées (tracé en gris)

N.B. : Le rattachement direct des muscles aux ailes est une caractéristique partagée qu'avec un seul autre ordre d'insecte, celui des éphémères (morphologiquement proches des premiers insectes ailés connus).

Les odonates matures se nourrissent d'insectes attrapés en vol. Ils vivent souvent à proximité de zones d'eau (stagnante ou courante).

### Ordre des Lépidoptères - Papillons



Spécimens exposés : Papillons morpho (*Morpho* sp. Fabricius, 1807)

Sphinx (*Agrius convolvuli* (Linné, 1758))

F : Papillon ; GB : butterfly ; D : der Schmetterling

Les lépidoptères font partis du groupe taxonomique des **Néoptères**, chez qui le battement des ailes est obtenu de manière indirecte : le mouvement des ailes (qui sont des extensions de l'exosquelette) est provoqué par la déformation du thorax qui résulte de l'action des muscles thoraciques.

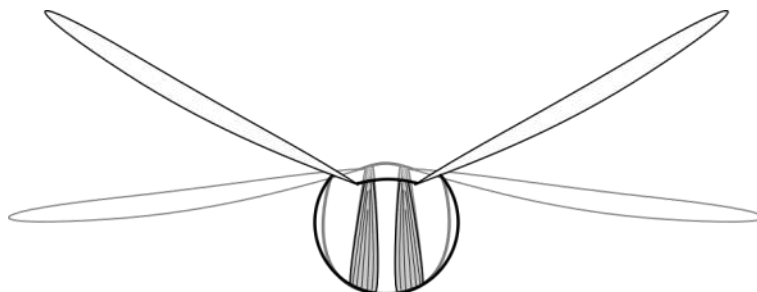


Schéma d'une coupe de thorax d'un néoptère  
quand les ailes sont relevées (tracé en noir)  
et quand elles sont baissées (tracé en gris)

Les deux paires d'ailes des lépidoptères sont synchronisées, sauf chez de rares espèces.



**Les morphos** vivent dans les forêts tropicales d'Amérique centrale et d'Amérique du sud. Avec une envergure pouvant atteindre 20 cm, c'est un des plus grands papillons actuels.



**Les sphinx**, comme le sphinx du liseron présenté, sont capables de faire du vol stationnaire pour butiner les fleurs. Le sphinx du liseron est une espèce migratrice qu'on peut trouver en Eurasie, Afrique et Océanie. C'est un des plus grands sphinx d'Europe, avec le sphinx tête de mort.

N.B. : Des populations de monarque, papillon nord-américain, réalisent d'impressionnantes migrations, parcourant parfois plus de 7000 km entre le Mexique et le nord des États-Unis d'Amérique en groupe pouvant rassembler plus de 1000 individus.

### Ordre des Orthoptères - Criquets et sauterelles



Spécimen exposé : Criquet (*Oedaleus decorus* (Germar, 1825))

GB : cricket ; D : die Feldheuschrecke

Les criquets et sauterelles (orthoptères) appartiennent au groupe des Néoptères. Leur mécanisme de vol est donc indirect, comme pour les papillons.

Les criquets possèdent, à l'état adulte, deux paires d'ailes, qui sont repliées le long du corps au repos et étalées en vol :

- Les ailes antérieures, étroites et relativement rigides, sont des **élytres**. En position repliée, elles couvrent les ailes postérieures qu'elles protègent. En vol, elles jouent un rôle de stabilisateur.
- Les ailes postérieures sont membraneuses et de forme triangulaire. Ce sont elles qui assurent le vol. Au repos, elles sont repliées sous les élytres.

Certains criquets sont de grands migrants, qui se font porter par les vents dominants. Parmi ceux-ci, le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*) parcourt jusqu'à 5000 km en 2 mois à travers l'Afrique (de la péninsule arabique à la côte ouest africaine, en Mauritanie).

Le criquet exposé est présent dans le sud de l'Europe, en Afrique du Nord et en Asie.



## Ordre des Coléoptères – Scarabées, coccinelles, etc.



Spécimen exposé : Hannetons (*Amphimallon pini* (Olivier, 1789))

GB : cockchafer ; D : der Maikäfer

L'ordre des coléoptères regroupe près de 40% des espèces d'insectes connues, soit environ 400 000 espèces, ce qui en fait l'ordre le plus diversifié.

Les coléoptères appartiennent au groupe des **Néoptères**. Leur mécanisme de vol est donc indirect, comme pour les papillons.

À l'exception de quelques familles dépourvues d'ailes, la majorité des coléoptères possèdent deux paires d'ailes, repliées le long du corps au-dessus de l'abdomen au repos et étalées en vol :

- Les ailes antérieures sont des élytres, rigides et opaques, qui les caractérisent. Elles jouent un rôle de protection au repos et, pour certaines espèces, de stabilisateur en vol.
- Les ailes postérieures sont larges et membraneuses. Elles sont repliées sous les élytres au repos, déployées en vol. Ce sont elles qui assurent le vol.

On désigne généralement sous le nom de Hannetons les espèces de la sous-famille Melolonthinae. Les hannetons adultes se nourrissent en général de feuilles, volant de plantes en plantes pour se nourrir. L'espèce exposée (*Amphimallon pini*) vit en France, Italie et Espagne.

## Ordre des Hyménoptères – abeilles, guêpes, fourmis...



Spécimen exposé : Frelon (*Vespa crabro* Linné, 1758)

GB : hornet ; D : die Hornisse

Les hyménoptères est l'ordre d'insecte le plus diversifié après les coléoptères. Des espèces d'hyménoptères sont présentes sur tous les continents sauf l'Antarctique.

L'ordre des hyménoptères appartient au taxon des **Néoptères**. Ils possèdent donc, au moins chez certains adultes, deux paires d'ailes, membraneuses, qui servent au vol.

Chez le **Frelon européen (*Vespa crabro*)**, exposé, tous les individus adultes, sexués ou ouvrières, sont ailés et peuvent voler. Comme chez les abeilles, les frelons sont capables d'effectuer des danses aériennes devant leur nid. Ces vols dansés servent de moyen de communication avec la colonie (alarme, entre autre).

Le Frelon européen vit dans les zones tempérées d'Eurasie, de préférence dans les milieux boisés clairs. Cette espèce se rencontre de nos jours aussi en Amérique du Nord, y ayant été introduite. Ils ont un cycle de vie annuel, seules les futures reines fécondées passent l'hiver. Au printemps, chaque reine est à l'origine d'un nid, qui, au cours de l'année, à son apogée, peut contenir jusqu'à plus de 1000 individus (larves, ouvrières, et à partir de l'été quelques mâles et femelles). Ils se nourrissent principalement d'insectes et autres arthropodes, de fruits mûrs et d'autres sources de nourriture sucrée parfois.

### Technologies bio-inspirées liées

Les insectes, dans leur grande diversité, constituent une importante source d'inspiration pour des technologies bio-inspirées. Écailles des ailes de papillon, vision de la mouche, vol en groupe, ... Leur taille, souvent millimétrique, en font des références pour l'ultra-miniaturisation aussi, comme en témoigne le développement de micro- voire nano-drones (ex., « libellule » SilMach, O.V.M.I. – Objet Volant Mimant l'Insecte d'un laboratoire de l'université polytechnique des Hauts de France, Robobee de l'université de Harvard, U.S.A., et Delfy de l'université technologique de Delft, Pays-Bas).

### Sources :

#### Internet :

- Article « Insect flight » sur wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Insect\\_flight](https://en.wikipedia.org/wiki/Insect_flight)
- Page « Insect flight » sur le site de la Smithsonian. URL : <https://www.si.edu/spotlight/buginfo/insect-flight>
- Book of insect records. University of Florida. URL : [http://entnemdept.ufl.edu/walker/ufbir/chapters/index\\_subject.shtml](http://entnemdept.ufl.edu/walker/ufbir/chapters/index_subject.shtml)

#### Livre :

- Le grand livre du biomimétisme, V. Kapsali, Hors collection, Dunod, 2017
- Biomimétisme, Quand la nature inspire la science, 2e édition. M. Fournier et TITWANE, édition Plume de carotte, 2017.

