



HAL
open science

Adaptation du vol à la prédation chez certains oiseaux chasseurs et pêcheurs.

Vincent Roinac

► **To cite this version:**

Vincent Roinac. Adaptation du vol à la prédation chez certains oiseaux chasseurs et pêcheurs.. Médecine vétérinaire et santé animale. 2004. dumas-04642201

HAL Id: dumas-04642201

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04642201v1>

Submitted on 9 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

40468



ECOLE
NATIONALE
VÉTÉRINAIRE
TOULOUSE

6608-2004-015

ANNEE 2004 THESE : 2004 - TOU 3 - 4015

ADAPTATION DU VOL À LA PRÉDATION CHEZ CERTAINS OISEAUX CHASSEURS ET PÊCHEURS

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

*présentée et soutenue publiquement en 2004
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

Vincent, Jean Georges ROINAC
Né le 12 juin 1979 à AGEN (Lot-et-Garonne)

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Jean-Yves JOUGLAR

JURY

PRESIDENT :
M. Gérard CAMPISTRON

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEUR :
M. Jean-Yves JOUGLAR
M. Jacques DUCOS de LAHITTE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Adaptation du vol à la prédation chez certains
oiseaux chasseurs et pêcheurs

6608-2004-015



**Adaptation du vol à la prédation chez
certains oiseaux chasseurs et pêcheurs.**

Table des matières

Introduction

1^{ère} Partie : Le vol : notions préalables et équipement des oiseaux.

1. Les oiseaux maîtres de l'air.

1.1. Les propriétés de l'air.	17
1.2. Interaction entre l'air et un corps.	
1.2.1. La résistance de l'air.	18
1.2.2. Principe du mouvement relatif.	18
1.2.3. Notion de portance et traînée.	19
1.3. L'origine de la sustentation.	
1.3.1. Définitions concernant l'aile.	21
1.3.2. Distribution des pressions autour de l'aile.	23
1.4. Portance et Traînée.	
1.4.1. Portance.	26
1.4.2. Traînée.	26
1.4.3. Influence de l'angle d'incidence.	29

2. L'équipement de vol des oiseaux.

2.1. Relations entre le dessin de l'aile et le type de vol.	
2.1.1. Données aérodynamiques caractérisant l'aile.	33
2.1.2. Les grands types d'ailes chez les oiseaux	35
2.2. Une anatomie vouée au vol.	
2.2.1. Les plumes.	36
2.2.2. Les ailes.	43
2.2.3. La queue.	46

2^{ème} Partie : Le vol, élément essentiel au repérage des proies dans l'activité prédatrice.

1. Vol plané au dessus des terres.

1.1. Descriptif et équipement de vol des oiseaux planeurs.	
1.1.1. Particularités physiques.	49
1.1.2. Adaptations particulières à la pratique du vol à voile.	52
1.1.3. L'oiseau dans son milieu naturel.	53
1.2. Technique du vol à voile.	
1.2.1. Principe.	54
1.2.2. Origine de la poussée ascensionnelle ; les ascendances.	55
1.3. Performance de vol des vautours.	
1.3.1. Eviction du vol battu.	57
1.3.2. Des spécialistes du vol à voile.	57
1.3.3. Facteurs limitants.	59
1.4. Le vol de prospection.	
1.4.1. Le vautour.	59

1.4.2. Données comparatives au condor des andes.....	62
1.5. Le choix de ce type d'aile.....	64

2. Vol plané au dessus des mers.

2.1. Le plus grand planeur des océans : l'albatros hurleur.	
2.1.1. Un oiseau dessiné pour planer.....	65
2.1.2. La pratique du vol plané dynamique.....	66
2.1.3. La quête de nourriture au dessus des océans et son coût énergétique.....	68
2.2. Utilisation de l'orographie à la surface des océans.	
2.2.1. Plané orographique.....	71
2.2.2. Autres courants porteurs.....	72

3. Le vol stationnaire.

3.1. Vol stationnaire associé au vol plané.....	75
3.2. Vol stationnaire associé au vol battu.....	78

3ème Partie : Le vol, élément essentiel à la capture des proies.

1. La poursuite à faible altitude.

1.1. La pratique du vol battu.....	79
1.2. La chasse de l'épervier et de l'autour.	
1.2.1. Caractéristiques.....	81
1.2.2. Techniques de chasses et succès.....	82

2. La capture en piqué.

2.1. Descriptif et équipement de vol du faucon pèlerin.	
2.1.1. Particularités physiques.....	85
2.1.2. Particularités adaptatives.....	87
2.2. L'oiseau dans les airs.....	88
2.3. Un chasseur de haut vol.	
2.3.1. L'oiseau face à un paradoxe.....	90
2.3.2. Oiseaux de fauconneries et oiseaux sauvages.....	92
2.3.3. Déroulement de l'attaque.....	93
2.4. Taux de réussites et données d'observations.....	98

3. Capture au ras de l'eau.

3.1. Caractéristiques.....	99
3.2. Techniques de pêche du balbuzard.....	100
3.3. Techniques de pêche du pygargue.....	103

4. Le plongeon depuis les airs.

4.1. Le fou de bassan.....	104
4.2. Le pélican brun.....	107

5. Le vol sous l'eau.

5.1. Caractéristiques du macareux moine.....	108
5.2. Le compromis air / eau.	109
5.3. Cinématique du vol sous l'eau.	110

Conclusion

Annexes :

- annexe 1 : photographies des espèces citées en exemple123
- annexe 2 : photographies des ailes des espèces ou espèces proches citées en exemple 128

Table des illustrations

• Figure 1:	notions de résultante, portance, traînée, centre de poussée et vent relatif.....	19
• Figure 2:	oiseau en équilibre sous l'action des quatre forces.....	20
• Figure 3:	définition de l'angle d'incidence i	21
• Figure 4:	intérêt du corps profilé dans la pénétration dans l'air.....	22
• Figure 5:	écoulement de l'air autour d'une aile.....	23
• Figure 6:	répartition des pressions autour de l'aile.....	25
• Figure 7:	la portance est davantage le fait de la dépression sur l'extrados, que de la surpression sur l'intrados.....	25
• Figure 8:	origine de la traînée induite.....	28
• Figure 9:	action du vent frappant une aile sous un angle d'incidence faible (2°).....	29
• Figure 10:	action du vent frappant une aile sous un angle d'incidence de valeur moyenne.....	31
• Figure 11:	action du vent frappant une aile sous un angle d'incidence à valeur critique.....	32
• Figure 12:	les grands types d'ailes chez les oiseaux.....	34
• Figure 13-A:	une plume (penné) vue au microscope.....	37
• Figure 13-B:	grossissement d'une barbe, montrant le réseau entrelacé des barbules.....	38
• Figure 13-C:	détails des crochets des barbules.....	38
• Figure 13-D:	différents types de plumes.....	38
• Figure 14:	implantation des plumes sur l'aile.....	40
• Figure 15 :	position des différents groupes de plumes sur l'aile.....	40
• Figure 16:	rôle de l'alule.....	41
• Figure 17:	rémyges primaires.....	42
• Figure 18 :	anatomie des os de l'aile.....	44
• Figure 19:	influence de la flèche.....	45
• Figure 20:	influence du dièdre.....	45
• Figure 21:	différentes formes de queues.....	47
• Figure 22:	rôle stabilisateur de la queue dans les mouvements de cabrer.....	48
• Figure 23:	silhouette du vautour fauve en vol.....	50
• Figure 24:	émargination des rémyges primaires.....	52
• Figure 25:	les ascendances.....	56
• Figure 26:	le vautour cerfle au plus près du centre de la colonne.....	57
• Figure 27:	rapidité des vautours.....	59
• Figure 28:	vol de prospection des vautours.....	60
• Figure 29:	le vol en tandem.....	62

• Figure 30:	silhouettes du condor des Andes en vol.....	64
• Figure 31:	silhouette de l'albatros hurleur.....	66
• Figure 32:	gradient de vent à la surface des océans.....	67
• Figure 33:	profil du vol de l'albatros utilisant le gradient de vent.....	68
• Figure 34:	les différents trajets du vol de prospection.....	69
• Figure 35:	principe du plané orographique.....	71
• Figure 36:	utilisation des courants au bord des falaises, par vent de mer ou par vent de terre.....	72
• Figure 37:	hypothèse d'ascendances thermiques au dessus des océans.....	73
• Figure 38:	hypothèse de routes porteuses permettant le vol plané.....	74
• Figure 39:	principe de l'ancre flottante, position d'équilibre.....	76
• Figure 40:	crécerelle suspendue dans le ciel.....	77
• Figure 41:	les séquences du vol battu.....	80
• Figure 42:	rémige primaire de goéland.....	81
• Figure 43:	épervier d'Europe.....	82
• Figure 44:	autour des palombes.....	82
• Figure 45:	chasse de l'autour placé en embuscade.....	83
• Figure 46:	chasse de l'épervier en quête d'une proie.....	84
• Figure 47:	plumage du faucon pèlerin.....	87
• Figure 48:	frelon et vision du faucon pèlerin.....	88
• Figure 49:	faucon pèlerin en vol.....	89
• Figure 50:	trajectoire idéale pendant le piqué.....	92
• Figure 51:	attitude pendant le piqué.....	95
• Figure 52:	déroulement de l'attaque.....	96
• Figure 53:	capture des proies.....	98
• Figure 54 :	pygargue.....	100
• Figure 55 :	technique de pêche du balbuzard.....	102
• Figure 56:	deux techniques de pêche différentes.....	103
• Figure 57:	plongeon du fou de bassan.....	106
• Figure 58 :	le macareux moine.....	109
• Figure 59:	cinématique de la nage du macareux moine.....	111
• Figure 60:	descriptif des mouvements des ailes pendant la nage.....	112
• Photo 1 :	balbuzard pêcheur avec sa prise.....	100
• Photo 2:	le fou de bassan.....	105
• Photo 3:	plongeon du pélican brun.....	107
• Tableau 1 :	récapitulatif des grands types d'ailes chez les oiseaux.....	36

Introduction

La maîtrise du milieu aérien est sans conteste l'apanage des oiseaux. L'homme, poussé par le rêve de voler, a su développer au cours du temps tout un attirail d'ingéniosité dans le but d'imiter ces animaux. Aujourd'hui encore, la technologie nouvelle s'inspire toujours du vol des oiseaux, et leurs adaptations particulières au vol restent encore une source d'inspiration ou tout au moins d'admiration pour l'homme.

Les oiseaux ont su développer des qualités morphologiques et physiologiques afin d'adapter au mieux leur vol à leur mode de vie, ce développement étant étroitement lié aux besoins relatifs à la prise de nourriture.

Nous allons voir comment l'évolution a su répondre aux aptitudes particulières de vol requises par l'activité prédatrice, chez certains oiseaux chasseurs et pêcheurs.

Dans un premier temps, nous aborderons quelques notions de mécanique du vol, en nous intéressant à l'équipement de vol des oiseaux. Ensuite nous découvrirons quelques oiseaux ayant développé un vol spécialisé dans le repérage des proies. Enfin nous nous attacherons aux oiseaux dont les spécificités du vol visent à permettre la capture des proies après une phase de poursuite.

1ère Partie : le vol ; notions préalables et équipement des oiseaux.

(13, 16, 51, 69, 70)

Pour prendre conscience du degré de spécialisation du vol proposé par certains oiseaux, il est nécessaire de rappeler les principes généraux du vol en milieu aérien. Nous aborderons dans un premier temps les grandes notions de mécanique relatives au vol, puis dans un second temps, nous découvrirons l'équipement général de vol des oiseaux.

1. Les oiseaux maîtres de l'air.

Toute la biomécanique du vol repose sur un élément essentiel : l'interaction entre l'oiseau et l'air.

1.1. Les propriétés de l'air.

L'air, mélange gazeux invisible composé de molécules extrêmement mobiles, a des propriétés communes à tous les gaz:

- Un poids. De ce fait, il exerce une pression sur les surfaces de tous corps.
- Il est expansible. Il occupe tout l'espace qui lui est offert.
- Il est compressible. On peut réduire le volume occupé en exerçant sur lui une force donnée.
- Il est élastique. Il reprend son volume initial dès qu'il est replacé dans les conditions ayant précédé sa compression ou sa détente.

L'air est aussi un fluide, de densité égale à 1.2 kg/m^3 et de viscosité égale à $1.8 \times 10^{-3} \text{ kg/m/s}$; soit des valeurs respectivement 800 et 50 fois inférieures à celles de l'eau.

Le poids de l'air est évidemment très faible par rapport aux autres corps. Pourtant, c'est par cette propriété que le vol est rendu possible.

Les forces de sustentation s'appliquant à tout objet volant dépendent étroitement de la densité de l'air. La densité diminuant rapidement avec l'altitude, il est de plus en plus difficile de voler au fur et à mesure que l'on s'élève dans l'atmosphère.

1.2. Interaction entre l'air et un corps.

1.2.1. La résistance de l'air.

Tout corps se déplaçant dans les airs est soumis à une résistance. Cette résistance imposée par l'air rend le vol possible. Si on travaille en soufflerie avec de la fumée matérialisant le comportement de l'air vis à vis d'un corps, cette notion de résistance devient alors évidente.

Tout vol ailé dépend de cette résistance, et tout corps en mouvement dans l'air est soumis à l'action d'une force qui tend à s'opposer à ce mouvement, cette force est fonction des propriétés de l'air (viscosité, inertie, compressibilité...), mais aussi de celle de l'objet considéré (sa forme, sa surface...).

La résistance de l'air sur un corps est une force décomposable en deux forces élémentaires, s'appliquant en chaque point de la surface du corps considéré.

- La première relativement évidente, est une force élémentaire de pression perpendiculaire à la surface.
- La seconde est une force élémentaire de frottement tangente à la surface, due à la viscosité de l'air.

Plutôt que de prendre en compte toutes ces forces individuellement, nous allons considérer une force unique, qui traduit leur effet global, cette force est **la résultante aérodynamique**.

1.2.2. Principe du mouvement relatif.

L'expression de la résultante aérodynamique, qui va traduire l'ensemble des forces s'exerçant sur l'aile pendant le vol, va être fonction de l'interaction entre l'aile et l'air environnant. La notion de mouvement relatif est alors à intégrer.

Le mouvement relatif c'est :

- Le déplacement d'un corps dans l'air (vol dans l'air calme)
- Le déplacement de l'air autour d'un corps (maquette en essai en soufflerie)

Nous admettons, dans un cas comme dans l'autre, que les effets produits et les forces mises en jeu sont identiques

Le courant d'air baignant le corps en mouvement relatif est nommé **vent relatif**.

Ainsi un albatros se déplaçant à une vitesse V dans l'air calme, ou étant en vol stationnaire grâce à un vent de face de même vitesse V , sera soumis aux mêmes contraintes physiques imposées par l'air.

1.2.3. Notion de portance et traînée.

La résultante aérodynamique est une force de substitution dont l'intensité est égale à la somme des intensités de toutes les autres, et dont la direction est donnée par la direction moyenne de toutes ces forces élémentaires.

