

## LE DRAGON ORIENTAL

S'ils ne crachent pas du feu et ne dorment pas sur des montagnes d'or, les dragons volants du genre *Draco* restent des reptiles emblématiques bien réels des forêts tropicales orientales actuelles. Ces reptiles arboricoles d'une taille d'environ 20 cm et atteignant au maximum 35 g montrent une très forte spécialisation au vol plané. Ils possèdent en effet un patagium soutenu par cinq à sept côtes thoraciques selon les espèces. Au repos, le patagium est replié le long du corps, mais peut être étendu lors du décollage grâce à de puissants muscles intercostaux. On a longtemps cru que ces animaux volaient les bras légèrement vers l'avant en se servant de leur queue pour s'équilibrer, mais il a récemment été montré qu'ils pouvaient en plus agripper leurs ailes avec leurs mains pour contrôler leur cambrure et leur trajectoire.

Par leur anatomie très spécialisée, les dragons volants représentent un excellent modèle pour étudier les potentialités d'adaptation au vol plané chez les reptiles. Une étude préparatoire sera ainsi menée sur un modèle de *Draco volans* afin d'effectuer des comparaisons croisées des simulations réalisées à d'Alembert avec des mesures publiées, couvrant une plage de conditions de vol. Nous sommes également ouverts à la discussion et à la collaboration autour de ces comparaisons croisées. Ceci permettra de calibrer le modèle numérique en vue de son application aux reptiles fossiles. *Coelurosauravus* pourra alors prendre son envol pour la première fois depuis plus de 250 millions d'années ! ■

## SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES

# Étude aérodynamique du vol d'un lézard *Draco* : Approches expérimentale, numérique et par méthodes inverses

par Renaud Boistel, Antony Herrel, Muséum national d'Histoire naturelle<sup>1</sup>, Ali Hocine, Jean-Gabriel Bauzin et Belkacem Cherickh, université Paris-Nanterre<sup>2</sup>

L'invasion de nouveaux habitats sans concurrents a joué un rôle important dans la diversification et la variation adaptative des organismes (Schluter, 2000). Un exemple de transition d'habitat extrême est celui entre les environnements terrestres et aériens. L'évolution de la locomotion aérienne est supposée avoir progressé du saut dans un contexte arboricole à la descente aérienne dirigée, au vol plané contrôlé et finalement au vol actif (Maynard-Smith, 1952 ; Dudley et al., 2007). Le fait de pouvoir se déplacer dans l'air semble avantageux à plusieurs égards, notamment pour les animaux arboricoles. Tout d'abord, les animaux arboricoles doivent se déplacer dans des environnements complexes et dynamiques. Le fait de pouvoir ralentir leur descente,

soit en planant soit en volant, leur évitera de se blesser en tombant ou en sautant. Deuxièmement, ils sont capables d'échapper aux prédateurs et, en même temps, de poursuivre des proies aériennes. Le vol plané a évolué plusieurs fois chez les lézards, entre autres chez des membres des familles Polychrotidae (*Anolis pentapryon*; Boistel et al., 2011), Gekkonidae (*Ptychozoon spp.* ; Russell 1979), Lacertidae (*Holaspis guentheri* ; Vanhooydonck et al., 2009) et Agamidae (*Draco spp.* ; McGuire & Dudley, 2011) présentant tous des planeurs plus ou moins spécialisés.

<sup>1</sup> MECADEV UMR 7179 C.N.R.S./M.N.H.N, Département Adaptations du Vivant, Bâtiment d'Anatomie Comparée, 55 rue Buffon, 75005, Paris.