## **FICHES DÉTAILLÉES « ANATOMIE COMPARÉE »**

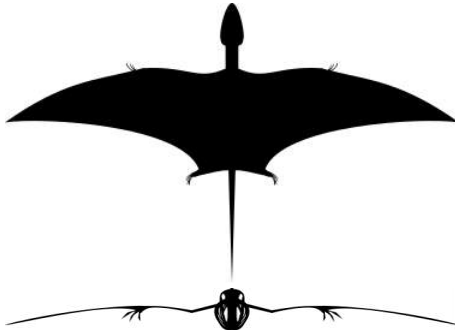
Liste des fiches :

- Ptérosaure (Eudimorphodon)
- Oiseau (paon)
- Chauve-souris (Hypsosignathe monstrueux)

# ANATOMIE COMPARÉE

## PTÉROSAURE

GB : Pterosaur ; D : der Flugsaurier

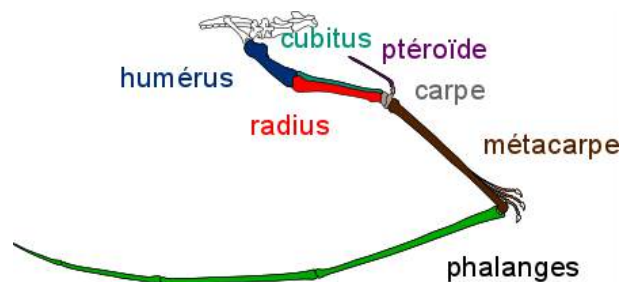


### Classification

Règne :	Animal
Classe :	Reptiles
Ordre :	Ptérosaures

Le squelette d'Eudimorphodon sp. exposé est une reconstitution, acheté par les musées de Montbéliard pour l'exposition

### Anatomie de l'aile



Les ptérosaures (étymologiquement « reptile ailé ») ont des ailes formées par une membrane (patagium) soutenue par le bras prolongé du 4<sup>e</sup> doigt très allongé. Les autres doigts de la main sont toujours présents, de taille « normale » et libres (non inclus dans le patagium).

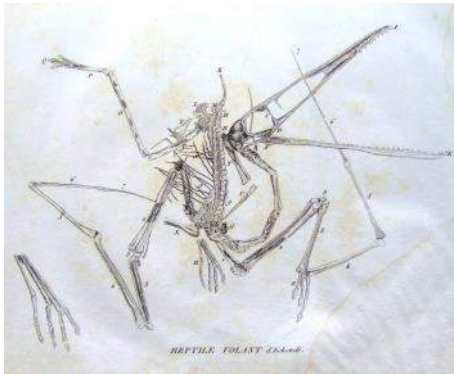
Au sol, les ptérosaures marchaient en s'appuyant sur leurs 4 pattes (pour les pattes avant, appui sur les doigts non allongés). Leur vol est mal connu (aucune trace directe, hypothèses résultant d'études biomécaniques). Il était très probablement battu. Certaines espèces, parmi les plus grandes, pouvaient probablement planer à la manière des grands oiseaux actuels (cigognes, vautours, aigles...), en se laissant porter par les courants d'air.

### Un peu de paléontologie

Les ptérosaures sont des reptiles volants aujourd'hui éteints, qui dominaient les airs du monde entier pendant que les dinosaures régnaient sur le domaine terrestre. Les premiers ptérosaures sont datés du Trias (Mésozoïque), soit d'environ 210 millions d'années. Ils se sont éteints il y a environ 66 millions d'années (à la fin du Mésozoïque). Ils étaient diversifiés en taille et forme. Les plus petites espèces ne mesurent qu'une dizaine de centimètres d'envergure

tandis que les plus grandes faisaient plus de 12 mètres d'envergure. Certaines espèces se caractérisent par le développement d'une crête, parfois imposante, sur le dessus du crâne. Certains fossiles suggèrent la présence de duvet sur le corps de certaines espèces.

D'un point de vue classification, les ptérosaures sont un groupe « frère » - donc distinct - des dinosaures, au sein du groupe des **Avemetatarsalia** (étymologiquement « aux métatarses d'oiseaux »). Ce groupe (Avemetatarsalia) fait partie, avec le groupe des crocodiles, des **archosaures**.



Le premier fossile, trouvé en Allemagne dans des terrains jurassique (environ 150 millions d'années) près de Solnhofen, a été décrit comme celui d'un reptile aquatique en 1784. C'est **Georges Cuvier** qui, en 1801, reprend l'étude de ce fossile et l'identifie comme un reptile volant. Il lui donne le nom de **Ptérodactyle** (étymologiquement « doigt ailé »).

G. Cuvier. Histoire naturelle. Reptile volant

### Caractéristiques d'Eudimorphodon (*Eudimorphodon* sp. Zambelli, 1973)

Envergure : environ 100 cm

### Informations complémentaires sur l'organisme

Période : Trias supérieur (210 – 203 millions d'années)

Répartition géographique : Europe (Italie surtout)

L'Eudimorphodon est un petit ptérosaure, parmi les plus anciens (il possède une longue queue flexible). Au regard de la forme de leurs dents, ils devaient être piscivores.

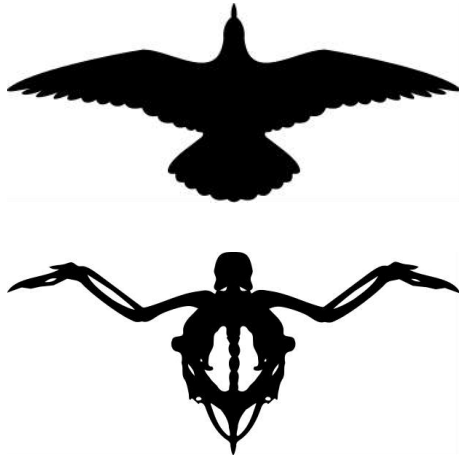
### Sources :

- Brooks B. Brit et al., 2018. Caelestiventus hanseni gen. et sp. nov. extends the desert-dwelling pterosaur record back 65 million years. Nature Ecology & Evolution volume 2, pages 1386–1392
- Article « Avemetatarsalia » sur Wikipedia. URL : <https://en.wikipedia.org/wiki/Avemetatarsalia>
- Article « Pterosauria » sur Wikipedia. URL : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Pterosauria>
- Article « Eudimorphodon » sur Wikipedia. URL : <https://en.wikipedia.org/wiki/Eudimorphodon>

# ANATOMIE COMPARÉE

## OISEAU

GB : bird ; D : des Vogel

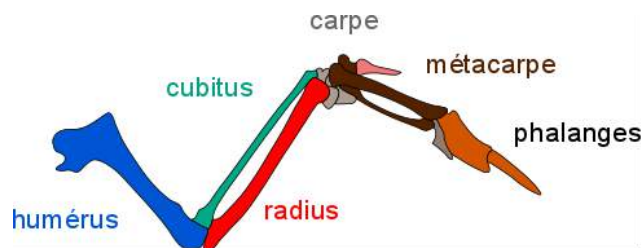


### Classification

Règne : Animal  
Classe : Reptiles  
Sous-classe : Oiseau

*Le squelette de paon exposé est un vrai, acheté par les musées de Montbéliard pour l'exposition*

### Anatomie de l'aile



L'aile des oiseaux est formée par le membre antérieur avec une main partiellement fusionnée, dont les doigts sont atrophiés. La surface portante est constituée par des plumes disposées en plusieurs rangées. Les plus grandes sont appelées rémiges, qui constituent l'essentiel de la surface portante de l'aile. Les autres plumes, plus petites, servent de « couverture ». Ce sont les tectrices. Au niveau du carpe se trouvent quelques plumes particulières, nommées Alula (ou rémiges bâtarde), qui servent à augmenter l'écoulement de l'air à la surface de l'aile (Grâce à ces plumes, le flux d'air reste laminaire à la surface de l'aile, même à faible vitesse).

Le vol des oiseaux est actif. Excepté certains oiseaux comme les kiwis, autruches, etc. qui sont incapables de voler, ils font pour la plupart du vol battu. Certaines espèces, parmi les plus grandes (cigognes, aigles, vautours...) sont capables de faire du vol dit plané en se faisant porté par les courants d'air chauds.

## Un peu de paléontologie

L'origine des oiseaux se trouve parmi les dinosaures, comme le montrent les nombreuses découvertes récentes de fossiles de dinosaures à plumes.

L'Archéoptéryx a été longtemps considéré comme un ancêtre des oiseaux. Certaines études remettent en question cette relation et le considèrent comme un « cousin » des premiers oiseaux. Cependant des découvertes récentes rétablissent Archéoptéryx en tant qu'oiseau primitif.

En somme, le débat pour faire d'Archéoptéryx un oiseau primitif ou un « cousin » des premiers oiseaux reste ouvert.

## Caractéristiques du paon (*Pavo cristatus* Linné, 1758)

Longueur : entre 90 à 230 cm (incluant les plumes de la queue des mâles)

Envergure : entre 130 et 160 cm

Poids : entre 4 et 6 kg

## Informations complémentaires sur l'espèce

Répartition géographique : Inde et Sri Lanka (présent ailleurs dans le monde, comme animal domestique ou d'ornement)

Milieu de vie : forêts tropicales humides, bords de clairières et de ruisseaux.