La direction, l'intensité et le sens de la résultante peuvent être représentés sur un profil d'aile (fig. 1) : le point d'application de ce vecteur correspondra au centre de poussée, point où l'ensemble des forces élémentaires appliquées à l'aile sont en équilibre à un instant donné.

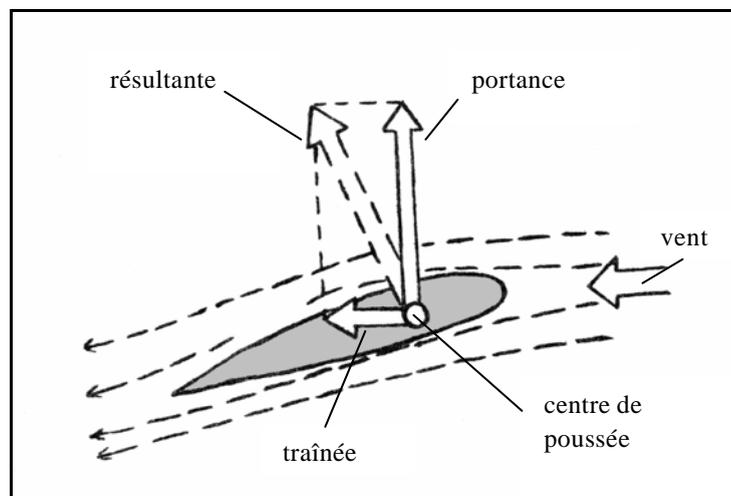


Figure 1: notions de résultante, portance, traînée, centre de poussée et vent relatif. (13)

La résultante matérialise donc tous les effets dus à la résistance offerte par l'aile au déplacement de l'air. Effets bénéfiques lorsqu'ils concourent à la sustentation, ou bien nuisibles lorsqu'ils s'opposent à l'avancement.

Ces deux effets sont matérialisés par deux forces composantes : (fig. 1)

- La portance, perpendiculaire au vent relatif. Elle matérialise la fraction utile de la résultante, assurant la sustentation de l'aile et permettant le vol.
- La traînée, parallèle au vent relatif et matérialisant, elle, la fraction nuisible de la résultante, exerçant toujours une action inverse au mouvement de l'aile.

Soit un oiseau volant à une hauteur et une vitesse constantes, alors la portance compense exactement le poids de l'oiseau, et la force de propulsion égale la traînée. (fig. 2)

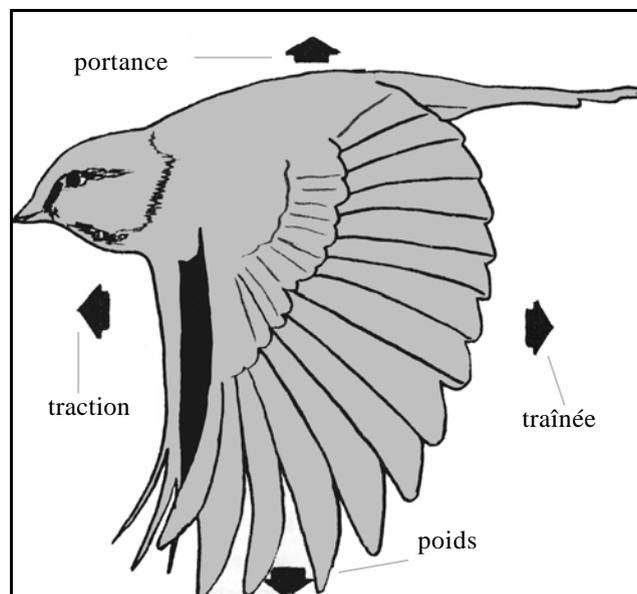


Figure 2: oiseau en équilibre sous l'action des quatre forces. (13)

Portance et traînée sont toujours définies par rapport à la direction du vent relatif, qui peut être de direction quelconque. Sur la figure 1, le vent relatif est horizontal, la portance est verticale, et la traînée horizontale.

1.3. L'origine de la sustentation.

1.3.1. Définitions concernant l'aile.

Un certain nombre de caractéristiques géométriques se rapportant à l'aile sont utiles à connaître.

- **L'envergure.** C'est la plus grande distance comprise entre les deux extrémités de l'aile, mesurée perpendiculairement à l'axe de l'animal.
- **Le bord d'attaque,** partie la plus en avant de l'aile.
- **Le bord de fuite,** partie la plus en arrière de l'aile.
- **La profondeur.** C'est la distance en un point quelconque de l'aile entre le bord de fuite et le bord d'attaque.
- **La surface de l'aile,** surface de sa vue en plan.
- **L'angle d'incidence :**

Le vent relatif matérialise la vitesse et la direction du courant d'air agissant sur l'aile, dont l'action est toujours opposée à la direction du mouvement de celle-ci. L'angle sous lequel l'aile est frappée par le vent relatif est appelé angle d'incidence, c'est par définition l'angle formé entre la corde de référence du profil considéré (cf. suite), et la direction du vent relatif. Cet angle joue un rôle fondamental dans toutes les questions touchant au vol. (fig. 3).

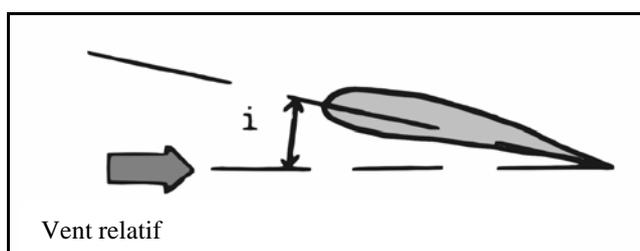


Figure 3: définition de l'angle d'incidence i . (13)

- **Le profil d'aile :**

La figure 4 présente l'évolution de la résistance d'un corps auquel on affine progressivement les formes, jusqu'à obtention d'un corps profilé, il apparaît alors évident que la forme de l'aile de l'oiseau joue un rôle très important : le but étant de diminuer au maximum les perturbations.

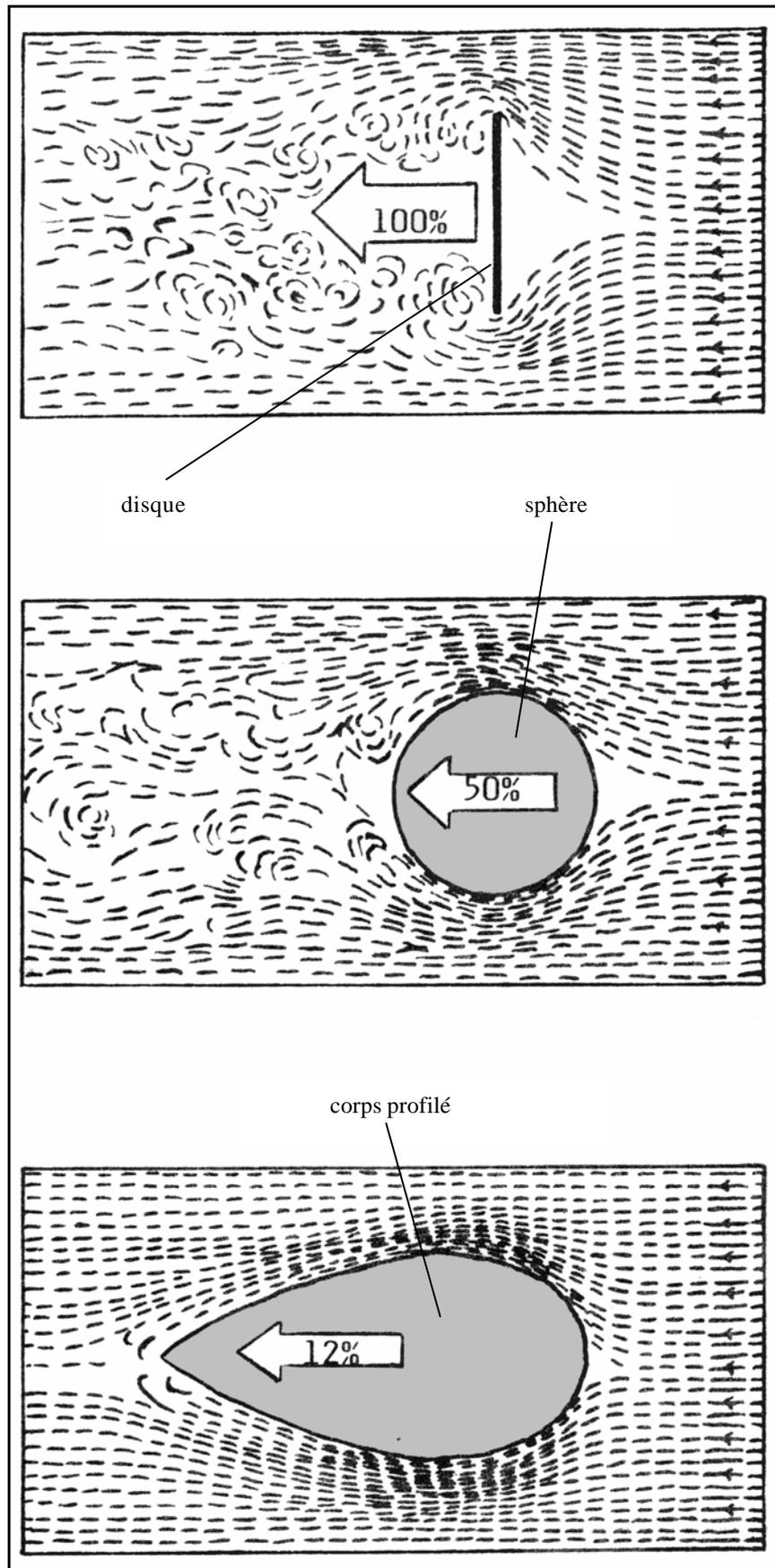


Figure 4: intérêt du corps profilé dans la pénétration dans l'air. (100 % chiffre la résistance totale du disque, elle n'est plus que de 50% pour la sphère, et de 12% pour le corps profilé). (13)

En pratiquant une section d'aile parallèlement au vent relatif, on obtient un contour géométrique appelé profil d'aile.

- **La corde** de référence est la droite joignant le bord d'attaque au bord de fuite.
- **L'extrados** est la face supérieure de l'aile, **l'intrados** la face inférieure.
- **L'épaisseur** du profil est la distance entre l'intrados et l'extrados.

1.3.2. Distribution des pressions autour de l'aile.

- Ecoulement de l'air autour d'une aile.

Considérons un profil d'aile et le trajet des filets d'air l'entourant (fig. 5). Une zone de perturbation due à la présence de l'aile, est créée entre deux zones non perturbées. Dans la zone perturbée, on remarque que plus les filets d'air sont proches de la surface de l'aile, plus ils sont déformés et inversement en s'éloignant de la surface de l'aile où l'on retrouve une région où la vitesse relative n'est alors plus modifiée ni en grandeur ni en direction. Cette perturbation est particulièrement marquée sur l'extrados en avant de l'aile.

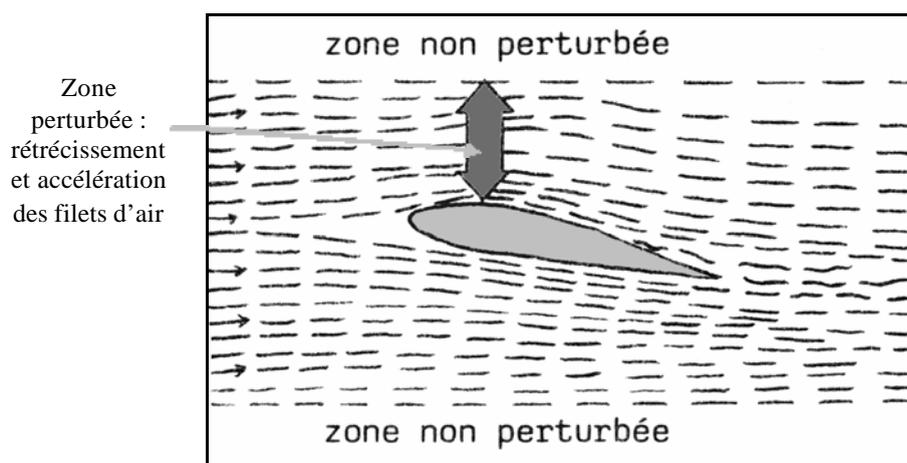


Figure 5: écoulement de l'air autour d'une aile. (13)

- La diminution de pression sur l'extrados :

Comme nous venons de le voir, les filets d'air sur l'extrados sont plus déformés que sur l'intrados. Tout particulièrement vers l'avant où la masse d'air doit s'écouler entre l'aile et la région supérieure non troublée, les filets d'air convergent et deviennent plus proches les uns des autres.

Cette région est capitale pour la sustentation ; en effet, **la loi de Bernoulli** sur la mécanique des fluides nous apprend que lorsqu'on diminue la section offerte à l'écoulement d'un fluide, sa vitesse augmente, et cette augmentation de vitesse, s'accompagne d'une diminution de pression.

Ainsi, la région de l'aile décrite précédemment est le siège d'une diminution de pression : la région autour de l'extrados est en sous pression vis-à-vis de celle autour de l'intrados où règne la pression atmosphérique, de cette différence de pression naît la force de sustentation.

- Surpression sur l'intrados

Dans l'exemple précédent, où l'angle d'incidence est faible, la pression régnante sur l'intrados est voisine de la pression atmosphérique. Cependant si on observe un angle d'incidence positif, des molécules gazeuses viennent frapper l'aile et sont brusquement rejetées vers le bas ; cette poussée supplémentaire ajoutée à la pression atmosphérique est à l'origine d'une surpression sur l'intrados. La différence de pression extrados intrados est ainsi plus marquée, la sustentation est renforcée.

Il est possible de mesurer la valeur des pressions sur les différentes parties de l'aile (fig. 6), nous visualisons alors parfaitement la différence de pression entre les deux plans de l'aile, à l'origine de la sustentation. Il faut noter que toutes variations de l'angle d'attaque de l'aile, s'accompagnent de variations des différences de pression.

