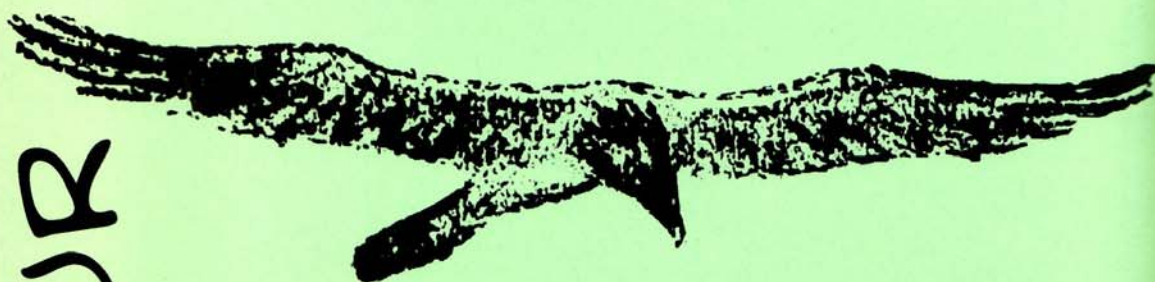


D'OS

Revue
du **GOPA**
Groupe
Ornithologique
des Pyrénées
et de l'Adour

vol. 3, n° 2 Octobre 2003



Robert Hainaut

LE CASSEUR

Liste commentée des reptiles et amphibiens des Pyrénées occidentales

Caractérisation de l'avifaune nicheuse des Pyrénées occidentales

Le Gypaète pourrait-il rattraper l'os qu'il a lâché ?

Statut du Vautour moine dans les Pyrénées occidentales

Notes diverses : Rollier, Labbe à longue queue, Fauvette mélanocéphale,
Elanion, Circaète, Faucon crécerelle, Loirs

Bibliographie passionnelle

Le vol en chute libre ou Le Gypaète pourrait-il rattraper l'os qu'il a lâché ?

Yves BOUDOINT

RESUME : Où il est montré, sur la base d'éléments de physique théorique concernant la chute des corps, que le Gypaète barbu *Aegyptus barbatus* peut rattraper l'os qu'il a lâché en suivant une trajectoire dite « brachystochrone » bien que cette situation n'ait jamais été observée dans la nature à ce jour.

Le vol en chute libre.

La chute libre est un moyen facile d'acquérir de la vitesse mais ce moyen, disponible pour les oiseaux, ne l'est pas pour les terriens que nous sommes, aussi en faisons nous peu de cas, mis à part quelques parachutistes du genre sportif.

Lorsque l'oiseau quitte son perchoir, il dispose souvent d'un espace vide pour y prendre de la vitesse ; ainsi un martinet, ou tout autre oiseau quelle que soit sa taille, se laisse tomber d'environ trois mètres et acquiert ainsi une vitesse de vol banale de 30 Km/h suffisante pour assurer sa portance aérodynamique et arrêter sa chute.

Certains rapaces se laissent tomber en chute libre sur leur proie avec la vitesse élevée nécessaire à la capture.

Il se trouve que la chute libre est un phénomène physique intéressant . Déjà, dans l'antiquité, Galilée s'est rendu célèbre en l'étudiant grâce à la Tour penchée de Pise , démontrant que **les corps tombent à la même vitesse quelle que soit leur masse**; cette vérité paradoxale, et d'autres, lui valurent quelques ennuis.

Mais les « faits sont têtus », c'est bien connu. Ils vont donner l'occasion d'un affrontement entre la théorie physique incontournable et les constats rapportés par nous, les observateurs.

Lorsque le Gypaète lâche un os en chute libre pour le casser, on se trouve dans le cas le plus difficile car, au départ, l'oiseau et l'os sont au même endroit avec la même vitesse, d'où le titre choisi, mais cette étude concerne aussi des observations de chutes libres plus banales.



Un cas simple pour commencer.

Avant d'aborder le sujet de cet exposé, le Gypaète et la chute de l'os, nous allons examiner un cas théorique vraisemblable, correspondant à peu près à ce que j'ai vu dans les Pyrénées au col de Soulor.