Vivant en groupe, de taille variable selon la saison, ils passent la journée au sol (pour se nourrir, boire...) et regagnent la nuit des dortoirs situés en hauteur dans les arbres. Ils se nourrissent principalement de graines, fruits et insectes.

## Sources :

- Article « Paon bleu » sur Oiseau.net. URL : <http://www.oiseaux.net/oiseaux/paon.bleu.html>

# ANATOMIE COMPARÉE CHAUVE-SOURIS

GB : bat ; D : die Fledermaus

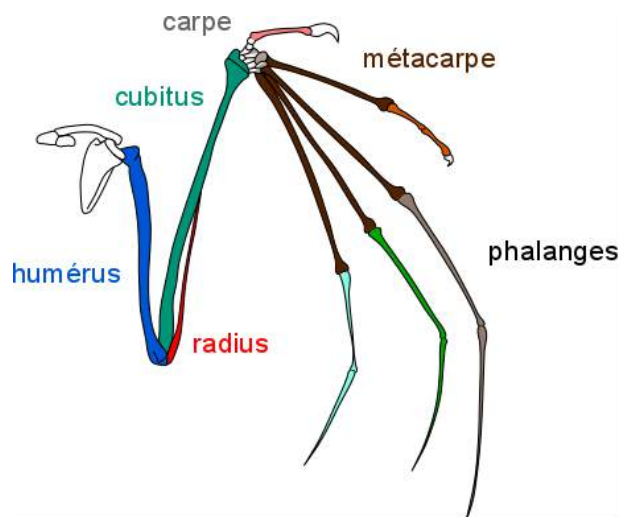


## Classification

Règne :	Animal
Classe :	Mammifères
Ordre :	Chiroptères

*Le squelette d'Hypsignathus monstrosus exposé est un vrai, acheté par les musées de Montbéliard pour l'exposition*

## Anatomie de l'aile



Chez les chiroptères (étymologiquement « main ailée »), les ailes sont formées par une membrane (le patagium) soutenue par quatre des cinq doigts de la main, dont les métarpes et phalanges sont allongées.

Les chauves-souris volent en battant des ailes.

## Un peu de paléontologie

Les plus anciens restes de chauves-souris connus sont datés d'environ 50 millions d'années (Cénozoïque, Paléogène, Éocène). Parmi les plus anciens fossiles se trouve un spécimen presque complet trouvé en Allemagne, sur le site exceptionnel de Messel, sur lequel on aperçoit même la trace de la membrane formant les ailes.

Les chauves-souris sont des mammifères qui se sont adaptés au vol probablement lors de la grande période de diversification des mammifères au



début du Cénozoïque (entre 66 et 34 millions d'années avant notre ère). Leur origine précise au sein des mammifères est encore mal connue, car les premiers fossiles sont déjà des formes évoluées, bien adaptées au vol.

### **Caractéristiques de *Hypsignathus monstrosus***

Longueur : entre 20 à 28 cm

Envergure : entre 68 et 97 cm

Poids : entre 220 et 440 g

### **Informations complémentaires sur l'organisme**

Répartition géographique : Afrique centrale

Milieu de vie : forêts, mangroves et ripisylves (forêt des bords de cours d'eau)

L'Hypsignathe monstrueux est l'espèce de chauve-souris la plus grande d'Afrique. Elle appartient à la famille des Ptéropodidés, c'est-à-dire des roussettes ou renards-volants (comme *Eidolon helvum* exposée dans la partie « Diversité du vol dans la nature »)

### **Sources :**

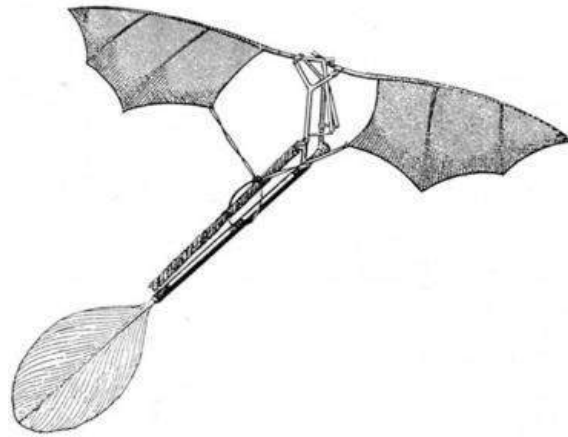
- Smith et al., 2012. Systematics and paleobiogeography of early bats. In : Evolutionary History of Bats: Fossils, Molecules and Morphology, ed. G. F. Gunnell and N. B. Simmons. Published by Cambridge University Press.
- Article « *Hypsignathus monstrosus* » sur Animal Diversity Web. URL : [https://animaldiversity.org/accounts/Hypsignathus\\_monstrosus/](https://animaldiversity.org/accounts/Hypsignathus_monstrosus/)

## FICHES DÉTAILLÉES « APPAREILS »

Liste des fiches :

- Oiseau mécanique de Pénaud (1872)
- Éole de Clément Ader (1890)
- Planeur de Derwitz d'Otto Lilienthal (1891)
- Gyroptère de Papin et Rouilly (1912 – 1915)
- Appareil n°2 d'Étienne Œhmichen (1922 – 1924)
- Wingsuit (années 1990)
- Smartbird, BionicOpter, eMotionbutterflies, Bionic FlyingFox de FESTO (2011-2018)
- Drone samare de l'ECE Paris (2013)
- Bionic bird de XTim (2015)
- Microdrone « libellule » de SilMach (2018)

# OISEAU MÉCANIQUE 1872 ALPHONSE PÉNAUD



Oiseau mécanique de Pénaud  
D'après: A. Pénaud. *J. Phys. Theor. Appl.*, 1875, 4 (1), p. 295.

## Caractéristiques de l'appareil

Longueur : décimétrique

Largeur : décimétrique

Poids : inconnu

## Source d'inspiration

Vol battu des oiseaux

## Informations complémentaires sur l'appareil

Un premier modèle a été réalisé en septembre 1871, avec un moteur constitué d'un caoutchouc tordu. Après quelques essais, Pénaud a amélioré l'appareil en faisant réaliser un oiseau mécanique en acier, afin que le mécanisme soit plus résistant au regard du poids. C'est son frère, E. Pénaud, qui imagina le mécanisme et M. Jobert, mécanicien, qui le confectionna. Ce modèle amélioré fut présenté devant la Société de navigation aérienne le 20 juin 1872. L'oiseau traversa alors la salle des séances (7 m de longueur) en s'élevant constamment selon un angle de 15-20°. En plein air, l'oiseau parcourait 12 à 15 m en atteignant jusqu'à 2 m d'altitude au plus haut de sa trajectoire (Tissandier, 1886).

Cet oiseau mécanique résulte de la démarche suivante, telle qu'exprimée par A. Pénaud (*in* Tissandier, 1886, p. 103) :

*« Au milieu des théories diverses de l'aile que donnaient Borelli, Huber, Dubochel, Strauss-Durckheim, Liais, Pettigrew, Marey, d'Arsterno, de Lucy, Arlinslall, etc., et des mouvements si compliqués qu'ils assignaient à cet organe et à chacune de ses plumes, mouvements dont la plupart étaient inimitables pour un appareil mécanique, nous nous décidâmes à chercher*

*nous-même par le raisonnement seul, appuyé sur les lois de la résistance de l'air et quelques faits d'observation la plus simple, quels étaient les mouvements rigoureusement nécessaires de l'aile. Nous trouvâmes 1° une **oscillation double, abaissement et relèvement**, transversale à la trajectoire suivie par le volateur; 2° le **changements de plan de la rame pendant ce double mouvement**; la face inférieure de l'aile regardant en bas et en arrière pendant l'abaissement, de façon il soutenir et il propulser; cette même face regardant en bas et en avant pendant le relèvement, de façon que l'aile puisse se relever sans éprouver de résistance sensible et en coupant l'air par sa tranche, tandis que l'oiseau se meut dans les airs. Ces mouvements étaient d'ailleurs admis par un grand nombre d'observateurs, et fort nettement exposés, en particulier, par Strauss-Durckheim et MM. Liais et Marey. »*

### Courte notice biographique de l'inventeur

Alphonse Pénaud est né à Paris le 31 mai 1850 et y est mort le 22 octobre 1880 (suicide). Ingénieur français issu de l'école navale, il s'intéresse à l'aéronautique, en étant un partisan des « plus lourds que l'air ». Il perfectionne ou invente ainsi plusieurs appareils de taille réduite dont la propulsion est effectuée par un moteur en caoutchouc :

- En 1870, un **hélicoptère** constitué de 2 hélices de 2 pales dont la rotation est établie par un caoutchouc (inspiré du modèle créé par François Bienvenu et M. Launoy, simplifié et amélioré par l'adjonction du moteur en caoutchouc),
- En 1871, un aéroplane monoplan nommé **planophore** de 45 cm d'envergure avec hélice à 2 pales située en arrière et faisant 21 cm de diamètre mu par un moteur en caoutchouc
- Septembre 1871 – juin 1872 : des **ornithoptères**, petits oiseaux artificiels.