<sup>2</sup> Laboratoire Thermique et Interfaces, Université Paris Nanterre, Laboratoire Thermique Interfaces Environnement, LTIE, Département, GTE 50 Rue de Sèvres, 92410, Ville d'Avray,

## SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES

### ÉTUDE AÉRODYNAMIQUE DU VOL D'UN LÉZARD DRACO : APPROCHES EXPÉRIMENTALE, NUMÉRIQUE ET PAR MÉTHODES INVERSES



Figure 1 : Draco dans son milieu naturel (crédit photo Anne-Claire Fabre)

Les lézards volants du genre *Draco* (voir Figure 1) sont très répandus en Asie du Sud-Est et dans le sud-ouest de l'Inde. Le genre est composé d'environ 45 espèces. Les lézards volants sont célèbres pour leur stratégie locomotrice planante, qu'ils utilisent pour se déplacer entre les arbres dans leur habitat de hautes forêts dominées par les diptérocarpes (McGuire & Dudley, 2011). Tous les lézards du genre *Draco* sont strictement arboricoles, et tous partagent des spécialisations anatomiques qui améliorent la portance aérodynamique pendant le vol plané, notamment un patagium, une membrane de peau soutenue par des côtes thoraciques allongées et un fanon gulaire, une membrane de peau soutenue par l'appareil hyoïdien. Ensemble, le patagium et le fanon gulaire constituent les principales surfaces aérodynamiques et réduisent considérablement les charges alaires par rapport à celles des lézards moins spécialisés. Le patagium du *Draco* est unique car il s'agit d'une structure activement contrôlée, soutenue par des côtes thoraciques allongées et une musculature spécialisée (John, 1970 ; Russell et Dijkstra, 2001). La figure 2 représente les maillages 3D réalisés au Muséum sur un Draco ainsi qu'une cartographie d'épaisseur sur laquelle on visualise l'épaisseur locale du patagium.

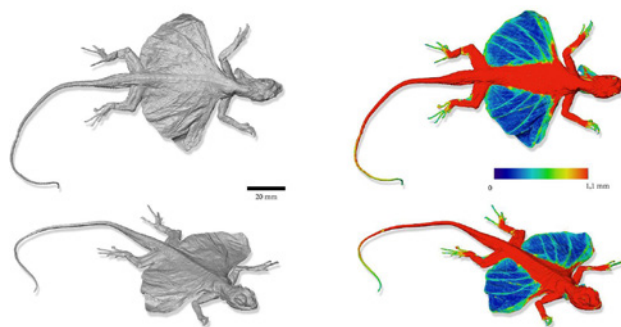


Figure 2 : Maillage 3D d'un Draco et cartographie d'épaisseur

À ce jour, les différentes morphologies associées à un mode de vie aérien se traduisent par des performances aérodynamiques qui restent largement méconnues. C'est dans ce contexte que nous proposons une étude qui vise à améliorer notre compréhension de l'aérodynamique des lézards et en particulier celle du lézard *Draco*.

Nous présentons ici les travaux menés par le Muséum national d'histoire naturelle et le Laboratoire de thermique interfaces et environnement (LTIE) dans le cadre d'une collaboration multi-domaines traitant de l'aérodynamique du lézard *Draco*.

Une étude expérimentale est menée au sein du laboratoire de mécanique des fluides de l'IUT de Ville-d'Avray. Ce laboratoire dispose de trois souffleries subsoniques à retour de type Prandtl dont les caractéristiques sont : dimensions de veine 45×45×65 cm<sup>3</sup>, vitesse maximale de 40 m/s, et taux de turbulence moyen d'environ 1%. A partir d'images microtomographie par rayons X de *Draco* réalisés à l'IC2MP (Poitiers), des maillages 3D ont été imprimés puis implantés en soufflerie et utilisés pour des mesures d'efforts, à l'aide d'une balance aérodynamique 6 axes et pour la détermination de champs de vitesse par l'intermédiaire d'une chaîne PIV (voir Figure 3).

Parallèlement à ces mesures, une étude numérique a été développée. Elle s'appuie d'une part sur un modèle de mécanique du vol dit direct et d'autre part sur un modèle intégrant des méthodes inverses. Le premier permet de déterminer par méthode directe les trajectoires connaissant les caractéristiques aérodynamiques et certains éléments cruciaux du vol (phase de décollage, caractéristiques biologiques de l'animal, etc.). Le second, permet à partir d'une trajectoire observée d'identifier un ou plusieurs paramètres. Ces deux modules interagissent

## SCIENCES ET TECHNIQUES AÉROSPATIALES ÉTUDE AÉRODYNAMIQUE DU VOL D'UN LÉZARD DRACO : APPROCHES EXPÉRIMENTALE, NUMÉRIQUE ET PAR MÉTHODES INVERSES

et permettent de multiplier les études de sensibilité même si certaines données sont manquantes.