Pour un angle d'incidence moyen, la surpression régnant sur l'intrados fournit 25% de la force de sustentation, contre 75% pour la dépression intéressant l'extrados. On dit souvent qu'une aile est davantage aspirée vers le haut qu'elle n'est portée. (fig. 7)

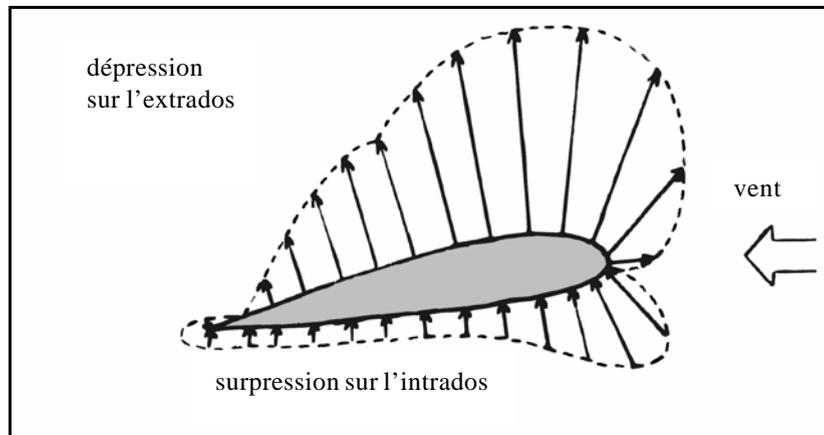


Figure 6: répartition des pressions autour de l'aile. (13)

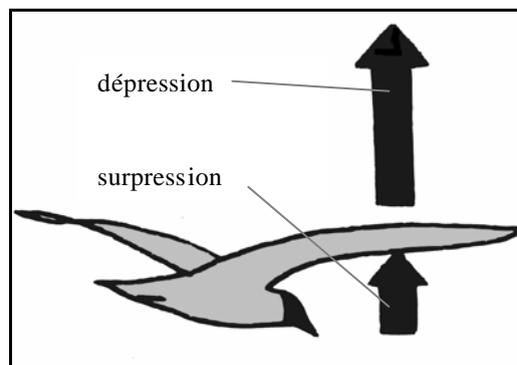


Figure 7: la portance est davantage le fait de la dépression sur l'extrados, que de la surpression sur l'intrados. (13)

1.4. Portance et Traînée.

1.4.1. Portance.

$$\text{Portance} = \frac{1}{2} C_l \times \text{aire} \times \text{densité} \times \text{vitesse}^2$$

(C_l étant le coefficient de portance)

La portance assure la sustentation de l'aile. Elle croît proportionnellement avec l'augmentation de la surface de l'aile, de la densité de l'air et avec le carré de la vitesse.

1.4.2. Traînée.

L'action de l'air sur l'oiseau en vol génère une force s'opposant à l'avancée de ce dernier : la traînée. Cette force peut être séparée en trois entités, la traînée de profil, la traînée parasite, et la traînée induite.

- La traînée de profil est due aux frottements de l'air visqueux sur la surface de l'aile plus ou moins rugueuse, ainsi qu'aux différentes pressions appliquées sur cette même surface.

$$\text{Traînée de profil} = \frac{1}{2} C_t \times \text{aire} \times \text{densité} \times \text{vitesse}^2$$

(C_t étant le coefficient de traînée)

- La traînée parasite de la même façon que la traînée de profil, est due aux frottements de l'air mais ici sur le corps de l'oiseau.

$$\text{Traînée de profil} = \frac{1}{2} C_t \times \text{aire} \times \text{densité} \times \text{vitesse}^2$$

- La traînée induite, elle, est une conséquence de la portance.

En effet, la portance s'accompagne d'une différence de pression entre l'intrados et l'extrados. Hors, ces différences de pression tendant toujours à se compenser : un mouvement d'air des hautes pressions (intrados) vers les basses pressions (extrados) va se produire. Cet écoulement se fait au niveau des bords marginaux des ailes, créant deux tourbillons marginaux (fig. 8).

Plus la différence de pression est marquée, plus l'intensité de ces tourbillons est grande. Ainsi, ils sont intenses lors de portance élevée, et disparaissent à l'incidence où la portance est nulle.

D'autre part, la dépression sur l'extrados par rapport à l'air autour de l'aile conduit les filets d'air à converger vers le corps de l'oiseau, tout comme la surpression de l'intrados par rapport à l'air entourant le reste de l'aile conduit les filets d'air à diverger vers l'extérieur de l'aile.

Lorsque ces filets d'air se rencontrent en arrière de l'aile, ils s'enroulent sur eux mêmes, formant une nappe de tourbillons élémentaires se joignant aux tourbillons marginaux.

Des qu'il y a portance, des tourbillons sont générés, responsable de la traînée induite.

$$\boxed{\text{Traînée induite} = \frac{\text{Portance}^2}{2 \times \text{aire} \times \text{densité} \times \text{vitesse}^2 \times \text{allongement}}}$$

(allongement : cf. 2.1.1)



répartition des pressions autour de l'aile

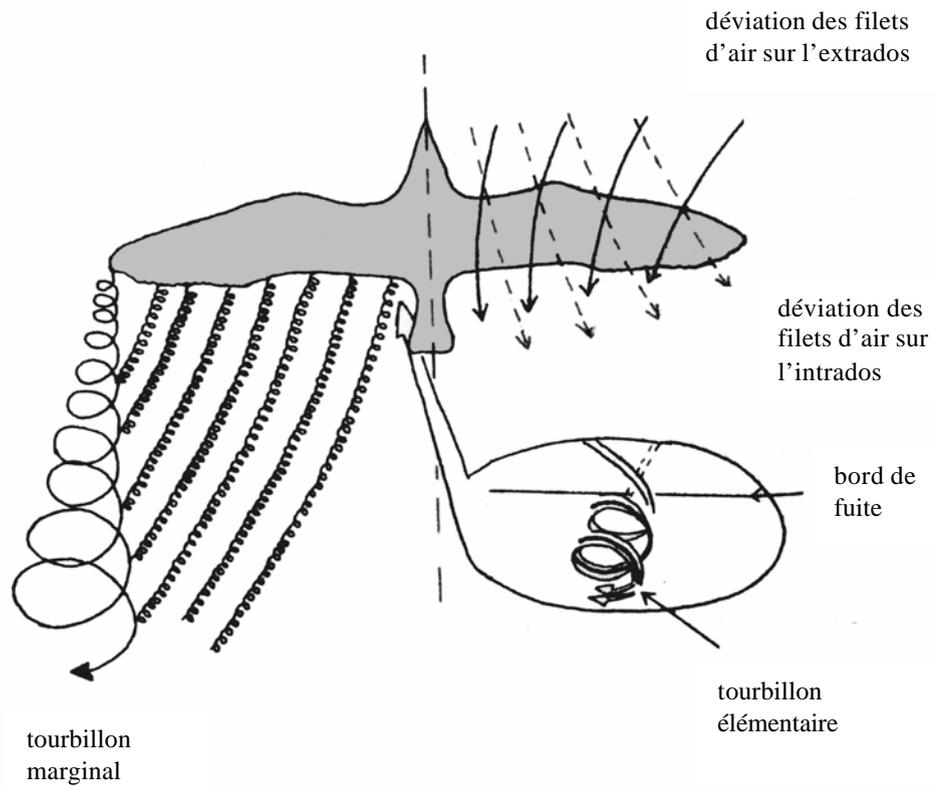


Figure 8: origine de la traînée induite. (13)

1.4.3. Influence de l'angle d'incidence

- Angle d'incidence à faible valeur.

Les trajets des filets d'air sont peu modifiés dans leur trajectoire (fig. 9), si ce n'est sur l'extrados où existe une dépression peu marquée. On note aussi une surpression localisée sur le bord d'attaque. Dans ce cas précis, seule la dépression sur l'extrados assure la sustentation, sa valeur est faible, la portance l'est elle aussi, mais il en est de même pour la traînée, les forces de frottement étant réduites dans cette configuration là.

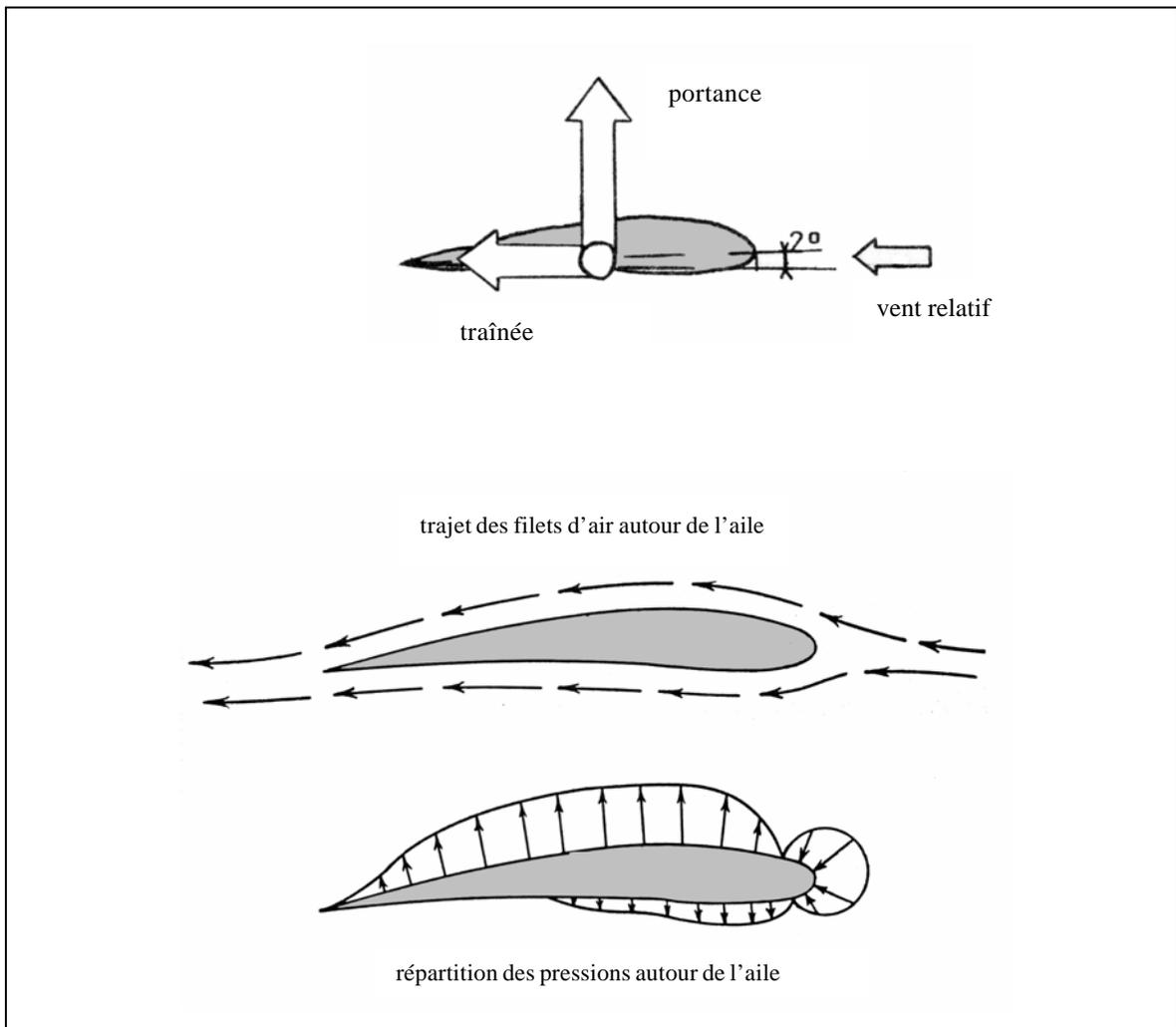


Figure 9: action du vent frappant une aile sous un angle d'incidence faible (2°). (13, 51)

- angle d'incidence à valeur élevée

Atteinte progressive d'une valeur de 15° pour l'angle d'incidence, l'écoulement de l'air est beaucoup plus perturbé (fig. 10). La forte déviation de filets d'air vers le haut sur l'extrados concourt à créer une forte dépression sur cette zone.

En outre, la déviation imposée vers le bas au niveau de l'intrados concourt ici à créer une surpression, de ce fait la différence de pression de part et d'autre de l'aile est marquée, la portance est forte.

Cependant on remarque aussi le développement d'une zone de turbulence en arrière de l'extrados et de ce fait une augmentation concomitante de la traînée, augmentation toutefois moins importante en comparaison que celle de la portance.

- Angle d'incidence à valeur critique

L'angle d'incidence varie alors entre 15° et 20° . A partir de ces valeurs, les filets d'air ne suivent plus le contour du profil de l'extrados, ils se décolent de celui-ci générant en lieu et place une forte zone de remous et de tourbillons se propageant vers l'arrière (fig. 11). La dépression sur l'extrados s'amenuise, la portance diminue brusquement alors que la traînée elle s'accroît du fait de la perturbation de l'écoulement continu de l'air. L'aile insuffisamment sustentée fait une abattée vers l'avant, elle décroche.

Durant le décrochage, il reste toujours une sustentation, fournie par la surpression sur l'intrados, mais alors insuffisante pour soutenir l'aile.

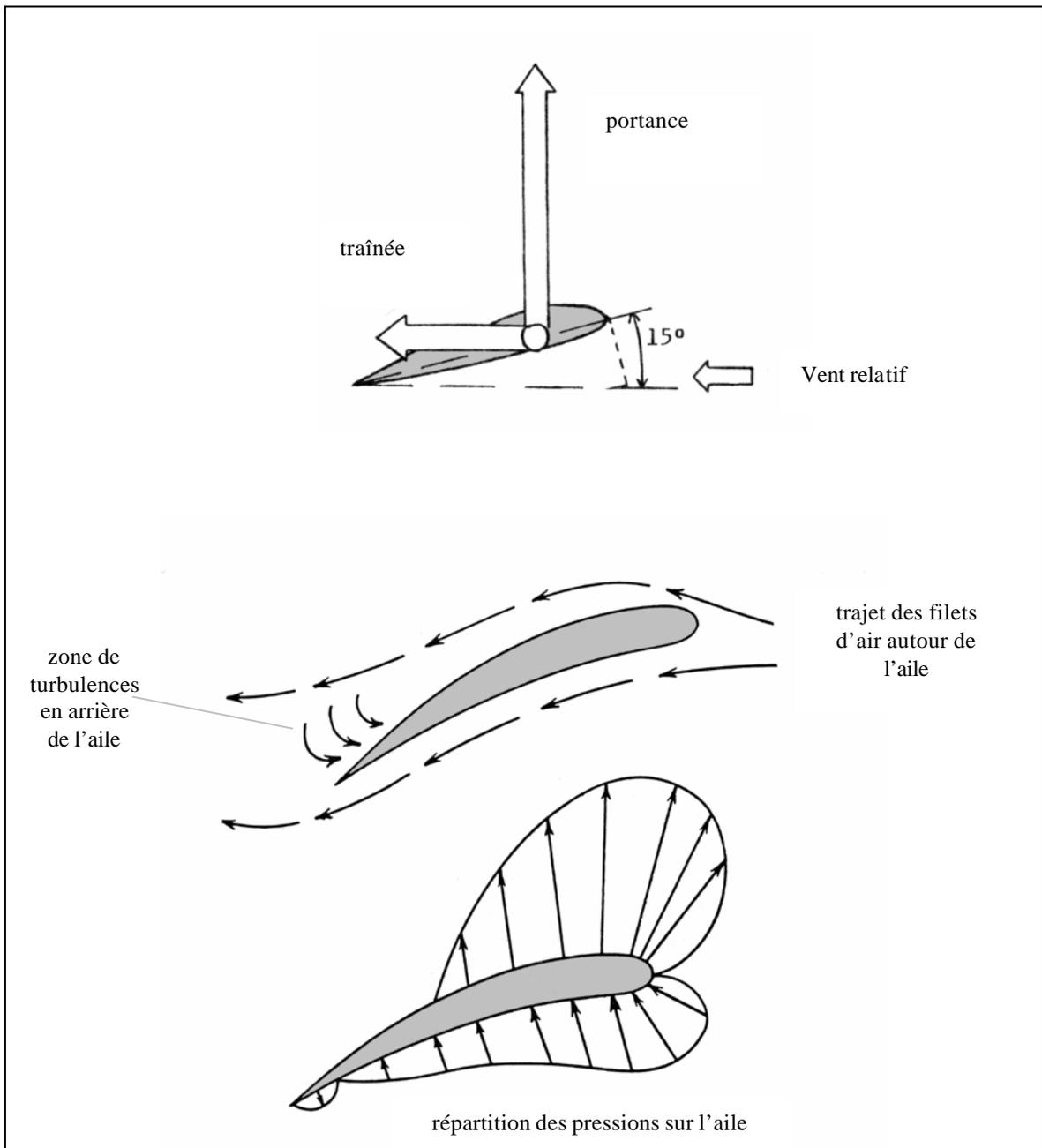


Figure 10: action du vent frappant une aile sous un angle d'incidence de valeur moyenne. (13, 51)