Le 17 février 1876, il déposa avec l'ingénieur Paul-Élie Gauchot, un brevet pour un « **Aéro-plane** ou appareil aérien volant » (brevet n°111.574) destiné à être un appareil de grande taille.

Il inventa également quelques appareils de navigation aérienne (comme un baromètre à membrane de caoutchouc).

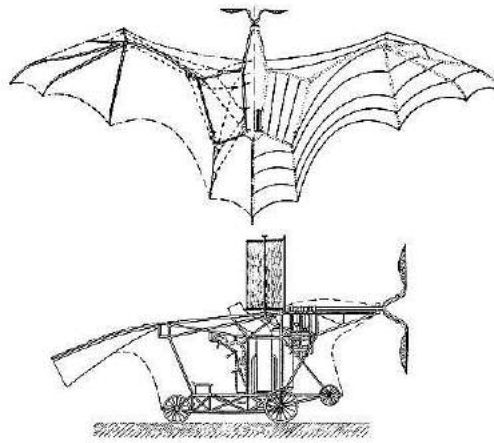
### Devenir

Depuis la fin des années 1960, un oiseau mécanique basé sur le principe de l'oiseau de Pénaud, à savoir un jouet volant à ailes battantes mu par un moteur à élastique, est conçu en plastique et commercialisé par l'entreprise TIM, fondée par Gérard Van Ruymbeke. Ces jouets sont toujours en vente. Une version à moteur électrique radiocommandé a été développée en 2015 par son fils, Edwin de Ruymbeke, le *bionic bird*.

### Sources :

- Tissandier, G. – 1886. La navigation aérienne ; l'aviation et la direction des aérostats dans les temps anciens et modernes. Hachette et C<sup>ie</sup>. Paris.
- Wikipédia, article « Alphonse Pénaud ». URL : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Alphonse\\_P%C3%A9naud](https://fr.wikipedia.org/wiki/Alphonse_P%C3%A9naud), consulté le 01/10/2018.

# ÉOLE 1890 CLÉMENT ADER



Plan de l'Éole, d'après le brevet n°205155 du 19/04/1890 de Clément Ader

## Caractéristiques de l'appareil

Longueur :	4,60 m
Largeur (envergure) :	13,70 m
Surface portante :	28 m <sup>2</sup>
Poids :	167 kg (vide)

## Source d'inspiration

Morphologie des chauves-souris, plus particulièrement de la Roussette géante des Indes (*Pteropus giganteus* (Brünnich, 1782))

N.B. : *Pteropus giganteus* est une chauve-souris frugivore pouvant atteindre plus de 1 m d'envergure. Elle vit actuellement dans toute la péninsule indienne.

## Informations complémentaires sur l'appareil

L'Éole serait le premier appareil volant plus lourd que l'air (aérodyne), motorisé et habité à effectuer un vol.

Clément Ader travaille sur l'Éole entre 1885 et 1890. Le 19 avril 1890, il dépose le brevet 205155 dont l'intitulé est « *appareil ailé pour la navigation aérienne dit Avion* ». Le premier vol effectif est réalisé le 9 octobre 1890 dans le parc du Château de Gretz-Armainvilliers (Seine et Marne), où le propriétaire, le banquier Gustave Pereire, a spécialement aménagé une piste.

Il a effectué ses études préalables sur des roussettes à Muret, en Alsace et en Algérie ainsi que dans son laboratoire de Passy.

## Courte notice biographique de l'inventeur

Clément Ader est un ingénieur français né le 2 avril 1841 à Muret (Haute Garonne) et mort le 3 mai 1925 à Toulouse. Il a développé des appareils divers (vélocipède, appareil d'écoute à distance, des moteurs ultra-légers, des automobiles...).

C'est Clément Ader qui crée le mot « avion » pour décrire ses inventions d'appareils volants motorisés. Suite à son premier vol avec l'Éole, Clément Ader développe les modèles d'avion 2 (Zéphyr) puis 3 (Aquila) pour répondre à l'intérêt que porte l'Armée à ce nouveau moyen de locomotion.

*« De 1885 à 1890, Clément Ader travaille à son prototype, Eole, un "appareil ailé pour la navigation aérienne dit Avion", qu'il brevète le 19 avril 1890, et qu'il expérimente le 9 octobre de la même année dans le parc du château de Gretz-Armainvilliers au cours d'un vol de 50 mètres.*

*Ader continue ses recherches en secret, améliorant les performances du moteur, en vue de réaliser un deuxième appareil, l'Avion 2, pour lequel il signe un contrat avec l'armée. Le projet est abandonné en raison des coûts élevés de réalisation et de la réduction des crédits militaires en 1894. Il finance de ce fait son troisième prototype, l'Avion 3, qu'il achève en juillet 1897 et essaie à Satoty les 12 et 14 octobre 1897 ; vols au cours desquels il parcourt une distance de 300 mètres. En 1902 cependant, ne pouvant plus faire face aux coûts de fabrication et laissé par l'armée, Clément Ader renonce à ses travaux sur l'aviation.*

*Il se retire dans sa propriété de Muret en 1905. En 1906, à l'occasion de son vol à Bagatelle, la presse qualifie Santos Dumont de "premier Français qui ait volé". Clément Ader sort alors de sa retraite et décide de faire connaître ses travaux au public. Il publie La première étape de l'aviation militaire en 1907, puis L'aviation militaire en 1909, ouvrage dans lequel il expose ses vues sur le développement de l'arme aérienne dans les conflits à venir.*

*Sa valeur et l'importance de ses travaux lui sont reconnus, tardivement, lorsqu'il est élevé à la dignité de Commandeur de la Légion d'Honneur en 1922. » (Source : Musée Clément Ader / sur le site : chemin de mémoire)*

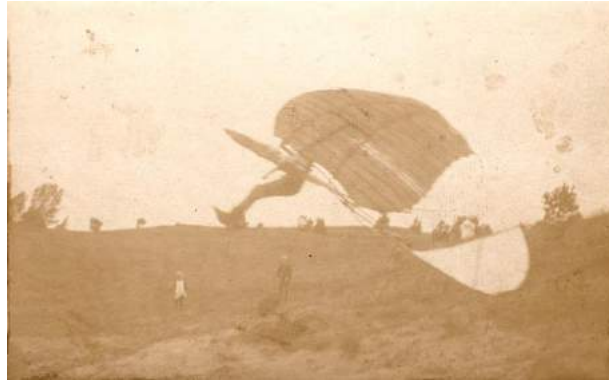
## Devenir

Clément Ader a développé deux autres appareils à la suite, toujours inspirés de la morphologie des chauves-souris : l'Avion II (ou Zéphyr) puis l'Avion III (ou Aquila).

## Sources :

- Musée Clément Ader sur le site : chemin de mémoire. URL : <http://www.cheminsdememoire.gouv.fr/fr/clement-ader> [consulté le 24/08/2018]

# PLANEUR DE DERWITZ 1891 OTTO LILIENTHAL



*Photographie de Carl Kassner, du 27/09/1891 © Otto-Lilienthal-Museum Archives*

## Caractéristiques de l'appareil

Longueur : 3,9 m

Largeur : ~7 m

Surface portante : ~ 8 m<sup>2</sup>

Poids : 18 kg

Autres mesures :

Longueur maximale de l'aile : 1,7 m

## Source d'inspiration

Anatomie des ailes des oiseaux, en particulier les cigognes.

## Informations complémentaires sur l'appareil

Il s'agit du premier appareil volant plus lourd que l'air et portant un homme qui fut fonctionnel. Il a ainsi parcouru plusieurs dizaines de mètres de distance en vol (à 5-6 m d'altitude). Les essais se sont effectués sur la colline de Derwitz dans le Barndeburg (Nord-Est de l'Allemagne), ce qui a donné le nom à l'appareil. Plusieurs versions de ce planeur ont été réalisées, au regard des essais effectués. Les principales modifications ont affecté l'envergure des ailes, qui a été peu à peu réduite (Source : site du musée Otto Lilienthal).