Figure 3 : Soufflerie de l'IUT de Ville-d'Avray et mesures d'efforts sur balance 6 axes

Les objectifs de cette étude sont donc multiples :

- Mesurer en soufflerie les performances aérodynamiques du Draco pour plusieurs configurations et différentes postures de vol.
- Mesurer des champs de vitesses autour du lézard pour éventuellement mettre en évidence des écoulements

particuliers et retrouver par calculs les caractéristiques aérodynamiques mesurées à la balance.

- Retrouver, par calcul direct, les trajectoires observées par les biologistes et compléter les données relevées.
- Accéder, par méthode inverse, à certaines données manquantes sur les observations faites par les biologistes (angle et vitesse de décollage, masse de l'animal, moment d'inertie, etc.).
- Etudier l'influence de certaines postures observées sur les trajectoires. Quelles sont les attitudes prédominantes ? Comment l'animal modifie sa posture pour influencer sur sa trajectoire (voir Figure 4)?

A titre d'exemple de résultat, nous présentons ici une mesure d'effort réalisée à 20 m/s. La polaire d'Eiffel obtenue est comparée à celle extraite d'une étude expérimentale sur un modèle de lézard disparu, le *Kuehneosaurus latus* (Stein et al. 2008 ; voir Figures 5 et 6).

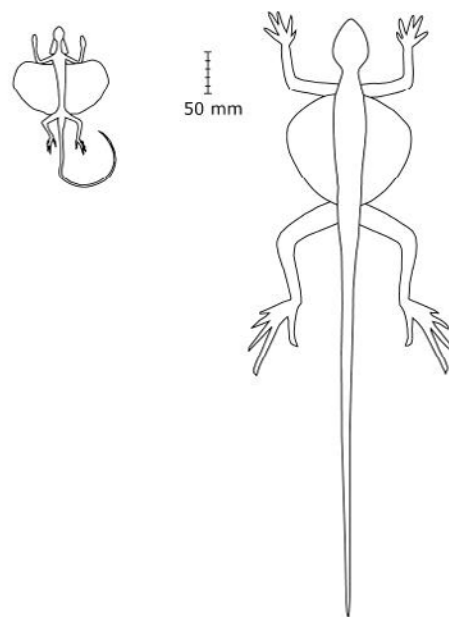


Figure 5 : Silhouette et dimension du *Draco melanopogon* (à gauche) et du *Kuehneosaurus latus* (à droite ; Stein et al, 2008).