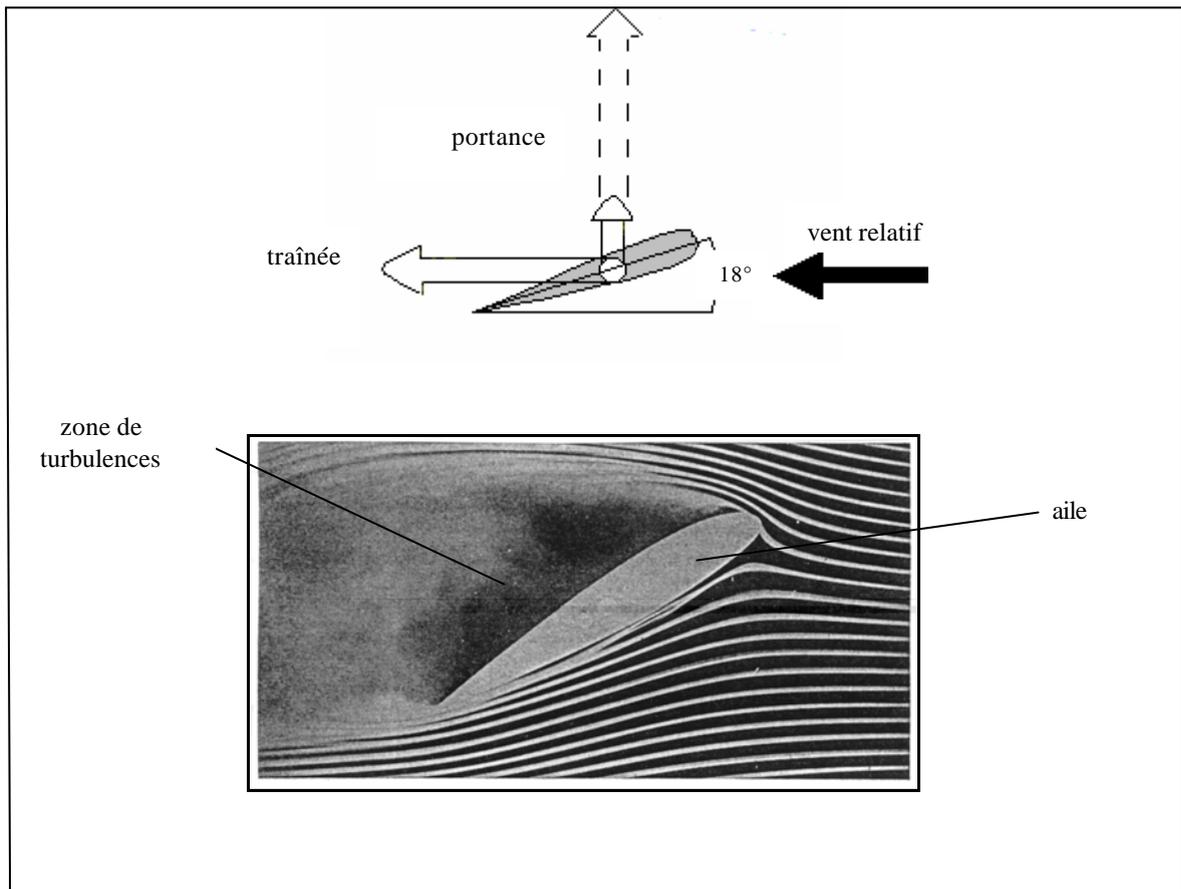


Figure 11 : action du vent frappant une aile sous un angle d'incidence à valeur critique. (13, 51)

En résumé, la portance et la traînée croissent avec l'angle d'incidence, jusqu'à une valeur critique : l'angle de décrochage, où la portance chute brusquement, tandis que la traînée, elle augmente fortement.

Cet aperçu théorique de mécanique nous permet de comprendre comment le vol en milieu aérien est rendu possible. Nous allons maintenant voir un aspect plus pratique, c'est à dire les particularités morphologiques des oiseaux permettant le vol.

2. L'équipement de vol des oiseaux.

2.1. Relations entre le dessin de l'aile et le type de vol.

Chaque oiseau développe un vol particulier, adapté à son habitat et son mode de vie. La forme de l'aile est alors déterminante.

2.1.1. Données aérodynamiques caractérisant l'aile.

- La charge alaire est le rapport du poids de l'oiseau par la surface de ses ailes.

$$\boxed{\text{CHARGE ALAIRE} = \text{POIDS} / \text{SURFACE}}$$

(en Newton /m² ou Kg /m²)

Une charge alaire faible permet de réduire la vitesse limite de décrochage.

- L'allongement (ou coefficient d'aspect) est le rapport entre l'envergure et la profondeur moyenne de l'aile.

$$\boxed{\text{ALLONGEMENT} = \text{ENVERGURE} / \text{PROFONDEUR}}$$

Les ailes d'allongement élevé « prennent appui sur plus d'air », et ont une traînée induite moindre. Elles permettent donc un vol plané plus efficace, et aussi plus économique.

En contre partie la vitesse de décrochage est légèrement plus élevée.

- La finesse

La finesse donne le rapport entre portance et traînée pour une aile donnée.

$$\boxed{\text{FINESSE} = \text{PORTANCE} / \text{TRAINEE}}$$

Plus la finesse est grande, et plus l'aile sera efficace.

2.1.2. Les grands types d'ailes chez les oiseaux.

Les oiseaux ont tous une forme d'aile bien particulière à leur « catégorie ». Cependant, nous pouvons arbitrairement classer les ailes de ces animaux en cinq grands groupes. L'allongement, la charge alaire et la finesse donneront des valeurs représentatives pour chacun de ces ensembles, caractérisant des aptitudes au vol particulières (fig. 12).

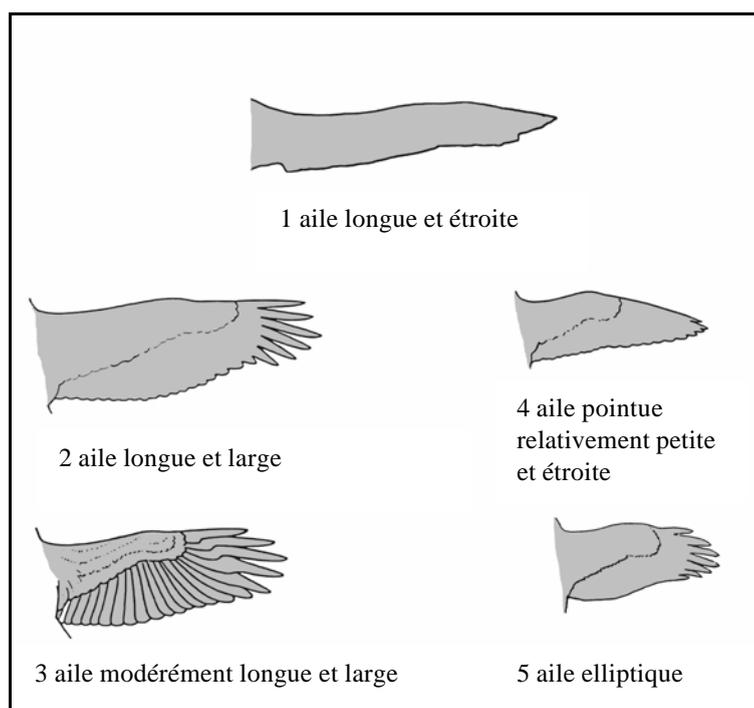


Figure 12 : les grands types d'ailes chez les oiseaux. (3, 46)

- Aile présentant un allongement élevé. (fig. 12-1)

Aile longue et étroite, pointue à l'extrémité, sans émarginations (cf 2.2.1). Elle est dévolue aux planeurs marins tels que les fous et les albatros. Ce type d'aile autorise le vol plané à grande vitesse dans les forts courants aériens.

L'allongement atteint la valeur de 20 pour l'albatros hurleur (3). La finesse est élevée, tout comme la charge alaire.

En contrepartie, la manoeuvrabilité est plus réduite en l'air et au sol, et l'ossature de l'aile tend à alourdir l'oiseau. Sa relative fragilité et son encombrement imposent un habitat sans obstacle.

- Aile offrant une portance très élevée. (fig. 12-2)

Profondément émarginées chez les grands vautours et les condors, ces ailes longues et larges sont propices au vol plané exclusif à faible vitesse.

Le vautour fauve par exemple présente une charge alaire basse de 76 N/m² et un allongement approchant les 7. (3,13). Ce dernier bien que faible en comparaison à celui de l'albatros, reflète la spécificité adaptative de ce type d'aile qui allie efficacité pour le glissé et manoeuvrabilité, permettant ainsi le décollage sur distances courtes et l'atterrissage sur des branches.

- Aile modérément longue et large. (fig. 12-3)

Typique de la buse, légèrement arquée, arrondie et émarginée à l'extrémité, cette aile peu spécialisée permet de planer avec peu de battements.

- Aile pointue, relativement petite et étroite. (fig. 12-4)

Typique des faucons, elle a l'aspect d'une lame effilée en forme de faux, adaptée aux grandes vitesses. Le bout de l'aile est fin, sans émarginations, et peut être orienté vers l'arrière pour constituer une flèche et minimiser la traînée induite.

La traînée est faible, et l'allongement assez fort, de 5 à 8. Malgré une forte charge alaire, ce type d'aile autorise un vol plané convenable, à une vitesse toutefois plus élevée en comparaison d'un oiseau de même poids.

- Les ailes elliptiques. (fig. 12-5)

Ces ailes courtes, larges et arrondies aux extrémités sont caractéristiques des éperviers. L'émargination marquée permet à l'oiseau de séparer facilement ses primaires.

C'est une aile à allongement faible, compris entre 3 et 6, mais qui procure une portance élevée à faible vitesse.

Elle offre une manoeuvrabilité excellente et un vol rapide adapté aux terrains de chasse accidentés que représentent les zones boisées.

	<i>Données aérodynamiques</i>	<i>Qualité du vol</i>
<i>Aile longue et étroite</i> (ex : albatros hurleur)	Allongement : très élevé (20) Charge alaire : élevée (133 N/m ²)	Vol Plané rapide dans les forts courants. Manoeuvrabilité réduite
<i>Aile longue, large, émarginée</i> (ex : vautour fauve)	Allongement : élevé (7) Charge alaire : relativement faible (76 N/m ²)	Vol plané à faible vitesse. Bonne manoeuvrabilité.
<i>Aile modérément longue et large</i> (ex : buse pattue)	Allongement : modéré (5) Charge alaire : faible (45 N/m ²)	Vol plané et vol battu faciles Bonne manoeuvrabilité.
<i>Aile petite, pointue et étroite</i> (ex : faucon pèlerin)	Allongement : assez fort (8) Charge alaire : plutôt élevée (70 N/m ²)	Stabilité du vol en piqué Vol plané efficace mais assez rapide Rayon de virage large
<i>Aile elliptique</i> (ex : autour des palombes)	Allongement : faible (3-6) Charge alaire : faible (55 N/m ²)	Manoeuvrabilité excellente Propice au vol battu

Tableau 1 : récapitulatif des grands types d'ailes chez les oiseaux. (3, 13, 34, 36)

2.2. Une anatomie vouée au vol.

Après cet aperçu quelque peu théorique des qualités aérodynamiques des oiseaux, nous allons maintenant nous attacher à l'être biologique et découvrir son équipement de vol.

2.2.1. Les plumes.

C'est dans la forme des plumes et dans la finesse de leur contrôle que résident les clés du vol chez les oiseaux. En effet un oiseau va constamment adapter la forme de ses ailes pendant le vol en réponse aux différentes pressions exercées par l'air. Ainsi, au cours d'un seul battement d'aile, chacune des rémiges primaires, plumes de l'extrémité de l'aile passe par une série de conformations et de tailles différentes.

- Anatomie des plumes (fig. 13 A, B, C, D)

Les plumes sont formées d'un tuyau central, la hampe, composé de deux parties : une portion proximale creuse, le calamus ou tuyau ; une portion distale pleine, le rachis, présentant de chaque côté dans un seul plan, des ramifications primaires ou barbes.

Ces barbes confèrent à la plume son élasticité et participent ainsi aux modifications de formes en fonction de la pression exercée par l'air sur la plume. Ces barbes peuvent être comparées aux dents d'un peigne : sur certaines plumes elles sont très flexibles si bien qu'elles peuvent facilement être pliées vers la pointe ou la base de la plume, par contre elles sont particulièrement résistantes à toute force exercée vers le haut ou le bas, (tout comme les dents d'un peigne).

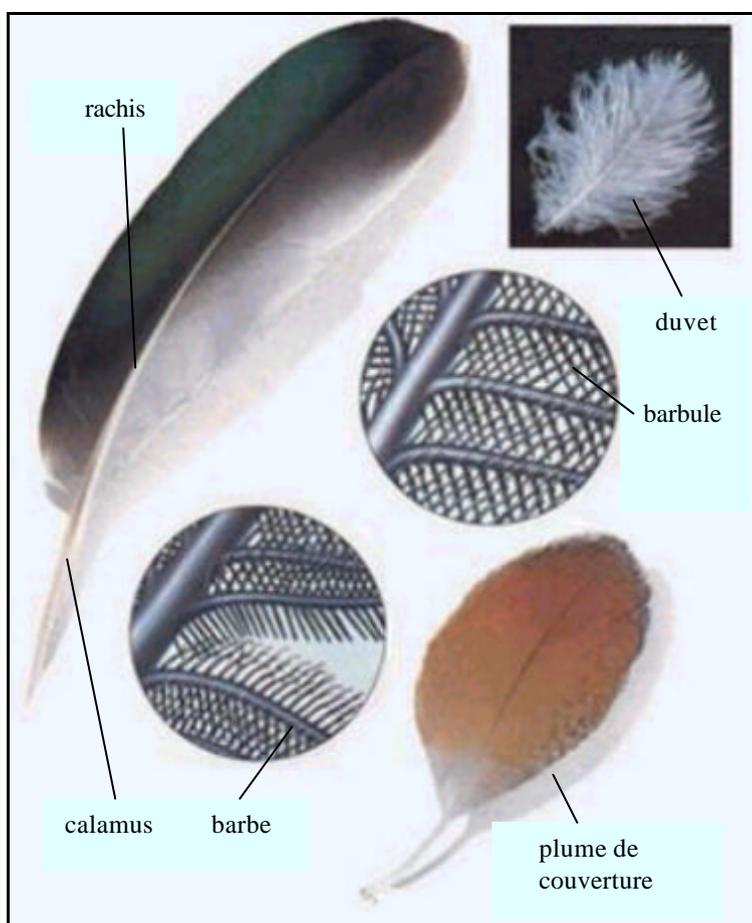


Figure 13-A : plume (pennet) vue au microscope : on note que chaque barbe est une "plume miniature", qui porte des barbules. (90)

De chaque barbe partent des ramifications secondaires : les barbules, pourvues de minuscules crochets qui se fixent à la rangée voisine à la manière d'une fermeture éclair.