Cet appareil est issu d'une première série d'études sur l'anatomie des oiseaux et leur vol et d'expérimentations de planeurs afin de définir les proportions des

ailes (longueur, courbure...) et de l'empennage (axes vertical et horizontal pour la stabilisation du vol).

L'appareil est réalisé en bois de saule entoilé de coton enduit (source : article « Derwitzer Apparat » sur Wikipédia).

### Courte notice biographique de l'inventeur

Otto Lilienthal est un ingénieur allemand, né en 1848 à Anklam (Poméranie occidentale, nord-est de l'Allemagne) et mort en 1896 à Berlin des suites d'un accident lors de l'essai d'un de ses appareils. Pionnier de l'aéronautique, il était partisan des « plus lourds que l'air » à l'époque où on croyait plus au développement des appareils « plus légers que l'air » (ballons, dirigeables...).

Préalablement à la création d'appareils, il a étudié, avec son frère Gustave, l'anatomie des ailes d'oiseau, en particulier leur forme, en réalisant de nombreuses mesures de taille et courbure. Cela lui a permis de mettre en évidence l'importance de la courbure des ailes, avec la présence d'un intrados et extrados, qui augmente la portance par rapport à une aile plate. Ces travaux sont publiés en 1889 dans l'ouvrage « *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. Ein Beitrag zur Systematik der Flugtechnik.* » (Du vol des oiseaux comme fondement de l'art du vol. Une contribution à la nomenclature de la technologie aéronautique) édité par R. Gaertners Verlagsbuchhandlung, Berlin.

Il inventa et construisit plus de 20 appareils volants « plus lourds que l'air », la plupart non motorisés, certains à un plan, d'autres biplans, et certains même à voilure battante. Le planeur de Derwitz est le premier fonctionnel de cette longue série. (source : « Otto Lilienthal » sur Wikipédia)

### Devenir

Les travaux de Lilienthal sur l'aérodynamique ont été pionniers dans l'histoire de la conquête de l'air au moyen d'appareils plus lourds que l'air. Les frères Wright s'en sont particulièrement inspirés pour développer leurs premiers aéronefs.

Par ailleurs, les deltaplanes actuels sont les descendants directs des planeurs précurseurs de Lilienthal.

### Sources :

- Ferdinand FERBER, 1905. Les Progrès de l'aviation depuis 1891 par le vol plané. Berger-Levrault (Paris). 53 p. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k62626216/f12.image.texteImage>
- Article « Otto Lilienthal » sur Wikipédia. URL : [https://de.wikipedia.org/wiki/Otto\\_Lilienthal](https://de.wikipedia.org/wiki/Otto_Lilienthal), consulté le 15/05/2018
- Site du Musée Otto Lilienthal. URL : [http://www.lilienthal-museum.de/olma/f\\_213.htm#2](http://www.lilienthal-museum.de/olma/f_213.htm#2), consulté le 15/05/2018
- Article « Derwitzer Apparat » sur Wikipédia. URL : [https://de.wikipedia.org/wiki/Derwitzer\\_Apparat](https://de.wikipedia.org/wiki/Derwitzer_Apparat), consulté le 15/05/2018



# GYROPTÈRE 1912 - 1915 PAPIN ET ROUILLY



*Le gyroptère sur le lac de Cercey (Côte d'Or) © archives de Xavier Rouilly*

## Caractéristiques de l'appareil

Longueur :	11,3 m ( ? Aile : 5.9 m)
Largeur :	~2 m (Aile : 1.3 m)
Surface portante :	12 m <sup>2</sup>
Poids :	500 kg initialement / 600 kg après les premiers essais sur l'eau

## Source d'inspiration

Samare d'érable sycomore

## Informations complémentaires sur l'appareil

C'est en observant la chute ralentie d'une graine d'érable sycomore en 1908 que Papin et Rouilly ont puisé l'idée d'une étrange machine volante à propulsion d'air. Ils étudient cette graine ainsi que le boomerang avant de proposer une note sur les hélicoptères à réaction à l'Académie des sciences en janvier 1910. Ils déposent 2 brevets sur le principe. Ils parviennent à intéresser l'armée (le colonel J.B. Estienne). Une note décrivant le principe du Gyroptère est présentée devant l'Académie des Sciences en 1912 (première note en février 1912, reportée en mars de la même année devant la commission d'aéronautique. Une figure complémentaire est présentée dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences avant juillet 1912). Des brevets ont été déposés en France en 1911. Un brevet a été déposé pour les USA en 1912.

Jusqu'en 1912, ils expérimentent leurs principes avec des maquettes qu'ils réalisent et testent dans leur « laboratoire d'aérodynamique », local dans l'usine de peinture Bonneville, Rouilly et Cie, à La Plaine Saint Denis.

En 1913, avec un contrat passé avec l'armée en poche, ils créent une société « Le Gyroptère ». Ils font alors construire par l'ingénieur Barby dans les ateliers de M. Grémond, à Paris, un premier prototype, nommé « **Chrysalide** », équipé d'un moteur Rhône 9 cylindres (80 ou 60 CV selon les sources) disposés en étoile.

Le principe du gyroptère consiste à assurer l'envol et la sustentation de l'appareil au moyen de la rotation d'une pale unique autour de l'axe de rotation que constitue la nacelle, le mouvement de cette pale étant obtenu par propulsion d'air à son extrémité. Ce système permettrait de résoudre trois points : l'envol et l'atterrissage vertical, la possibilité de voler en point fixe ou se déplacer à volonté, et d'avoir une chute ralentie en cas de panne moteur.

La « *Chrysalide* » fut terminée fin 1913. Des essais à l'usine ont été tentés, mais l'envol devait être fait depuis un plan d'eau. Ce fut le lac de retenue de Cercey, en Côte d'Or, qui fut choisi. Le prototype y fut installé. Les premiers essais en 1914 ont révélé un problème d'équilibrage (aile trop lourde par rapport au moteur touchait l'eau à son extrémité). Des modifications sont alors apportées à l'appareil pour régler ce problème, mais en l'alourdissant (il passe à 600 kg). A cause du déclenchement de la première guerre mondiale, les essais reprennent en 1915, le 31 mars, devant une commission d'officiers de l'armée. Faute de puissance suffisante du moteur, l'appareil se soulève à peine mais sans quitter la surface de l'eau.

### **Courte notice biographique de l'inventeur**

Alphonse Papin et Didier Rouilly sont deux ingénieurs français qui ont longtemps collaboré en travaillant à l'étude des principes du vol de la samare et du boomerang, puis en développant un système permettant de mettre en mouvement un appareil selon les mêmes principes, et enfin en proposant des appareils utilisant ce système. Après les déboires des essais de la « *Chrysalide* », ils expérimentent sur maquette (faute de financement), un autre modèle, bipale, à partir de 1921. L'armée se désintéresse complètement du projet en 1934. Ils abandonnent leurs recherches en 1936.

### **Devenir**

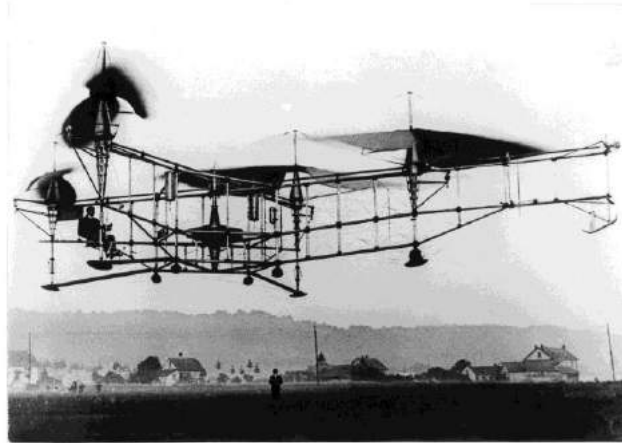
Le système de mise en mouvement de pale par propulsion d'air a été appliqué un peu plus tard à un hélicoptère appelé *Djinn*. Quelques exemplaires existent encore aujourd'hui.

D'autre part, les samares constituent de nouveau une source d'inspiration de nos jours, pour le développement de certains drones.

### **Sources :**

- Y. Papin. 2010 - Le Gyroptère, cousin oublié de l'hélicoptère. Pour la Science, n°389 : 80 – 82.
- J.M. Courty & É. Kierlik. 2010 – Le Gyroptère naît enfin. Pour la Science, n°389 : 84 – 86.