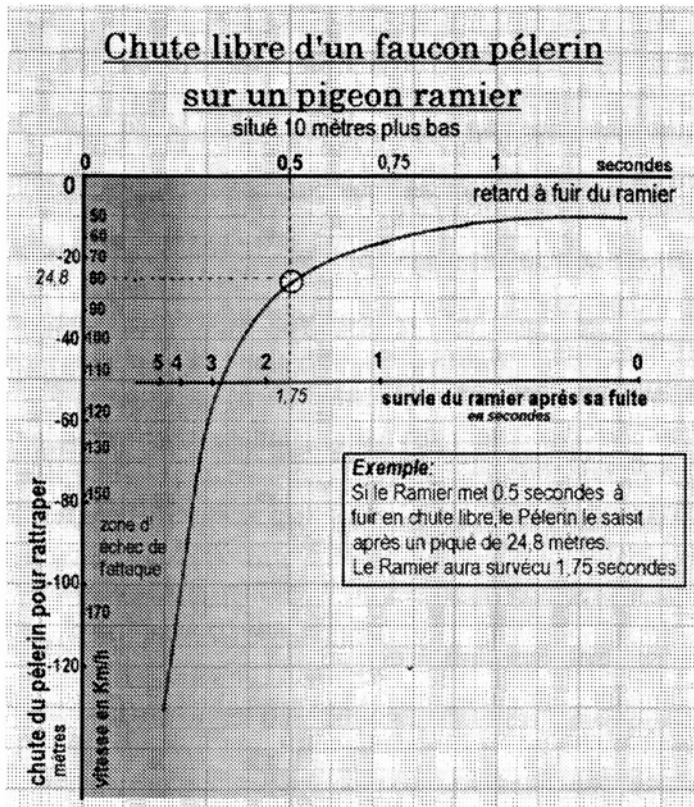


Figure 1 : chute libre verticale d'un Pèlerin sur un Ramier.
Délai et distance de capture et vitesses atteintes.

Leur hauteur de chute du Pèlerin avant la capture en fonction du retard de fuite de la proie, élément primordial. Ainsi la survie du Ramier dépend de son aptitude à réagir vite : s'il pouvait réagir instantanément, il ne serait pas rattrapé et garderait son avance de dix mètres.

Le « casseur d'os »

Le cas du Gypaète lâchant un os est un peu plus délicat parce que cette fois, c'est le Gypaète poursuivant qui a du retard sur l'os poursuivi, et c'est l'os qui a de l'avance.

Si l'on s'inspire des conclusions de l'étude précédente, il semble que le Gypaète ne peut pas rattraper l'os s'il diffère un instant sa poursuite et laisse l'os prendre de l'avance.

On considère une falaise verticale au sommet de laquelle un Faucon Pèlerin est posé (Figure 1). Dix mètres plus bas, sur une aspérité, un Ramier inconscient fait sa toilette ; soudain le Pèlerin fonce en chute libre sur la proie, celle-ci réalise le danger avec retard et s'échappe en chute libre.

Quelle que soit la distance au départ entre le Pèlerin et le Ramier (ici 10 mètres), le calcul montre que ce dernier serait rattrapé si la falaise avait une hauteur illimitée. La Figure 1 indique la hau-

Des faits contraires.

Dans un excellent film sur l'Aigle de Verreaux, on voit cet oiseau jouer avec une grosse branche morte, la laisser tomber en chute libre et la rattraper beaucoup plus bas. Dans cette séquence, la branche prend une avance de plusieurs mètres. Pendant la première partie de sa chute, une telle branche, grosse et dépourvue de feuilles, subit un freinage aérodynamique faible et doit être considérée comme tombant en chute libre ; comment alors expliquer la manoeuvre réussie de l'aigle ? En fait tout le monde trouve normal qu'un oiseau, en piquant, puisse rattraper la proie qu'il a lâchée ce qui pourtant est contraire à la loi de Galilée.

La course poursuite est double.

Contrairement au cas du Pèlerin sur Ramier, un nouvel élément intervient ici : il s'agit de **la vitesse de vol au moment du lâcher**. Cette vitesse est supposée horizontale et voisine de 36 Km/heure, c'est à dire 10 mètres par seconde. Théoriquement les deux mouvements, horizontal et vertical, se déroulent indépendamment l'un de l'autre et on devrait les étudier séparément ; ainsi, à première vue, le Gypaète, s'il prend du retard à poursuivre, ne devrait pas pouvoir rattraper l'os ; c'est d'ailleurs ce qui se passerait dans le vide. Seulement voilà, il y a de l'air et l'oiseau a des ailes. Grâce à une manoeuvre adroite, le gypaète peut s'appuyer sur l'air et transformer sa vitesse horizontale en vitesse de piqué surpassant ainsi la vitesse de chute de l'os. Mais le problème n'est pas résolu pour autant, car par cette manoeuvre, l'oiseau annule sa vitesse horizontale et voit l'os s'échapper devant lui ; en effet, celui ci, tout en chutant, avance imperturbablement à sa vitesse de 10 mètres par seconde ; ce que l'oiseau a gagné en vertical, il l'a perdu en horizontal.