Cette structure confère à la fois flexibilité et résistance à la plume. La surface de la plume est alors étanche à l'air. Si les fibres sont désorganisées, l'oiseau en lissant ses

plumes avec son bec réorganise la structure. En cas de dommage plus grave, la prochaine mue solutionnera le problème.

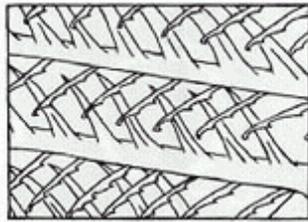


Figure 13-B: grossissement d'une barbe, montrant le réseau entrelacé de barbules. (72)

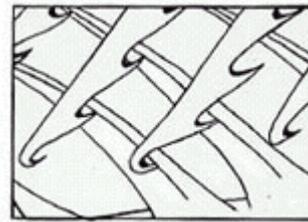


Figure 13-C : détails des crochets des barbules. (72)

Les barbes des premières rémiges, sont plus denses à leur base, de ce fait ces plumes ont un « carénage » particulier. Ce sont les plumes qui frappent l'air avec le plus de vitesse (elles sont en bout d'aile), leur forme et leur résistance particulière y sont adaptées.

En outre, le rachis donne à chaque plume une coupe donnée, adaptée à un travail bien précis.

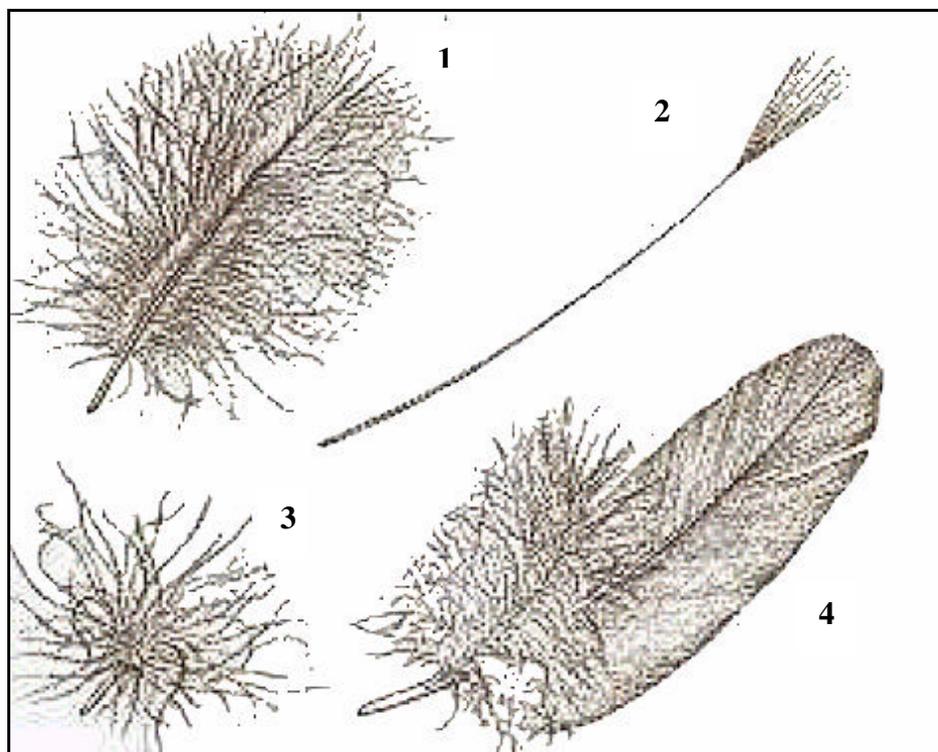


Figure 13-D : différents types de plumes : (1) : semi-plume, (2) : filoplume, (3) : plumule (duvet), (4) : plume avec plume secondaire (hyporachis), jouant un rôle isolant. (72)

- Rôle des plumes

Chaque groupe de plumes joue un rôle bien particulier dans le vol, et chaque plume est modelée afin de répondre au mieux à sa fonction au sein du groupe.

- Les premières rémiges (fig. 14), groupe le plus distal sur l'aile, fixées à la section correspondant à la main, jouent le rôle d'hélice, elles assurent la propulsion de l'oiseau.

- Les rémiges secondaires, sont, elles, insérées sur l'avant bras, plus faibles et plus flexibles que les précédentes, elles constituent l'essentiel de la surface portante de l'aile.

- Les rémiges tertiaires naissent du coude. Bien que très développées chez les grands rapaces (condor ...) elles jouent un rôle moins important dans le vol.

- Les scapulaires (fig. 15) s'insèrent sur la membrane scapulaire.

- L'alule.

L'alule, ou rémiges bâtarde, est une structure intéressante qui agit comme une surface sustentatrice supplémentaire devant le bord d'attaque de l'aile. Son faisceau de petites plumes raides forme un plan auxiliaire avec un certain angle par rapport à l'aile ; il est levé ou abaissé à volonté pour éviter le décrochage en vol.

Dans des conditions normales de vol, l'alule est repliée en arrière, mais lorsque l'oiseau approche de sa vitesse minimale de sustentation, des turbulences sur l'extrados apparaissent, turbulences défavorables à la sustentation (fig. 16). L'alule est alors déployée vers l'avant, et l'encoche créée provoque l'accélération de l'air qui s'y engouffre. Le petit plan et la fente constitués par l'alule dirigent les courants aériens avant qu'ils ne frappent l'aile, réduisant les turbulences causées par le plan principal. L'alule restaure ainsi un écoulement rapide et régulier au dessus de l'aile.

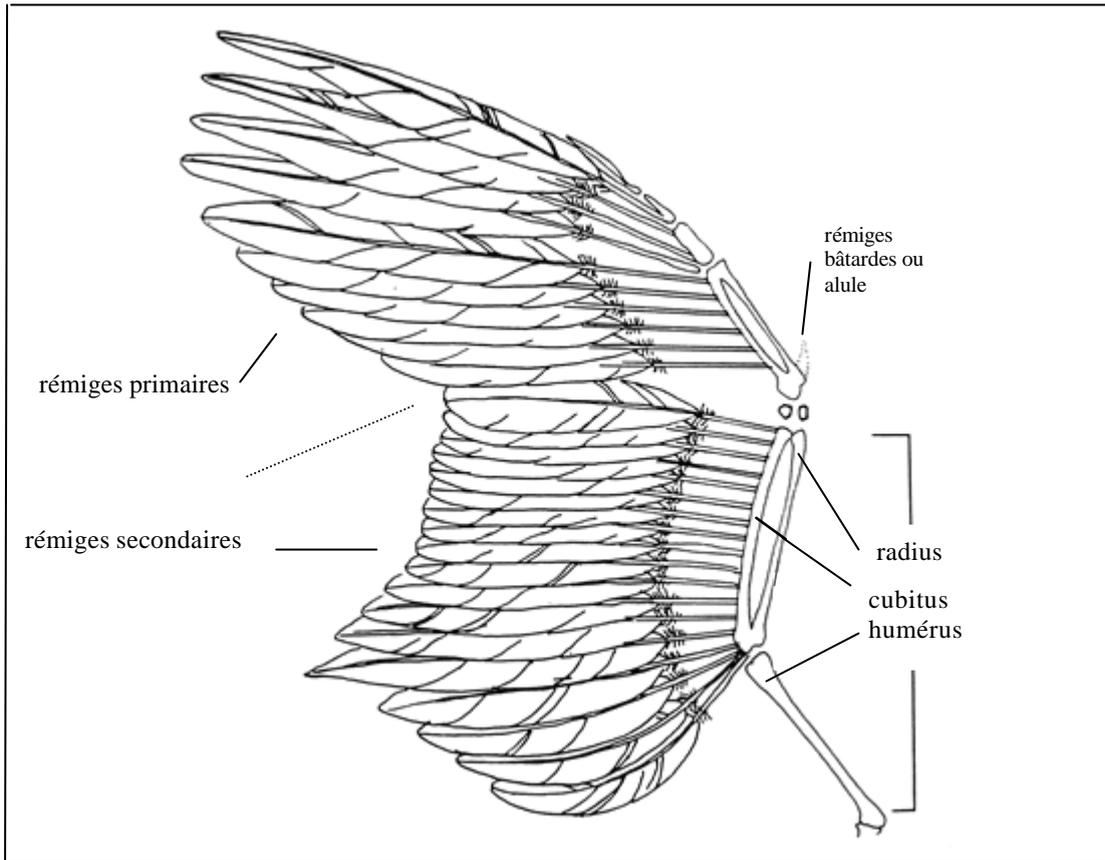


Figure14: implantation des plumes sur l'aile. (84)

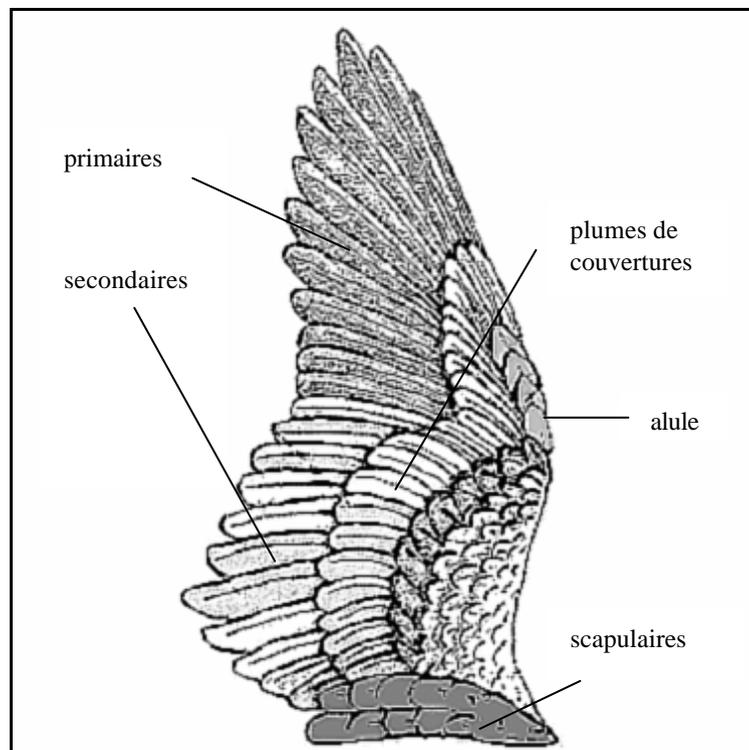


Figure 15: position des différents groupes de plumes sur l'aile. (92)

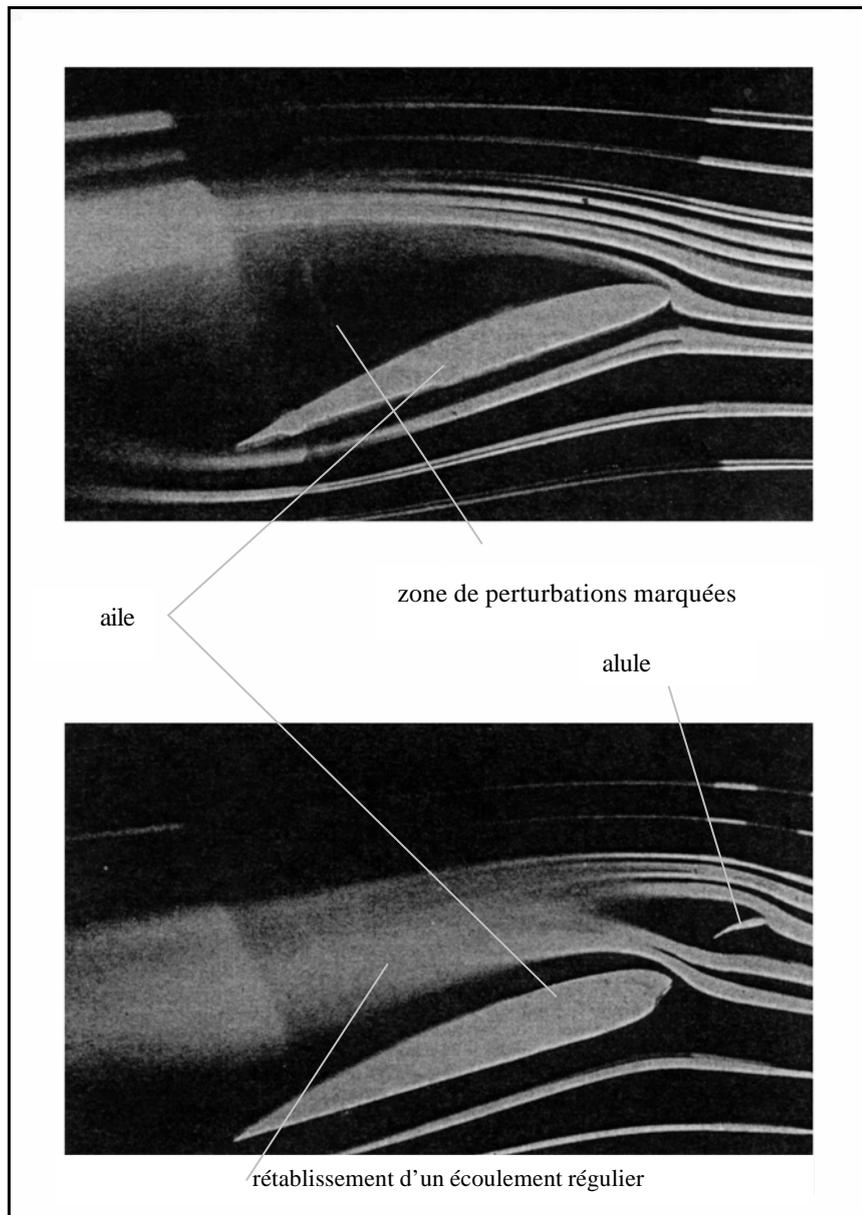


Figure 16: rôle de l'alule. (51)

- Adaptation des rémiges

La longueur et la forme des rémiges primaires vont déterminer l'aspect de l'extrémité de l'aile chez l'oiseau. Si l'albatros et le fou ont une aile pointue, celle du vautour fauve d'aspect fendu est tout à fait différente. Chez ce dernier, les primaires sont découpées ou effrangées à leur pointe. Elles sont dites émarginées (fig. 17).