## APPAREIL N°2 ŒHMICHEN PEUGEOT 1922 - 1924 ÉTIENNE ŒHMICHEN



*Photographie du 4 mai 1924. Collection musées de Montbéliard*

### **Caractéristiques de l'appareil (configuration de mai 1924)**

Longueur : 13.25m (châssis)

Largeur : 8 m (châssis)

Poids : plus de 1 tonne

Autres éléments :

- 4 hélices sustentatrices (grandes hélices à armature couverte de toile, pour s'élever et tenir en l'air)
- 5 évolueurs (petites hélices en bois, placées sous les 4 sustentatrices + 1 évolueur à l'avant de l'appareil)
- 2 hélices propulsives (en bois, sur l'axe transversal de l'appareil)
- 1 hélice de direction (en bois, d'axe horizontal, situé sur le côté, vers l'avant de l'appareil)

### **Source d'inspiration**

Vol des oiseaux et des insectes (récupération de l'énergie des courants de remous, créés par les battements des ailes, pour la sustentation dans l'air)

## Informations complémentaires sur l'appareil

L'Appareil n°2 Oehmichen – Peugeot est développé à partir de 1922 par Etienne Oehmichen, suite aux essais réalisés avec l'Appareil n°1 entre 1920 et 1922.

La forme générale de l'appareil 2 est restée inchangée de 1922 à 1924, à savoir un châssis en croix, avec le moteur placé dans une cage centrale au croisement des branches, et avec une hélice sustentatrice à chaque extrémité de branche. Cependant, au gré des essais, plusieurs versions de cet appareil ont existé :

- Présence d'un gyroscope placé au-dessus du moteur dans les premiers essais, qui a été enlevé par la suite, remplacé par une hélice de direction placée sur la grande branche longitudinale, vers l'avant de l'appareil.
- Une hélice de traction, associée à des plans inclinables à axes d'abord verticaux puis horizontaux, le tout placé à l'extrémité antérieure de l'appareil, a été substituée par deux hélices propulsives placées de part et d'autre de l'appareil, sur son axe transversal.
- Le moteur a été changé pour passer d'une puissance motrice de 120 CV à 180 CV.
- Le système d'amortissement de l'appareil a évolué lui aussi au cours des essais.

Etienne Oehmichen effectua plus de 500 vols avec l'appareil n°2, parmi lesquels certains constituent des records homologués marquant l'histoire des hélicoptères :

- En 1923, vol en point fixe d'une durée de 5 minutes
- Le 4 mai 1924, vol sur une distance de 1km en circuit fermé
- En 1924, vol avec une charge utile de 200 kg (en plus du poids du pilote et du carburant).

## Courte notice biographique de l'inventeur

Etienne Oehmichen est un ingénieur français né en 1884 à Chalons sur Marne et mort à Paris en 1955. Ingénieur diplômé de l'École Centrale de Paris en 1908, il travaille dans un premier temps pour la Société alsacienne de constructions mécaniques (actuelle ALSTOM), à Belfort, avant de travailler aux Établissements Peugeot à partir de 1912. Il y invente la dynamo d'éclairage pour les automobiles, entre autre. Mobilisé pendant la première guerre mondiale dans l'Artillerie, il développe à partir de 1917 le Char d'Assaut Peugeot. En 1918, il crée le « Laboratoire Oehmichen-Peugeot » dont l'objectif est d'étudier le vol animal et de réaliser des machines volantes à décollage et atterrissage vertical. Ses études sur le vol animal sont publiées dans un ouvrage « *Nos maîtres les oiseaux* » paru en 1920. En 1920, il conçoit son Appareil n°1 et réalise un premier vol en 1921. S'en suivront six autres modèles d'« hélicoptères » testés, plus le projet pour un 8<sup>e</sup> appareil.

Par ailleurs, il inventa différentes machines dans le domaine cinématographique, photographique et mécanique. Il inventa aussi le stroboscope.

Il a été nommé Professeur au Collège de France en 1939, à la chaire d'aérolocomotion mécanique et biologique. Il occupa cette fonction jusqu'en 1955.

## **Devenir**

Etienne Oehmichen a développé 5 autres hélicoptères après l'appareil 2, testant et améliorant chaque fois au moins un des critères indispensables selon lui aux hélicoptères, afin de leur assurer une pleine et entière sécurité, en vol comme à l'atterrissage, y compris en cas de panne moteur. Les pistes qu'il a explorées pour résoudre ces points n'ont pas convaincu l'état, qui contribuait financièrement, ce qui l'a contraint à abandonner ses recherches sur ce domaine.

Etienne Oehmichen a déposé de très nombreux brevets au cours de ces travaux de développement des hélicoptères. Certains, comme l'hélice anti-couple, se retrouvent encore aujourd'hui dans des hélicoptères modernes.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que la plupart des drones actuels sont construits sur la forme de l'appareil 2, avec un châssis en croix portant 4 hélices principales à l'extrémité de chacune des branches.

## **Sources :**

- Documents divers du Fonds Étienne Oehmichen des musées de Montbéliard

## WINGSUIT ANNÉES 1990



*Combinaison prêtée par l'École de parachutisme Nord Franche-Comté*

### Caractéristiques de l'appareil

Longueur : Un homme  
Largeur : Envergure de bras  
Poids : 1,20 kg

### Source d'inspiration

Ecureuil volant

### Informations complémentaires sur l'appareil

Les *wingsuits*, ou combinaisons ailées, jouent le même rôle que les membranes (patagium) tendues entre les pattes des écureuils volants, à savoir augmenter la portance lors d'un saut, ralentissant ainsi la chute, tout en permettant plus de manœuvrabilité et un déplacement horizontal.

Elles permettent d'assurer un déplacement horizontal compris entre 2 et 4 km pour une descente de 1 km d'altitude. La vitesse avoisine généralement les 160 km/h. Le record de vitesse reconnu est de près de 300 km/h.

Si des tentatives, infructueuses, ont été faites avant, les premières combinaisons ailées fonctionnelles sont réalisées dans les années 1930 (Rex Finney et Clem Sohn aux USA, Léo Valentin en France). Elles sont alors faites de matériaux divers : toile, soie, bois, acier, os de baleine.

La version moderne voit le jour dans les années 1990 (Patrick de Gayardon, parachutiste français). D'autres parachutistes développent également d'autres prototypes au cours de ces années. Les wingsuits sont commercialisées depuis 1999, associées à un programme d'apprentissage accessible aux

parachutistes expérimentés (plus de 200 sauts). Elles sont actuellement faites en polyamide et néoprène (kevlar aussi parfois).

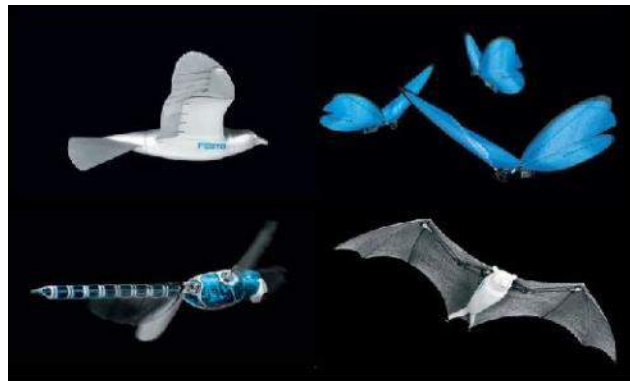
Portées avec un parachute, les wingsuits sont utilisées pour des sauts depuis des avions, des falaises ou autres points (BASE jump). Lors de départ depuis un point en mouvement, la vitesse initiale permet d'arriver rapidement à une vitesse suffisante pour obtenir suffisamment de portance (et ainsi permettre le déplacement horizontal). Lors d'un saut depuis un point fixe (BASE jump), le point d'envol doit être suffisamment haut pour que la vitesse de chute initiale soit rapidement suffisante pour rendre la portance effective. Le vol en wingsuit est considéré comme l'un des sports les plus dangereux.

## **Devenir**

Les expériences de pratique de vol (la témérité des pratiquants) et les développements technologiques (nouveaux matériaux, plus résistants, plus légers, ...) permettent de repousser les limites chaque jour.

De plus, outre le vol en combinaison ailée traditionnelle, de nouveaux systèmes sont développés, comme le *wingpack* (intermédiaire entre la wingsuit et le deltaplane) ou le *jet pack* (wingsuit motorisée).