Parvenu en ce point de notre réflexion, nous nous trouvons dans une impasse qui va nécessiter de gros moyens pour essayer d'en sortir.

La trajectoire BRACHYSTOCHRONE (Figure 2).

Déjà Galilée avait pressenti ce problème mais, 100 ans plus tard, l'illustre mathématicien Jean Bernoulli a eu le mérite de le poser clairement ; il fallut les efforts de plusieurs célébrités dont Leibniz, Newton et les frères Bernoulli pour y voir clair et découvrir que la trajectoire idéale de poursuite était une Cycloïde, c'est à dire la courbe parcourue par un point d'une roue qui roule sans glisser, résultat inattendu et insoupçonnable. On a donné le nom de *brachystochrone* à cette trajectoire. Cette solution a été démontrée par des raisonnements mathématiques, mais de là à calculer concrètement le temps nécessaire pour parcourir cette trajectoire il y avait un pas laborieux à franchir que permet aujourd'hui



facilement l'ordinateur ; celui ci accomplira les 10.000 opérations (multiplications, racines carrées, fonctions trigonométriques) nécessaires en moins d'une seconde sans rien enlever au mérite de Bernoulli.

Calculs sur un exemple spéculatif plausible

Je vais choisir un cas arbitraire plausible mais pas réel, d'autant plus qu'on n'a jamais observé un Gypaète rattraper son os (ou même tenter de le faire). Comme le problème comporte plusieurs paramètres (la vitesse de vol au moment du lâcher, le retard du poursuivant à réagir, la trajectoire cycloïdale adoptée), il serait fastidieux de vouloir être complet. On peut penser au cas des Frégates parasites habiles à poursuivre un poisson relâché mais c'est un cas plus facile car la vitesse au départ de la proie et de l'oiseau ne sont pas égales comme dans l'exemple choisi.

Les graphiques ci joints (Figures 2, 3 et 4) illustrent le cas particulier suivant : le Gypaète, ou un autre oiseau, vole horizontalement à la vitesse de 10 m/seconde soit 36 Km/heure au moment du lâcher; il réagit en 0,25 seconde et vire en piqué, adopte une trajectoire cycloïdale de rayon 11,47 mètres qui l'amène à passer par le point, 20 mètres de chute, 20 mètres d'avancement horizontal.

A l'instant du début de la poursuite, la proie n'a chuté que d'une quarantaine de centimètres mais nous allons voir qu'elle va quand même s'éloigner de l'oiseau de plusieurs mètres en cours de descente.

Trajectoire parabolique de l'os & trajectoire brachystochrone

avec 0,25 seconde de retard

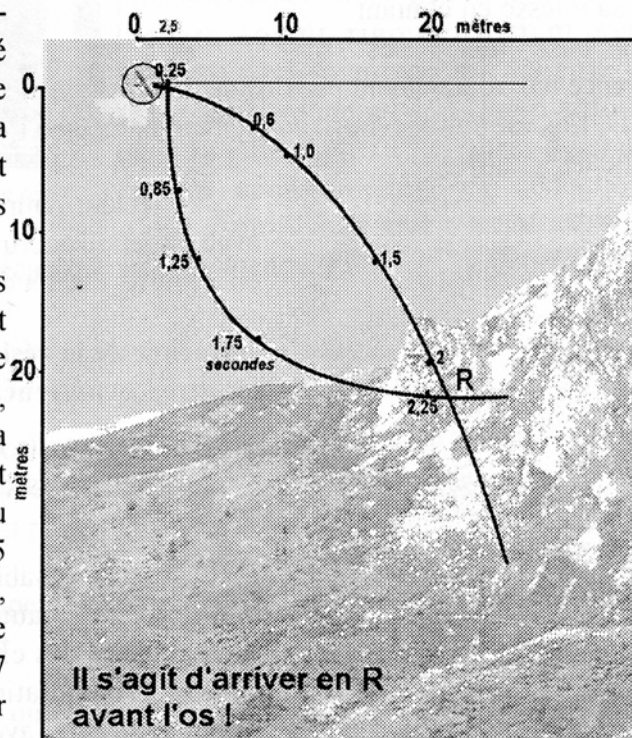


Figure 2 : trajectoires de l'os et du Gypaète pour un retard de poursuite de 0,25 secondes.

Le vol en chute libre - Yves Boudoint

Voici quelques points remarquables
(Figures 3 et 4):

En A, départ de poursuite avec 0,25 seconde de retard.