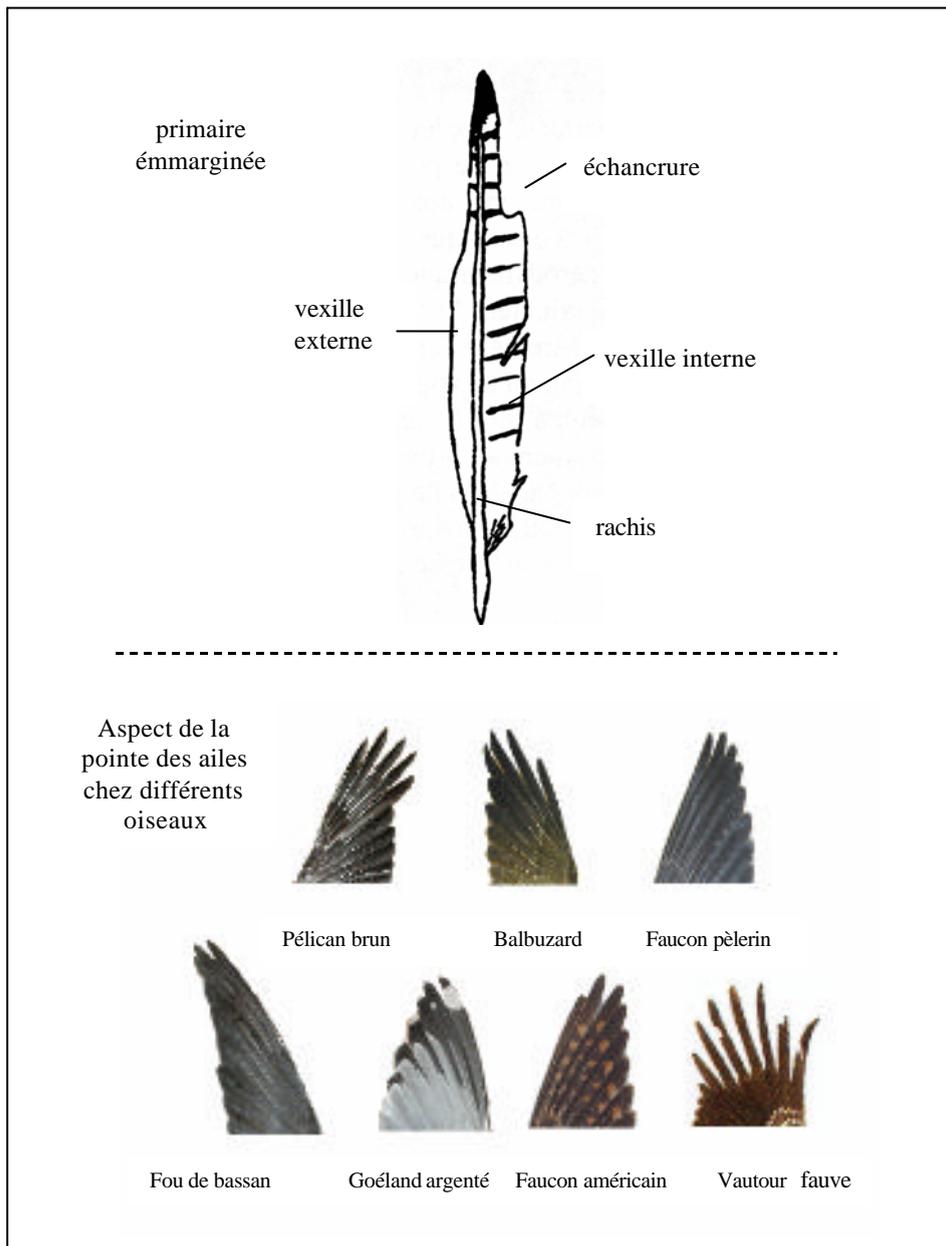


Figure 17: rémiges primaires. (7, 17, 73)

L'émargination augmente la séparation des primaires; quand l'aile est complètement ouverte, elle comporte presque au bout des indentations ou des créneaux. La première primaire des rapaces planeurs est en outre nettement plus incurvée que la seconde ou la troisième, accentuant la séparation de ces plumes en vol. Cette émargination a pour effet de réduire les turbulences à la pointe de l'aile en permettant à l'air de glisser à travers les interstices. De la même manière que l'alule, elle retarde le décrochage en vol lent.

2.2.2. Les ailes.

- Anatomie et rôle principal de l'aile (fig. 18)

Une aile d'oiseau ne doit pas être considérée comme une pièce unique de l'équipement de vol, mais comme un ensemble de plusieurs pièces, chacune ayant un rôle bien particulier.

- La première moitié de l'aile, qui s'étend de l'épaule au poignet est comparable à l'aile d'un avion. C'est cette partie qui bouge le moins en comparaison du reste de l'aile, elle assure l'essentiel de la portance de l'oiseau. La jointure de l'épaule est faite de telle manière que lorsque l'aile est étendue, l'angle le plus adéquat à la portance est automatiquement pris par cette dernière. Cette partie de l'aile est profilée similairement à une aile d'avion, afin d'apporter la meilleure portance possible. A cet effet, chaque plume possède une forme particulière selon sa place sur l'aile, afin d'optimiser cette recherche de portance maximale.

Lors d'un battement d'aile vers le bas, l'air propulsé vers le bas par cette partie de l'aile, rajoute à l'effet de portance.

- La seconde partie de l'aile, débutant au poignet, constitue l'élément de propulsion, c'est l'hélice de l'oiseau. Pendant le mouvement descendant de l'aile, la supination du carpe provoque le déplacement de la main vers l'avant et vers le bas. Les rémiges primaires se chevauchent, la surface est imperméable à l'air, la résistance est alors maximale. La structure particulière des rémiges primaires présente une différence de rigidité entre le bord d'attaque et le bord de fuite. De ce fait ces deux parties réagissent différemment à la pression de l'air. Le bord de fuite se courbe plus aisément, ainsi chaque rémige se comporte comme la pale d'un petit propulseur en chassant l'air vers l'arrière de l'aile. L'oiseau est alors propulsé vers l'avant.

Le coup d'aile vers le bas est donc à la fois responsable de la portance et de la propulsion. La descente dure les deux tiers du temps d'un battement complet.

Lors du coup d'aile vers le haut, l'aile pivote autour de l'épaule afin d'accroître l'angle d'attaque, elle oppose ainsi un minimum de résistance à l'air.

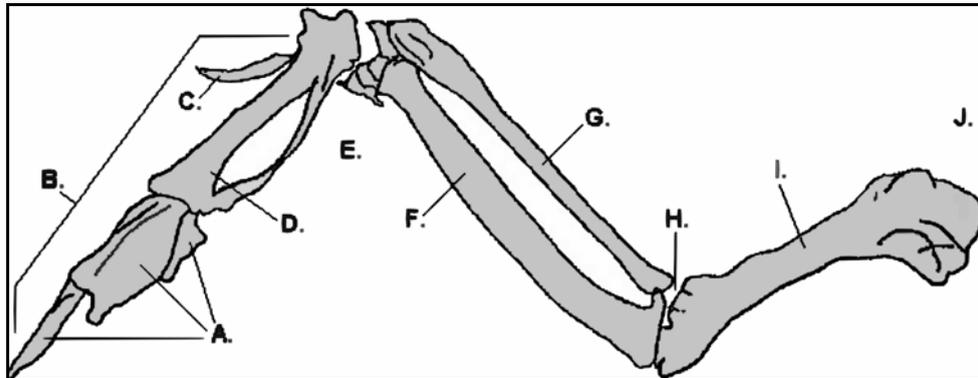


Figure 18: anatomie des os de l'aile. (76)

(A : phalanges, B: main, C: alule, D : métacarpe, E : poignet, F : ulna, G : radius, H : coude, I : humerus, J : épaule)

- Autres fonctions pendant le vol.

- Equilibre et stabilité

L'oiseau en vol que nous avons considéré en début d'étude, est en équilibre sous l'action des quatre forces que sont : la portance / le poids, la traînée / la poussée. Dans la pratique, de nombreux paramètres modifient sans cesse la valeur des forces qui s'exercent sur l'oiseau (bourrasques de vents...). Ce dernier ajuste en fait perpétuellement la position de ses ailes, en modifiant leur angle d'attaque, son envergure, ou en écartant plus ou moins ses primaires. Les ailes sont l'élément fondateur au maintien de l'équilibre.

- Effet redresseur des ailes : influence de la flèche.

La flèche est l'angle formé par l'aile avec une perpendiculaire à l'axe longitudinal de l'oiseau (fig. 19). L'oiseau soumis à un vent relatif de direction oblique par rapport à son axe de symétrie, peut, sous cette contrainte, dériver de sa direction d'origine. En avançant une aile, la traînée de cette dernière augmente par rapport à l'autre et de ce fait, un effet redresseur, opposé à celui du vent apparaît. Ainsi, l'oiseau peut conserver une direction voulue en jouant sur la position plus ou moins avancée d'une de ses ailes par rapport à l'autre.

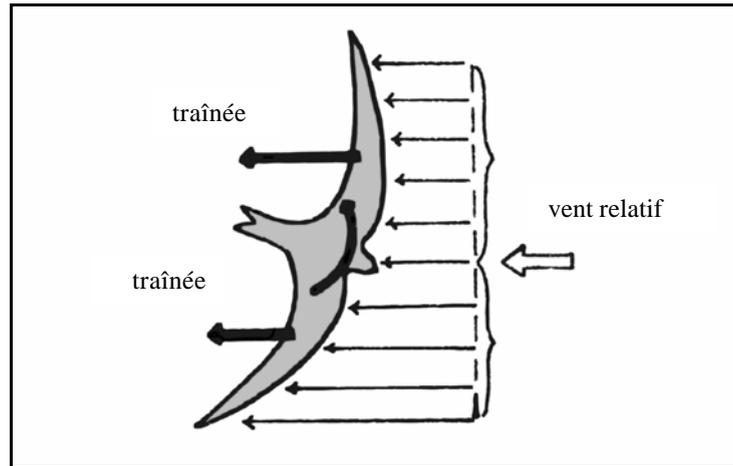


Figure 19: influence de la flèche. (13)

- Effet redresseur des ailes : influence du dièdre.

Si vue de face, l'extrémité d'une aile apparaît plus haute que le corps de l'oiseau, l'aile est dite présenter du dièdre (fig. 20).

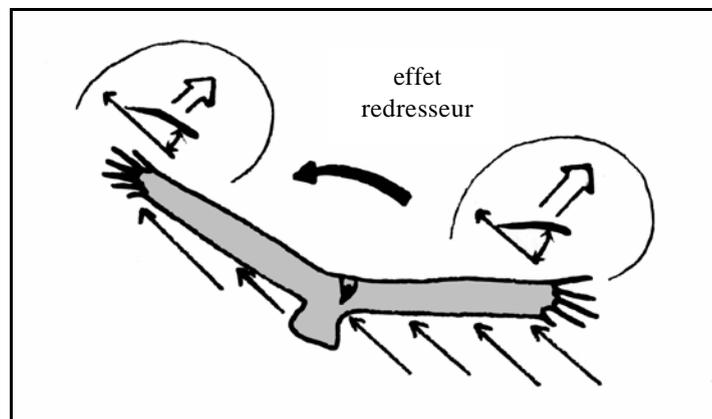


Figure 20: influence du dièdre. (13)

De la même manière que précédemment mais cette fois ci dans un plan vertical, les oiseaux augmentent leur stabilité en maintenant un certain dièdre entre leurs ailes. En relevant plus ou moins une aile par rapport à l'autre, l'oiseau tire profit d'un effet redresseur dans un sens ou dans l'autre.

- Contrôle de la direction

En battant plus rapidement d'une aile que de l'autre, un oiseau peut aussi changer de direction.

2.2.3. La queue.

- Anatomie de la queue

Le croupion supporte les plumes qui composent la queue des oiseaux. Il est garni de plumes de couvertures à la base (sus caudales et sous caudales), et de grandes plumes à l'extrémité, les rectrices ou caudales, qui lui confèrent sa forme.

La queue des oiseaux est variable en forme et en taille, adaptée à un vol particulier, sur un terrain spécifique (fig. 21).

- Longue queue ouverte en éventail. (fig. 21-A)

Adaptée aux vols de poursuites précis. Elle permet de freiner et de circuler dans un terrain accidenté parsemé d'obstacles. C'est le cas chez les éperviers ou les autours où la longueur de la queue atteint 65 à 85% de celle de l'aile. Cette queue agissant à la manière d'un gouvernail, confère l'agilité nécessaire à ce type de chasse poursuite. Lorsqu'il leur est nécessaire de planer, ils étalent leur queue pour augmenter la portance.

- Longue queue fourchue. (fig. 21-B)

Typique du milan royal. Les rectrices externes ont une longueur pouvant atteindre 65 à 80% de la longueur de l'aile, mais les rectrices médianes sont beaucoup plus courtes. La fonction de cette queue n'est pas tout à fait élucidée. Ouverte, elle semble fonctionner comme un très long volet d'aile séparé par une fente du bord de fuite de l'aile, augmentant la portance à faible vitesse. Grâce aux rectrices externes raides, elle peut aussi constituer une seconde aile ou surface portante située un peu au dessous des ailes principales et conférer à l'oiseau les performances d'un biplan (ce type d'avion peut voler lentement et est plus maniable qu'un monoplan (3)). Ce type de queue constitue vraisemblablement une adaptation au vol lent et agile.

- Longue queue cunéiforme ou étagée. (fig. 21-C)

Typique du Gypaète. Oiseau de vol lent, cette queue lancéolée lui permettrait de tourner sur place, contrairement au vautour fauve, détenteur d'une queue courte, qui est lui prisonnier des trajectoires tendues.

Cette classification n'a rien d'exhaustive, elle ne donne qu'un aperçu de la variabilité dans la morphologie des queues des oiseaux, sachant qu'ils peuvent là encore modifier forme et surface selon les besoins.

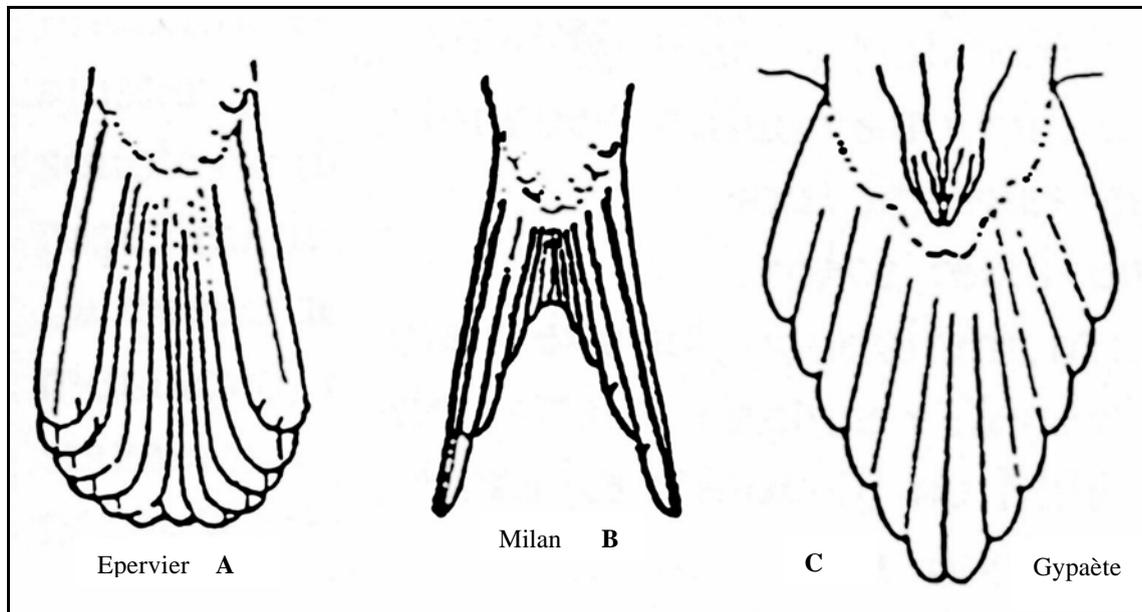


Figure 21: différentes formes de queues. (3, 67)

- Rôle de la queue

La queue d'un oiseau a des rôles multiples. Elle peut bouger dans toutes les directions, agir comme un frein, ou encore présenter des encoches qui influent sur la portance comme nous l'avons vu précédemment avec les primaires émarginées.