# **SMARTBIRD, eMOTIONBUTTERFLIES, BIONICOPTER, BIONIC FLYINGFOX 2011 - 2018 FESTO. BIONIC LEARNING NETWORK**



Films de démonstration fournis par FESTO ; © FESTO

## **Caractéristiques des appareils**

	<i>Smartbird</i>	<i>BionicOpter</i>	<i>eMotion Butterflies</i>	<i>Bionic FlyingFox</i>
Longueur	107 cm	44 cm	Nc	87 cm
Largeur / Envergure	200 cm	63 cm	50 cm	228 cm
Poids	450 g	175 g	32 g	580 g

## **Sources d'inspiration**

Goéland, libellule, papillon et chauve-souris (roussette)

## **Informations complémentaires sur les appareils**

Du *Smartbird* (2011) au *Bionic FlyingFox* (2018) en passant par le *BionicOpter* (2013-2014) et les *eMotionButterflies* (2015-2017), voici quatre exemples de robots bio-inspirés développés par le *Bionic Learning Network* – un groupe de recherche et développement - de FESTO.

Le **Smartbird**, inspiré du Goéland, vole comme l'oiseau. Il est capable de décoller, voler et atterrir par ses propres moyens. Comme l'oiseau, le mouvement des ailes du *Smartbird* intègre mouvement vertical de l'aile et



torsion de la main pour assurer propulsion et ascension. Par ailleurs, il y a un système de surveillance en continu en cours de vol des paramètres de position des ailes, torsion et état de la batterie.

Le **BionicOpter**, inspiré du vol de la libellule, est un drone ultraléger, muni de 4 ailes indépendantes, lui permettant de se déplacer dans toutes les directions et de faire du vol stationnaire. Les paramètres de contrôle de son vol sont la fréquence (commune) de battement des ailes, leur torsion et leur amplitude de mouvement (indépendante). La tête et la queue peuvent bouger également. L'ensemble des composants (capteurs, actionneurs, mécanique et systèmes de commande et régulation) ont été intégrés pour minimiser l'encombrement de l'ensemble tout en optimisant leurs fonctionnements. Télécommandée, de nombreuses données peuvent être échangées entre le pilote et l'objet volant. Toutefois, la prise en main des commandes de vol sont relativement simples.

Les **eMotionButterflies**, inspirés des papillons, sont des objets volants ultralégers et capables de comportement coordonné en vol collectif. Ce comportement est contrôlé par un ensemble de caméras infra-rouge réparties dans la zone de vol, qui permettent de localiser chaque papillon bio-inspiré marqué individuellement. Les informations de position sont transmises et traitées par un ordinateur central qui coordonne les mouvements.

Le **BionicFlyingFox** s'inspire de la chauve-souris appelée Roussette. Comme elle, l'objet volant bio-inspiré combine une grande surface de portance (ailes constituée d'une membrane tendue entre les bras, les doigts des mains et les chevilles.) animée par le mouvement des bras et mains. Les ailes peuvent se déployer et se fermer indépendamment l'une de l'autre. Afin d'imiter au mieux les principales propriétés du patagium (élasticité et résistance mécanique), la membrane du **BionicFlyingFox** est constituée de deux films étanches à l'air et d'un tricot en élasthane soudés ensemble. L'envol et l'atterrissage sont contrôlés à distance par un humain. Le vol, quant à lui, est réalisé en autonomie, dans un espace délimité (contrôle automatique de la position et des commandes de direction du vol par un système combinant 2 caméras orientables, un ordinateur central et le système de contrôle du vol embarqué dans le drone). Par ailleurs, le système de vol automatique s'optimise au fur et à mesure des vols par apprentissage des meilleurs paramètres de contrôle des mouvements pour chaque parcours de vol prédéfini.

### **Courte notice biographique de l'inventeur**

Le « *Bionic learning network* » de FESTO est créé en 2010. Rassemblant des ingénieurs et des universitaires d'horizons divers, l'objectif de ce groupe de recherche et développement est d'apprendre de la nature en concevant des robots dont les mouvements et comportements se rapprochent autant que possible de leur modèle naturel.

## **Devenir**

Les systèmes et solutions technologiques développés dans le cadre de la conception de ces drones bio-inspirés servent d'inspiration pour la réalisation de nouveaux produits commercialisés par l'entreprise FESTO. Il s'agit d'un pur processus de bio-inspiration : observer et apprendre de la nature pour trouver de nouvelles solutions technologiques, pour l'automatisation pour FESTO.

## **Sources :**

- Site internet FESTO. URL : <https://www.festo.com/group/fr/cms/10156.htm> [consulté le 25/01/2019]
- Brochures de présentation des démonstrateurs (téléchargeables sur le site de l'entreprise):
  - o Festo\_SmartBird\_en.pdf
  - o Festo\_BionicOpter\_en.pdf
  - o Festo\_eMotionButterflies\_en.pdf
  - o Festo\_BionicFlyingFox\_en.pdf

## **DRONE SAMARE 2013-2014 ECE PARIS**



*Prêt de l'ECE Paris et de l'ONERA*

### **Caractéristiques de l'appareil**

Longueur : 80 cm

Largeur : 52 cm

### **Source d'inspiration**

Graine d'érable (samare)

### **Informations complémentaires sur l'appareil**

Développé dans le cadre d'un projet d'étude par des élèves ingénieurs de l'ECE Paris, ce drone vole selon le principe de la samare, avec une aile unique tournant sur elle-même. L'objectif du projet est de réaliser un prototype à faible coût financier et énergétique.

### **Devenir**

Plusieurs équipes de recherche à travers le monde travaillent au développement de drones inspirés du modèle des samares, comme une équipe de l'école d'ingénieur A. James Clark de l'université du Maryland (U.S.A.). Ces derniers développent un drone samare (*SAMARA MAV*) depuis 2009. De taille décimétrique dans ses premières versions, les prototypes mesurent moins de 10 cm de long dans leur version actuelle.

## **BIONIC BIRD 2015 XTIM – EDWIN VAN RUYMBEKE**



*Photo : XTim / Objet exposé donné par la société XTim*

### **Caractéristiques de l'appareil**

Longueur : 17 cm

Largeur : 33 cm

Poids : 9,2 g

### **Source d'inspiration**

Vol battu des oiseaux

### **Informations complémentaires sur l'appareil**

Ce drone inspiré de l'oiseau et de la taille d'une hirondelle est capable de voler en battant des ailes. Commandé à distance par *Bluetooth* (radiocommandé) et d'une autonomie de plusieurs minutes, il s'agit de la version moderne d'un jouet mécanique à élastique créé dans les années 1960, l'oiseau Tim.

La conception du *Bionic bird* est une prouesse de miniaturisation / micro-technologie, pour permettre d'intégrer dans le corps de l'oiseau l'ensemble des organes de contrôle, de motorisation et d'alimentation tout en limitant le poids à moins de 10 g. Les ailes déformables et le réglage d'incidence de la queue du *Bionic Bird* le rendent très manœuvrable, comme un oiseau.

La portée du drone est contrainte par celle du *Bluetooth*, soit 100 m.

Il vole à une vitesse de 5 à 20 km/h.

### **Courte notice biographique de l'inventeur**

Edwin Van Ruymbeke est le fils et petit-fils des inventeurs de Tim Bird, l'oiseau mécanique à élastique créé dans les années 1960. Ingénieur en aéronautique de formation, il a travaillé dans l'entreprise familiale avant de développer une version moderne du jouet mécanique. Une première version d'un oiseau à moteur électrique (*Avitron*) radiocommandé a vu le jour en 2010, avant de devenir le *bionic bird* commandé via smartphone en 2015. Cette évolution fut possible grâce aux développements de la microtechnologie.

### **Devenir**

Une nouvelle version du *bionic bird* est en cours de développement : le *Metafly*.

### **Sources :**

- Site de présentation du *Bionic bird*. URL : <https://bionicbird.com/> [consulté le 24/01/2019]

# MICRODRONE LIBELLULE 2017 SILMACH



*Prêt de la société SilMach et de la Direction générale de l'armement (D.G.A.)*

## Caractéristiques de l'appareil

Longueur : moins de 10 cm

Largeur : moins de 10 cm

Poids : 200 mg (ailes + mécanisme / coque exclue)

## Source d'inspiration

Libellule

## Informations complémentaires sur l'appareil

Le microdrone « Libellule » est conçu et réalisé par la société Silmach (Besançon), comme démonstrateur de leur savoir-faire dans le domaine de la micromécanique.

Les deux modèles exposés sont des prototypes de 2017 de ce drone (projet initié en 2003, avec d'autres caractéristiques), directement inspiré de la libellule. Très légers, les ailes de ce drone sont actionnées grâce à un moteur ultra-miniaturisé, en silicium. Développé grâce au soutien de la Direction Générale de l'Armement, ces micromoteurs, issus de la technologie MEMS (micro-systèmes électro-mécaniques), peuvent se retrouver dans des systèmes nomades ou connectés, comme des montres.