En B, le gypaète passe déjà en dessous de l'os qui s'éloigne devant lui.

En C, le poursuivant a dépassé verticalement l'os poursuivi de 4,2 mètres ; ainsi augmentait-il sa vitesse en chutant plus bas mais il est devancé horizontalement par l'os de 3 mètres qu'il va falloir regagner.

En D, l'os est rattrapé horizontalement après que l'oiseau ait perdu son avance verticale.

Figure 3 : fonction horaire de la poursuite verticale de l'os par le Gypaète.

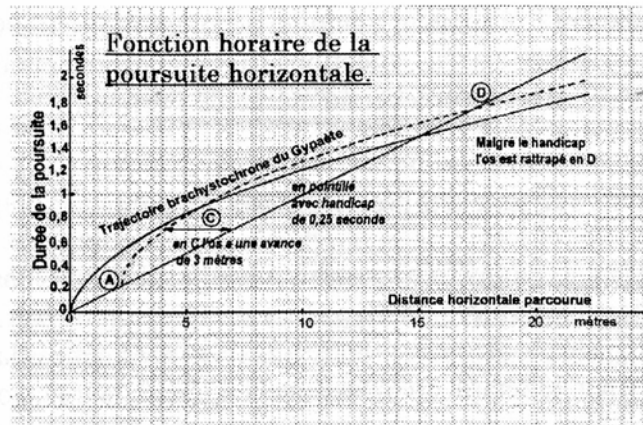
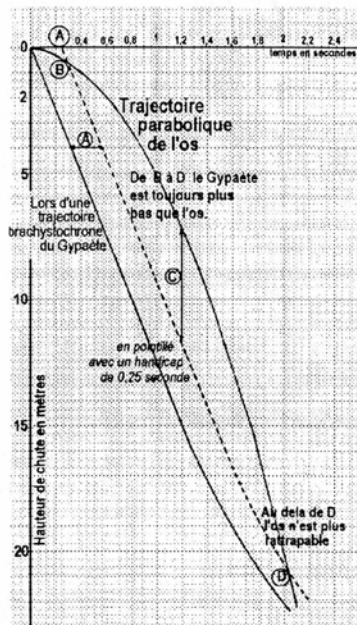


Figure 4 : Fonction horaire de la poursuite horizontale. Ces deux graphiques illustrent ce qui se passerait verticalement et horizontalement en fonction du temps.

Le lecteur pourra examiner ce qui se passe avec un retard accru en faisant glisser la courbe en pointillé c'est à dire en décalant le point A.

Influence de la résistance de l'air. Que montre l'expérience ?

Pour en avoir le coeur net, rien ne vaut l'expérience. Des expériences préalables ont montré que:

- 1) Il est indispensable de disposer d'une échelle précise des hauteurs sur la trajectoire de chute à cause des effets de perspective sur les photos; l'installation de cette échelle est contraignante et, avec la circulation automobile actuelle, exclue.
- 2) Il faut procéder par comparaison en lâchant simultanément plusieurs objets car l'instant zéro du départ, pourtant fondamental, est chargé d'erreur.

Une opportunité se présente avec le viaduc ferroviaire de Rocoumène en Haute Loire dont



Photo 1 : chute simultanée d'un os et d'une branche morte.

la réputation découle du fait que malgré sa dimension exceptionnelle et sa construction admirable, il n'a jamais été franchi par aucun train ; aussi est il ouvert à la circulation du public.

Les nombreuses expériences ont consisté à laisser choir une branche, un gros os et une sphère en bois étalon dont, en principe, la trajectoire pouvait être exactement calculée.

Voici quelques résultats intéressants apportés par les essais :

Pour une comparaison valable entre plusieurs objets il est primordial que les lâchers soient rigoureusement synchrones ; un retard de un dixième de seconde provoque un décalage d'altitude de 4,5 mètres après 100 mètres de chute ce qui compromettrait les déductions d'ordre aérodynamique ; il a donc fallu

adopter un largage électromécanique-télécommandé. Plusieurs caméras filment la chute.

De la résistance de l'air.

L'image ci-jointe (Photo 1) montre le décalage d'altitude entre la branche (peinte en blanc), et l'ensemble os plus boule de bois qui reste solidaire à cause du sillage aérodynamique du plus rapide des deux, dans lequel se maintient le plus lent.

Nous partons du principe que, du point de vue freinage aérodynamique, l'oiseau et l'os sont à égalité.