- Rôle dans la stabilité longitudinale (fig. 22).

La queue évite les mouvements de cabrer, et plus elle est longue, plus l'oiseau est stable. Considérons un oiseau rencontrant une rafale ascendante provoquant par action sur les ailes un mouvement de cabrer. Dans le même temps, cette même rafale exerce sur la queue une force dont l'action sur l'oiseau sera contraire au cabrage. Cet effet stabilisateur de la queue dépend essentiellement de sa surface, ajustable par l'oiseau.

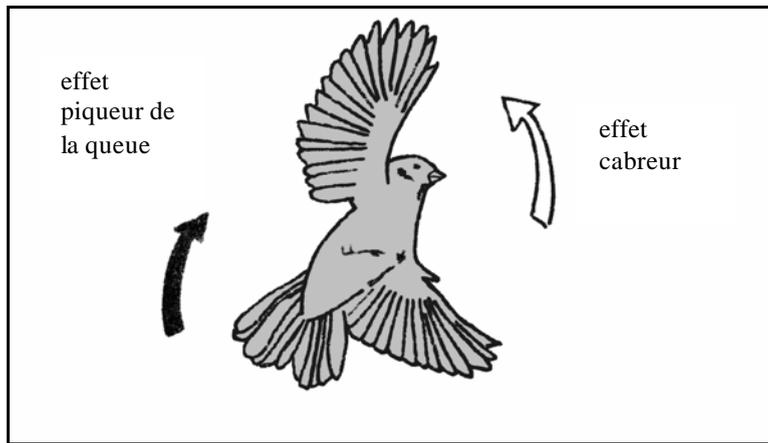


Figure 22 : rôle stabilisateur de la queue dans les mouvements de cabrer. (13)

- Contrôle directionnel et longitudinal

Ce rôle est explicite lorsque l'on voit un milan voler. Sans arrêt sa longue queue bouge, il fait sans cesse de petites corrections pour manœuvrer à sa guise.

- Maintien de l'altitude à vitesse lente

En étalant leurs rectrices, la plupart des oiseaux peuvent modifier leur surface caudale par un facteur de trois ou quatre. A haute vitesse, ils maintiennent leur queue fermée. A faible vitesse, leur queue étalée forme une surface auxiliaire située derrière et sous les ailes, qui contribue à aspirer l'air et augmente le coefficient de glisse de l'aile. En espace découvert, elle peut apporter un appoint à la surface portante, (technique largement utilisée par le faucon crécerelle).

En ouvrant sa queue, l'oiseau augmente nettement sa portance.

Ces grandes lignes sur l'équipement de vol des oiseaux, nous donnent déjà un aperçu de la diversité des réponses proposées par ces derniers à la pratique du vol dans le milieu aérien.

Nous allons maintenant découvrir plus précisément les particularités adaptatives répondant à l'activité prédatrice développée par ces animaux.

Nous consacrerons dans un premier temps notre étude aux oiseaux dont le vol est essentiellement un moyen de repérage des proies, puis dans un second temps, nous nous attacherons à ceux chez qui le vol est l'élément déterminant de la capture des proies.

2^{ème} Partie : Le vol, élément essentiel au repérage des proies dans l'activité prédatrice.

Certains oiseaux passent l'essentiel de leur temps en vol, à la recherche de leur nourriture. Cette option de chasse doit être rentable sur le plan énergétique ; ainsi, ils ont dû développer pour subvenir à leurs besoins, un vol peu coûteux en énergie.

Nous allons dans un premier temps découvrir les choix adaptatifs des grands planeurs des espaces continentaux : les vautours et condors.

1. Vol plané au dessus des terres.

1.1. Descriptif et équipement de vol des oiseaux planeurs.

Ces oiseaux présentent des silhouettes massives, ils disposent d'ailes longues et larges. Leur vol caractéristique en glissade s'accompagne d'un sifflement bourdonnant s'intensifiant avec la vitesse dénotant de la rugueur, de la raideur et de la robustesse de leurs rémiges. Les caractéristiques physiques de ces oiseaux leur confèrent une bonne portance adaptée à un vol plané à faible vitesse, avec un seuil de décrochage repoussé à des valeurs relativement basses.

Un des plus éminents utilisateurs du vol plané est certainement le **vautour fauve** (*Gyps fulvus*).

1.1.1. Particularités physiques. (figs. 23, 24).

- Morphologie

L'oiseau, robuste, présente une longueur du bec à la queue d'environ 100 cm, une envergure de 2.50 m pour un poids variant de 7 à 12 Kg (18, 40)

Son corps est aérodynamique et le volume de ses sacs aériens lui permet de diminuer sa densité corporelle. Ces derniers, en plus des propriétés respiratoires,

participent au maintien des viscères abdominaux, et leur position plutôt dorsale par rapport à l'organisme abaisse le centre de gravité de l'animal et, donc, stabilise son vol. (35)

Son envergure considérable lui confère une surface portante qui l'est tout autant. Sa forte longueur d'aile confère une plus grande finesse au plané, la charge alaire basse de 76 N/m^2 permet de réduire la vitesse seuil de décrochage. (36) Cependant, cette valeur est relativement élevée en comparaison à d'autres planeurs proches tel que le vautour percnoptère (59 N/m^2), ce qui explique la difficulté de ces grands vautours à soutenir longtemps un vol battu, mais aussi leur facilité à parcourir de grandes distances, car la lourdeur confère de la rapidité dans les vols de transition : un griffon, vautour du genre *Gyps* dont fait partie le vautour fauve, partant de 300 m d'altitude peut atteindre en 6 minutes n'importe quel point situé sur un rayon de 4.5 km. (45) En contrepartie, ces oiseaux sont particulièrement tributaires du développement d'ascendances qui les portent.

L'allongement de 7, (4) relativement conséquent, procure à l'oiseau une efficacité certaine pour le plané et le rend apte à parcourir une longue distance en perdant le minimum d'altitude. (11)



Figure 23: silhouette du vautour fauve en vol. (17)

- Le plumage

Les ailes et la queue portent les grandes plumes essentielles au vol, qui sont respectivement, les rémiges et les rectrices.

Les rémiges primaires, implantées sur le carpométacarpe et sur les phalanges, emplument les mains de l'oiseau. Comme la plupart des grands oiseaux, les vautours en ont dix par aile. Les plus longues atteignent 71 cm. Elles confèrent l'essentiel de sa longueur au segment distal de l'aile. Elles sont de couleur brun noir, pigmentées par de la mélanine qui les rend particulièrement solides. En vol battu, les primaires assurent la poussée motrice de l'aile.

En vol plané, les sept premières sont étalées et se distinguent comme des doigts. Cette émargination caractéristique de l'aile de ces oiseaux permet de réduire les turbulences à la pointe de l'aile (cf. partie I : 2.1.2), mais aussi de réduire la torsion de l'aile : chacune des primaires séparée joue individuellement le rôle d'un plan porteur et plie de façon variable sous la charge aérodynamique, selon sa position et sa longueur. Elles se présentent alors courbées par l'air, semblant goûter le vent. Leur jeu permet aussi d'ajuster la position de l'oiseau dans un virage. (16) A l'atterrissage, le vautour érige son alule (cf partie I : 2.2.1), les trois plumes portées par son pouce, ce qui l'aide à freiner sa course.

Cette aile découpée permet aux rapaces de planer efficacement sans recourir à une longueur d'aile démesurée, observable chez les albatros.

Les rémiges secondaires emplument l'avant bras, qui est un long segment chez les vautours, et confèrent à l'oiseau l'essentiel de sa portance. Elles s'implantent sur un seul des deux os du rayon : l'ulna.

Ces plumes ont toutes la même longueur sur l'aile, leur lame est toujours symétrique de part et d'autre du tuyau. En vol, elles ne sont pas soumises à d'aussi rudes épreuves que les primaires.

Les rectrices sont plates et rigides, leur tuyau est fort et effilé. Au nombre de 14, leur écartement ou leur resserrement complète finement les mouvements de la queue, cette

dernière est utilisée comme gouvernail lors de déplacement lent ou bien dressé comme un aérofrein avant un atterrissage.

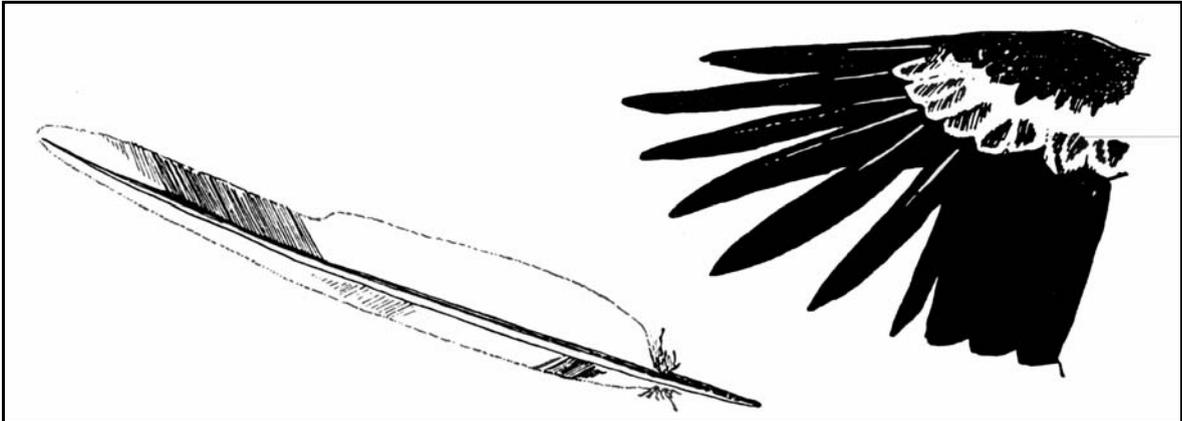


Figure 24: émargination des rémiges primaires. (4)

- Le lissage des plumes

Il a une signification vitale pour le vautour : il correspond à la visite pré vol. Ce dernier remet en ordre la moindre plume déplacée, élimine les corps étrangers qui s'y sont déposés et qui pourraient nuire à son aérodynamisme, et assure l'étanchéité à l'air en la graissant avec sa sécrétion uropygienne. Cet entretien est indispensable pour pratiquer le vol à voile avec des conditions physiques intrinsèques optimales. Ce soin permanent permet au vautour de se maintenir en état de vol et donc de pouvoir décoller à tout moment.

1.1.2. Adaptations particulières à la pratique du vol à voile. (34)

- Perception de l'ascendance

Les mécanismes de détection des ascendances ne sont pas encore élucidés. Plusieurs hypothèses sont alors en attente de validation. (4). Certains pensent que la sensibilité proprioceptive à la traversée d'une masse d'air est le mécanisme physiologique majeur. D'autres supposent qu'une perception dans l'infrarouge leur permettrait de repérer les masses d'air chaud. La présence de thermorécepteurs situés dans le bec, voire aussi la perception des vibrations de l'air chaud et des particules qui s'élèvent sont deux autres

hypothèses proposées. Enfin la mémorisation d'indices visuels comme par exemple la présence des cumulus au dessus des colonnes d'air chaud est envisagée. (44)

- Perception du courant.

Grâce à ses récepteurs proprioceptifs, l'oiseau planeur ressent la colonne où l'air s'élève le plus vite, imprimant une plus grande tension à ses muscles alaires. Le vautour reconnaît immédiatement qu'il approche du sommet de l'ascendance, où le gain d'altitude devient faible, et s'échappe alors aussitôt en vol de transition. (34)

L'oreille interne semble être le siège d'un organe propre aux oiseaux et particulièrement sensible chez les planeurs : organe sensible aux variations même infimes de pression.

Chaque plume de contour est de plus associée à une filoplume reliée à un récepteur sensoriel cutané. (37). Ainsi le moindre déplacement de la tectrice est intégré par l'oiseau, ce qui lui permet d'ajuster sa position par rapport au vent.

1.1.3. L'oiseau dans son milieu naturel.

- Silhouette. (fig. 23) (4, 18)

Au sol, ses ailes imposantes ne sont pas complètement ramassées au dessus de sa queue courte. Les rémiges secondaires se recouvrent peu et forment comme un large rideau foncé au bas de chaque aile. L'articulation du poignet, portée haut, se détache du corps et semble affubler l'oiseau « d'épaules » saillantes.

Dans les airs, l'oiseau prend sa réelle dimension ; il perd la lourdeur dont il fait preuve au sol lors de ses déplacements. Il plane avec une remarquable aisance, et bat rarement des ailes. Sa corpulence, ses ailes larges et sa queue courte légèrement arrondie rappellent la silhouette des aigles.

En vol plané, quand l'oiseau est vu de dessous, l'aile, totalement étalée apparaît comme un long rectangle. Son bord postérieur est convexe. A son extrémité, les rémiges primaires se découpent nettement comme sept longs doigts. Les trois rémiges primaires les plus internes forment le bord postérieur de la main. Plus courtes que les autres et que les rémiges secondaires adjacentes, elles marquent un resserrement caractéristique du contour arrière de l'aile. De profil, l'oiseau tient ses ailes en V très ouvert, les poignets plus haut que les aisselles. Ses ailes sont cambrées ; sa tête tenue basse devant sa poitrine accentue l'impression que son corps fuselé est suspendu à un dos musculeux, légèrement voûté.

Pendant les vols de transition, ou glissades entre deux ascendances (cf. partie II, 1.2.), le vautour fléchit ses ailes, ce qui leur fait perdre leur forme rectangulaire. Il replie ses mains vers l'arrière et ferme légèrement les coudes en les rapprochant de son corps. L'extrémité de l'aile apparaît effilée et le bord de fuite incurvé en « S » ouvert.