Le premier démonstrateur Libellule a été réalisé en 2003 pour servir de faire-valoir aux compétences de la toute nouvelle société, spécialisée dans les MEMS en silicium (entreprise pionnière dans ce domaine). Plusieurs versions sont développées depuis, au gré des avancées technologiques.

Le drone est constitué d'une coque en résine (réalisée avec une imprimante 3D) qui sert de support à l'ensemble ailes-moteur. Le drone est constitué de silicium, titane, PEEK (polyétheréthercétone – plastique thermoformé) et Parylene (polymère poly (p-xylylène) formé par dépôt des éléments « projeté »

sous forme de vapeur). Les ailes sont formées de nervures en titane (découpées dans une fine feuille) sur lesquelles un polymère en phase gazeuse a été projeté et qui, en se déposant sous vide, constitue la membrane.

Les ailes sont reliées à un micromoteur de quelques milligrammes – un MEMS (Micro-système électro-mécanique) – par l'intermédiaire d'un simple système de bielles et manivelles reliées par des charnières de quelques  $\mu\text{m}$  de diamètre, qui permettent un mouvement de rotation passif de l'aile lors de son retour après battement. La structure, souple, de l'aile même permet à celle-ci de se déformer lors de leur mouvement.

Le micromoteur, issu de la technologie PowerMems conçue et développée par SilMach, à l'avantage d'être très solide, inusable, de tenir en un seul bloc et de ne pas nécessiter de lubrifiant.

### **Courte notice biographique de l'inventeur**

La société SilMach est créée en décembre 2003 à Besançon par Patrice Minotti. Spécialisée dans le développement des MEMS, pionnière dans le domaine de la micromécanique en silicium, elle développe deux principaux types de produits : des micromoteurs destinés aux appareils nomades ou connectés (« PowerMEMS ») et des micro-capteurs pour la surveillance et le suivi – sans énergie – de l'état de structures (« ChronoMEMS »).

Elle reçoit le soutien de la DGA (Direction Générale de l'Armement) dans le cadre du Régime d'appui à l'innovation duale (RAPID) depuis plusieurs années. SilMach a, par ailleurs, reçu plusieurs prix et distinctions.

### **Devenir**

Le drone Libellule de SilMach n'est qu'un démonstrateur, qui, dans sa forme actuelle, ne déploie pas assez de puissance pour s'élever dans les airs. Toutefois, le système « PowerMEMS », dont le drone est équipé, est destiné à intégrer des montres, classiques ou connectées (La création d'une co-entreprise SilMach – Timex a été annoncée au Salon du Bourget en 2017 pour un lancement prévu en 2019).

Les libellules – et plus généralement les insectes – servent souvent de source d'inspiration dans la recherche de miniaturisation de plus en plus poussée des drones. Plusieurs laboratoires de recherche ou entreprises à travers le monde développent ainsi des drones-insectes, comme Delfly (MAV Lab, Université de technologie de Delft, Pays-Bas), Robobee (Wyss Institute, Université de Harvard, Etats-Unis d'Amérique), OVMI (Institut d'électronique, de microélectronique et de nanotechnologie, Communauté d'universités et d'établissements Lille Nord de France), etc.

### **Sources :**

- Site de la société SilMach. URL : <http://silmach.com/index.php/acceuil/>
- T. Jardin, S. Prothin, P. Barricau & J.R. Frutos. 2018 - Development of a 200 mg bio-inspired nano-flying robot. Abstracts of the 10<sup>th</sup> International Micro-Air Vehicles Conference. 22-23/11/2018. Melbourne, Australia.

## NOTICES BIOGRAPHIQUES

### **Clément Ader (Muret, 1841 - Toulouse, 1925)**

Ingénieur créatif au cœur de son temps, il conçoit de nombreuses inventions, allant de la téléphonie aux véhicules. Parmi celles-ci, il destine celles liées à l'aéronautique à l'armée, pour qui, selon lui, l'aviation a un rôle majeur à jouer.

### **George Cayley (Scarborough, 1773 - Brompton, 1857)**

Considéré comme un des pères de l'aérodynamique, cet ingénieur et politicien britannique base son travail sur l'étude de la nature et l'expérimentation. Il identifie les forces physiques impliquées dans le vol et conçoit plusieurs planeurs.

### **Georges Cuvier (Montbéliard, 1769 - Paris, 1832)**

Naturaliste et paléontologue de renom, il a, entre autre, développé l'étude de l'anatomie comparée\* et ainsi mis en évidence les relations entre forme et fonction des organes. Il fut, par la suite, le premier à décrire un reptile volant fossile : le ptérodactyle (étymologiquement « doigt ailé »).

### **Otto Lilienthal (Anklam, 1848 - Berlin, 1896)**

Ingénieur allemand, il invente, construit et expérimente plus de vingt appareils volants, à voilure fixe ou ailes battantes, après un travail remarquable sur le vol animal publié sous le titre « *Du vol des oiseaux comme fondement de l'art du vol* ».

### **Étienne-Jules Marey (Beaune, 1830 - Paris, 1904)**

Médecin et physiologiste, c'est un pionnier de la chronophotographie\*. Hommes, chevaux, oiseaux, il décompose leurs mouvements grâce à son fusil photographique qui permet des prises de vue successives rapides. Professeur au collège de France, ses travaux sur le vol des oiseaux sont publiés en 1890.

### **Étienne Œhmichen (Châlons-sur-Marne, 1884 - Paris, 1955)**

Fasciné par le vol, cet ingénieur met au service de l'étude de la mécanique animale et de l'aéronautique son inventivité féconde : appareils volants, stroboscope, caméra rapide ... Son approche biomécanique\* lui ouvre les portes du Collège de France où il sera professeur jusqu'à sa mort.



### **Alphonse Papin et Didier Rouilly**

Ces deux ingénieurs français débutent en 1908 une collaboration dans le but de proposer une nouvelle forme d'hélicoptère. Plusieurs brevets décrivent leurs inventions, gyroptère à aile unique ou bipale. Les difficultés financières mettront un terme définitif à leurs projets en 1936.

### **Alphonse Pénaud (Paris, 1850 - Paris, 1880)**

Ingénieur passionné d'aéronautique, il est partisan des « plus lourds que l'air »\*. Il crée des appareils de navigation et perfectionne ou invente plusieurs machines volantes de taille réduite, propulsées par un moteur à élastique.

### **Léonard de Vinci (Vinci, 1452 - Amboise, 1519)**

Artiste, savant, l'étude du vol est un des sujets qui attire sa curiosité. Ses notes et réflexions sur le vol et ses mécanismes, accompagnées de dessins d'observation d'oiseaux et d'esquisses de machines volantes, sont rassemblées dans 18 feuillets écrits vers 1505, connu sous le nom de « codex sur le vol des oiseaux ».

## LEXIQUE

### **Anatomie comparée**

Discipline scientifique dont le sujet est l'étude comparative des êtres vivants (organes, squelettes) pour mettre en évidence les relations de parenté et les adaptations liées à l'environnement ou leur fonction.

### **Bio-inspiration**

Approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques. Le biomimétisme se distingue de la bio-inspiration par la prise en compte, dans la démarche, du développement durable.

### **Biomécanique**

Entre ingénierie et biologie, il s'agit de l'étude du fonctionnement et des caractéristiques mécaniques des êtres vivants et des systèmes biologiques. Ceux-ci sont analysés au moyen des lois de la mécanique.

### **Chiroptère**

Groupe de mammifères qui inclut l'ensemble des chauves-souris, actuelles et fossiles.

### **Chronophotographie**

Technique photographique de prises de vues successives d'un objet ou d'un être vivant afin d'en décomposer le mouvement.

### **Patagium**

Membrane élastique constituée généralement de peau, parfois renforcée de muscles ou d'éléments rigidifiant (os, cartilage), qui permet, tendue, de planer (écureuils volant, dragons volant...) ou de faire du vol battu (ptérosaure, chauve-souris).

### **« Plus lourds que l'air »**

Terme créé aux débuts de l'aéronautique pour désigner les appareils volants qui se maintiennent en l'air par leurs propres moyens (aérodynes), par opposition aux montgolfières et dirigeables (aérostats) qui volent grâce à un ballon rempli de gaz plus léger que l'air ambiant.

### **Ptérosaure**

Reptile volant dominant les airs au Mésozoïque, pendant que les dinosaures règnent sur le domaine terrestre. Les ptérosaures ont disparu à la fin du Mésozoïque, il y a environ 66 millions d'années.

### **Samare**

Fruit sec contenant une graine unique et possédant une aile membraneuse qui permet le transport de la graine par le vent.

## REPÈRES CHRONOLOGIQUES