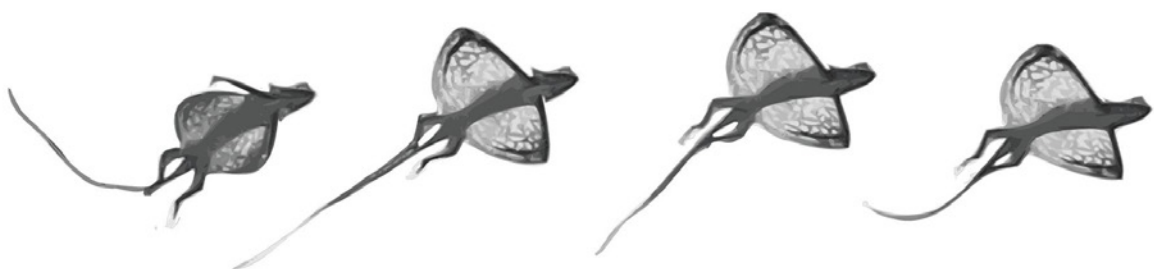


Figure 4 : Postures d'un Draco au cours d'un vol

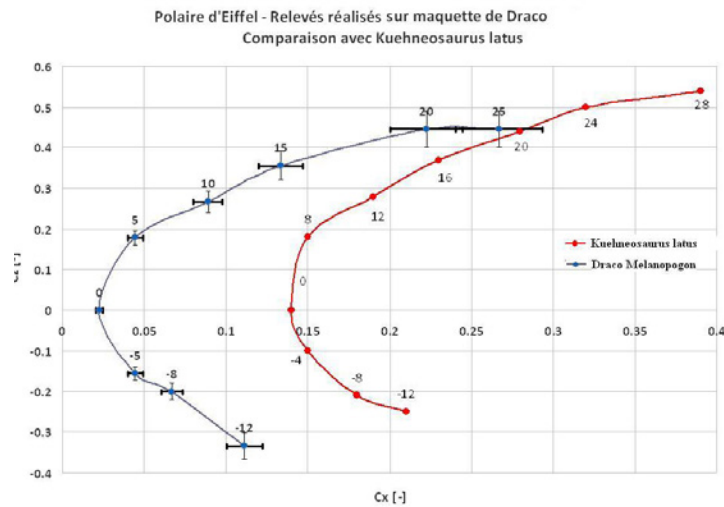


Figure 6 : Polaires d'Eiffel sur Draco melanopogon réalisées à 20 m/s, comparaison avec Kuehneosaurus latus.

Les coefficients aérodynamiques sont différents mais on constate des allures semblables pour les polaires des deux animaux. Les coefficients de portance Cz maximums sont voisins pour des incidences à peu près égales. Le coefficient de traînée Cx est visiblement beaucoup plus faible pour le Draco ce qui est cohérent avec sa forme plus effilée.

Ce travail fait donc interagir des méthodes expérimentales, numériques et des observations faites dans le milieu naturel et en laboratoire. En effet, nous projetons de multiplier des vols de lézard en laboratoire pour collecter suffisamment de données pour valider les différents outils développés et évaluer la pertinence de notre approche. Le potentiel de cette étude nous semble vaste et inexploité. Par ailleurs, elle s'appuie sur une forte interaction entre des domaines qui se nourrissent mutuellement, ce qui nous semble être un atout majeur.

Pour les biologistes, les enjeux et perspectives de cette étude s'articulent principalement autour du thème de la relation entre forme et fonction, ainsi que les adaptations des lézards à leur milieu. On souhaite par ces travaux apporter des éléments de réponse à ces questions importantes. Pour les industriels, cette étude peut apporter des perspectives exploitables comme par exemple le développement de micro-drones. S'inspirer de cette nature peu connue pour orienter un développement aéronautique nous apparaît comme un choix prometteur et riche d'enseignements.

Références

- Boistel, R., A. Herrel, R. Lebrun, G. Daghfous, P. Tafforeau, J.B. Losos and B. Vanhooydonck (2011). Shake rattle and roll: the bony labyrinth and aerial descent in squamates. *Integ. Comp. Biol.* 51: 957-968.
- Dudley, R., G. Byrnes, S.P. Yanoviak, B. Borrell, R.M. Brown and J.A. McGuire (2007). Gliding and the functional origins of flight: biomechanical novelty or necessity? *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 38: 179-201.
- John, K.O. (1970). On the 'patagial musculature' of the South Indian flying lizard *Draco dussumieri*, Dum & Bib. *British J Herpetol* 4:161-168.
- Maynard-Smith, J. (1952). The importance of the nervous system in the evolution of animal flight. *Evolution* 6: 127-129.
- McGuire, J.A. and R. Dudley (2011). The biology of gliding in flying lizards (Genus *Draco*) and their fossil and extant analogs. *Integr. Comp. Biol.* 51: 983-990.
- Russell, A.P. (1979) The origin of parachuting locomotion in gekkonid lizards (Reptilia: Gekkonidae). *Zool. J. Linn. Soc.* 65: 233-249.
- Russell, A.P. and L.D. Dijkstra (2001). Patagial morphology of *Draco volans* (Reptilia: Agamidea) and the origin of glissant locomotion in flying dragons. *J. Zool.* 253: 457-471.
- Schluter, D. (2000). *The ecology of adaptive radiation.* Oxford University Press.
- Stein, K., C. Palmer, P.G. Gill and M.J. Benton(2008). The aerodynamics of the british late triassic kuehneosauridae, *Palaeontology* 51: 967-981.
- Vanhooydonck, B., G. Meulepas, A. Herrel, R. Boistel, P. Tafforeau, V. Fernandez and P. Aerts (2009). Ecomorphological analysis of aerial performance in a non-specialized lacertid lizard, *Holaspis guentheri*. *J. Exp. Biol.* 212: 2475-2492. ■