Si je peux me permettre quelques chiffres : quand l'os a chuté de 15 mètres, sa vitesse est de 62 Km/h, la branche, a pris 2 mètres de retard ; le retard de la branche est de 5 mètres après 28 mètres de chute. La branche paraît atteindre la vitesse limite de 67 Km/heure. Après 30 mètres de chute, l'os, freiné par l'air, a une vitesse de 78 Km/heure alors que sa vitesse calculée de chute libre serait de 88 Km/h mais il accélère toujours et devrait pouvoir atteindre les 180 Km/h si la hauteur le permettait. La branche n'accélère plus après environ 18 mètres de chute.

La manoeuvre de l'oiseau

Nous sommes maintenant en mesure de mieux observer la manoeuvre de l'oiseau.

Les conditions initiales sont prépondérantes ; or, justement, ces conditions sont difficiles à apprécier en particulier le délai entre le lâcher et la décision de poursuite où chaque dixième de seconde compte.

Il faut aussi considérer la vitesse initiale, le mouvement des serres à l'instant du lâcher ; çela n'a l'air de rien mais ce peut être important ; dans le cas du Gypaète, il est certain qu'il n'y a pas de différence de vitesse initiale entre l'os et l'oiseau, comme le montrent ces images extraites d'une séquence filmée choisie parmi une dizaine d'autres pour la visibilité de l'os sur fond brumeux. La démonstration théorique montre simplement que, malgré la loi de Galilée, **le Gypaète pourrait rattraper l'os lâché**. Si l'objet poursuivi a une forme peu aérodynamique comme par exemple une branche, cela facilite la reprise. En effet, c'est leur forme aérodynamique parfaite qui



Photo 2 : gypaète lâchant un os. La périodicité des images est de 0,5 secondes.

permet aux oiseaux de gagner de la vitesse en chute libre par rapport aux objets inertes .

L'observation dans la nature

Le problème étant maintenant bien posé, un recours à l'observation attentive dans la nature devrait aider à mieux comprendre comment procèdent en pratique les oiseaux selon un instinct inné ou un apprentissage, en veillant à ne pas surestimer les vitesses comme on a coutume de le faire pour les faucons. Ce qui est essentiel c'est l'acte de l'oiseau dans les fractions de seconde avant et après le lâcher, ce qui se passe ensuite en découle fatalement.

Alors à nos jumelles !

Note :

Le raisonnement ayant permis de démontrer que la trajectoire la plus rapide avait la forme d'une cycloïde est très curieux. Lorsque la lumière



traverse successivement des milieux différents par exemple de l'air et de l'eau, elle ne se propage pas en ligne droite mais suit une trajectoire anguleuse qui s'avère être le parcours le plus rapide, c'est la réfraction dont les lois sont bien connues. En effet la vitesse de la lumière est plus grande dans l'air que dans l'eau et donc il est préférable d'allonger un peu la distance dans l'air si cela réduit la distance dans l'eau, c'est une application du principe physique de moindre action qui a été généralisé par Hamilton.

Ceci étant admis, on recherche quel trajet suivrait un rayon lumineux pour atteindre l'os en appliquant les lois bien connues de la réfraction, on démontre ainsi que la trajectoire la plus rapide est une cycloïde.

Vous trouverez sur Internet d'étonnants débats sur la brachystochrone et en particulier celui-ci assez subtil: comment le rayon lumineux peut-il sans intelligence déterminer le trajet le plus court, et, pire encore, comment peut-il savoir au départ la direction à prendre alors qu'il ignore ce qu'il trouvera sur son parcours ?

Le mérite est revenu à Feynman d'avoir démystifié le principe de moindre action en faisant intervenir la mécanique quantique.

Nous n'en sommes pas là heureusement dans le cas des oiseaux, cependant il persiste un mystère car, pour réussir, l'oiseau, comme le rayon lumineux, ne doit pas se diriger bêtement, en ligne droite vers le but mais accepter au contraire de s'en éloigner en choisissant un chemin différent pas du tout évident.

Summary : Where it is shown that according to laws of physics concerning a falling body, the Bearded Vulture *Gypaetus barbatus* could catch a bone that it had dropped by following a «brachystochrone» trajectory, something that has never yet been recorded in the field.

Resumen: Donde se muestra, sobre la base de elementos físicos de caída de los cuerpos, que el Quebrantahuesos *Gypaetus barbatus* puede coger el hueso que ha soltado siguiendo una trayectoria llamada «brachystochrone», lo que no ha sido nunca observado hasta la fecha.

Yves BOUDOINT
32 Avenue Mondon
43000 Le Puy-Espaly