Les extrémités des rémiges primaires s'adaptent sans arrêt aux variations des courants, chacune jouant le rôle d'un plan porteur. La forme en U des échancrures, permet un écoulement d'air améliorant la portance et la stabilité. (13)

L'oiseau est capable à tout moment d'adapter la géométrie de sa voilure à la vitesse et à la trajectoire souhaitée. Il étale ses plumes en vol pour bénéficier de la surface maximale de voilure ou bien au contraire les resserre et replie les ailes pour accroître son taux de chute. En fonction des stimuli perçus et du déplacement souhaité, le vautour ajuste sans cesse la position de sa queue, l'angulation de ses ailes, fait varier les caractéristiques de la surface portante par le jeu de ses plumes. L'ensemble de ces observations a vu sa confirmation expérimentale sous forme de modèles mathématiques chez de nombreux auteurs. (41, 42, 43, 55).

1.2. Technique du vol à voile. (4, 13, 16)

1.2.1. Principe.

L'oiseau utilise la force de gravité afin de maintenir un écoulement d'air suffisamment rapide au dessus des ailes, en accentuant la pente si besoin. (13)

On distinguera dans le vol plané, deux entités :

- Le vol glissé ou plané proprement dit.

Il consiste à couvrir une distance en ligne droite en perdant le moins d'altitude possible. Cette glissade plus ou moins longue est commandée par l'extension ou le fléchissement des ailes, qui règlent la surface portante, et par l'inclinaison de la trajectoire.

- Le vol à voile.

La vitesse de poussée ascensionnelle est supérieure à la vitesse de chute de l'oiseau. Dans ce cas là, l'oiseau toujours sans battre des ailes, gagne en altitude.

Le vol plané de ces oiseaux est stable, constamment ajusté par de petits mouvements des rémiges primaires, de l'alule et de la courbure de l'aile.

Comme nous le verrons plus tard, les oiseaux planeurs usent consécutivement de ces deux types de vol plané afin de couvrir leur territoire de chasse, en battant le moins souvent possible des ailes. Ce type de vol est peu coûteux en énergie, un oiseau de grande taille pourrait ainsi réduire 23 fois sa dépense énergétique en planant plutôt qu'en battant des ailes. (45)

1.2.2. Origine de la poussée ascensionnelle ; les ascendances. (fig. 25)

- Les ascendances peuvent être dues à l'orographie, l'oiseau profite tout simplement des déviations de l'air vers le haut, suite à la butée du vent sur un relief, ou suite à la rencontre de deux masses d'air. Ce type d'ascendance ne dépend que des caractéristiques du relief et de la force et de la direction du vent ; ces courants utilisables toute l'année se forment par exemple le long d'une paroi naturelle, une colline, un coteau...

- Des phénomènes de turbulences peuvent eux aussi fournir un courant sustentateur pour ces oiseaux. Des tourbillons naissent de la rencontre d'un courant d'air avec tout autre obstacle, que ce soit un arbre, un bâtiment, un sommet abrupt, ou même un autre courant d'air.

- Enfin, ces ascendances peuvent résulter de mouvements de convection d'air réchauffé, plus communément appelés thermiques.

L'air réchauffé au niveau du sol s'élève en formant une ou plusieurs colonnes. L'air est aspiré au centre de cette colonne au fur et à mesure qu'elle monte, cela sur une centaine de mètres, puis après quelques minutes, la colonne se dilate dans l'atmosphère en formant une gigantesque bulle ou vortex, n'ayant aucun contact avec le sol et perdurant tant que la température de la bulle est supérieure à celle de l'air environnant. Cette bulle peut atteindre des altitudes de 2 à 3 kilomètres.

En restant à l'intérieur de ces courants par un vol circulaire, l'oiseau peut s'élever à un coût énergétique moindre. Si l'oiseau veut bénéficier de l'élévation la plus puissante, il doit alors décrire des cercles dont le rayon est le plus faible possible, à l'intérieur de ces bulles.

Les terrains nus, sableux ou pierreux réfléchissent bien le soleil, ils sont favorables à la création des thermiques.

Les conditions météorologiques régissent donc ce type de vol ; ainsi, en Espagne, l'activité des rapaces augmentait le matin avec la température de l'air, puis diminuait en milieu d'après midi en raison de l'affaiblissement des températures et donc des thermiques. En présence de vent, les thermiques sont plus faibles mais plus nombreux ; ils se déplacent avec le vent. (21)

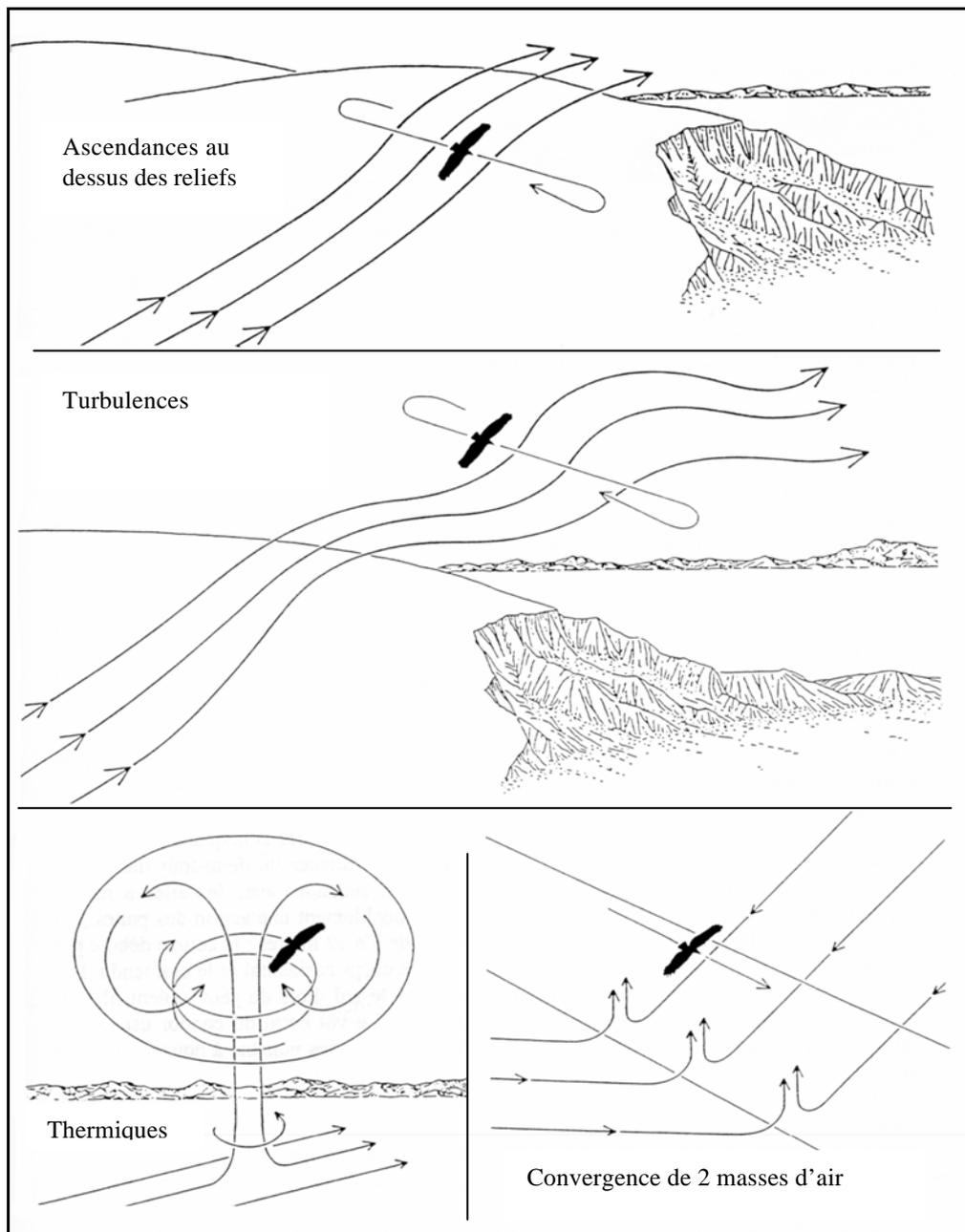


Figure 25: les ascendances. (45)

1.3. Performance de vol des vautours.

1.3.1. Eviction du vol battu.

Les vautours ne sont pas des adeptes du vol battu, pour lequel ils ne sont pas bâtis : grands et lourds, ils ont du mal à se sustenter longtemps ainsi. Toutefois ils sont parfois obligés de battre des ailes : pour décoller du sol, surtout alourdis par un jabot plein, ou pour se maintenir en l'air faute d'ascendances. L'énergie requise est considérable pour un oiseau lourd : pour se maintenir dans les airs en vol battu, un Condor devrait mouvoir ses ailes au rythme effréné de 160 battements par minute ! (4) C'est pourquoi ces oiseaux limitent autant que possible ces phases épuisantes.

1.3.2. Des spécialistes du vol à voile.

- Prouesses techniques (fig. 26).

Servi par sa maniabilité et sa faible charge alaire (comparée à tous nos engins volants), le vautour cerce au plus près du cœur du thermique et atteint facilement une vitesse ascensionnelle de 3-4 m/sec. (2) Pour les mêmes raisons, il est relativement à l'aise dans les turbulences, aidé par sa capacité d'ajuster finement sa silhouette et sa position à chaque instant, et il se déjoue plutôt bien du cisaillement qui s'exerce aux alentours immédiats de la colonne d'air ascendant. Il est capable de gagner de l'altitude en traversant un thermique fort sans avoir à s'y arrêter pour cercler, et d'exploiter de relativement faibles ascendances le matin ou par mauvais temps.

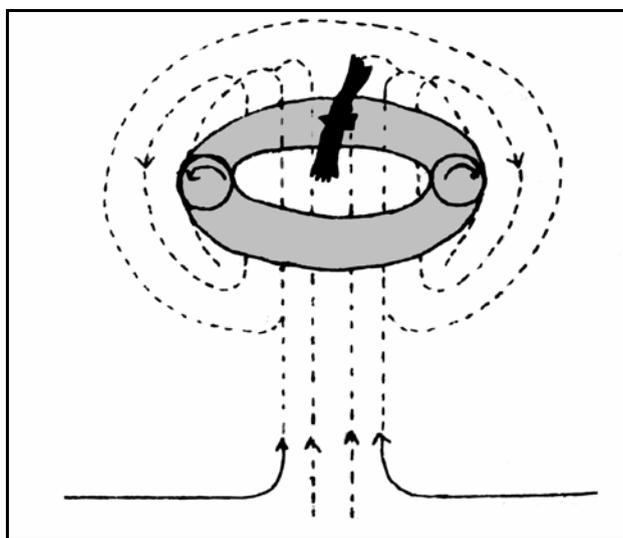


Figure 26: le vautour cerce au plus près du centre de la colonne. (13)

- Altitude

Le vautour stabilise généralement son ascension à une altitude comprise entre 300 et 600 m, mais il peut facilement monter à 4000 m. En quittant un thermique à 2000-3000 m d'altitude, il bénéficie d'une autonomie de planer d'environ 10 Km avant de devoir trouver une nouvelle ascendance. Un cas exceptionnel rapporte la collision entre un avion et un vautour de Rüppel à une altitude record de 12 000 m au dessus de la cote d'ivoire. (36)

Physiologiquement, à 3000 m d'altitude, l'organisme endure le froid et la raréfaction de l'oxygène ; l'oiseau y fait face grâce à la qualité isolante de l'épais sous duvet, et à la possession de plusieurs hémoglobines d'affinités différentes pour le gaz vital (Mundy en a isolé 4 chez le Rüppel) (36)

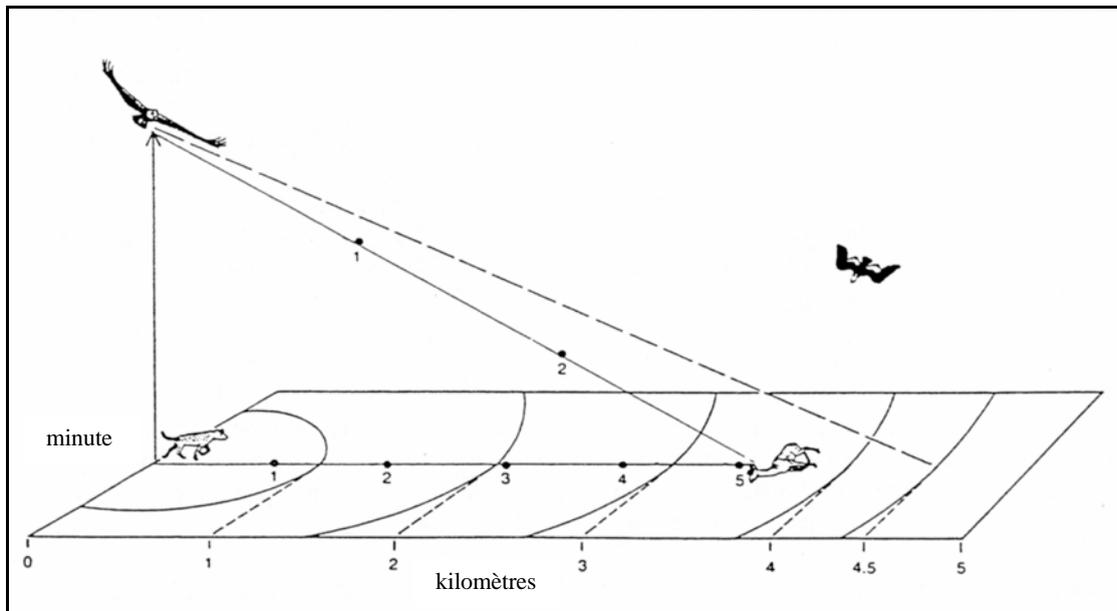
- Endurance

Le vautour parcourt de longues distances en dépensant un minimum d'énergie : Pennycuick (44) a démontré que pour un oiseau aux caractéristiques aérodynamiques du vautour africain à dos blanc (*Gyps africanus*), une heure de vol à voile à la vitesse moyenne de 44 Km/h consomme au Km 0.38 Kcal, contre 12 Kcal/Km pour un vol battu à la même vitesse. Le vol à voile est sur le plan énergétique 30 fois plus économique que le vol battu ; c'est une adaptation vitale à l'exploitation d'une nourriture dispersée et de répartition aléatoire.

- Rapidité (fig. 27)

Un vautour est capable d'atteindre plus rapidement que n'importe quel charognard terrestre un cadavre, puisqu'il peut s'y rendre en vol à la vitesse moyenne de 70 Km/h, sans buter sur aucun obstacle naturel tel qu'un canyon. En 5 heures de vol, les grands vautours peuvent explorer un territoire de 110 Km de rayon alors qu'une tribu de hyènes, principales concurrentes de ces oiseaux en Afrique, ne recherche sa nourriture que sur 30 à 50 km. (44 et 45)

La vitesse de pointe atteint 96 Km/h, en allure de croisière elle oscille entre 30 et 70 Km/h.



(La chute d'un vautour attire l'attention d'un autre vers une carcasse, située dans notre exemple à 3.5 Km. Descendant à 70 Km/h, ce dernier atteint la charogne en 3 min, contre 4 min.25 s pour une hyène courant à 40 Km/h.)

Figure 27 : rapidité des vautours. (45)

1.3.3. Facteurs limitants. (4)

Le brouillard et les fortes précipitations bloquent les oiseaux dans les falaises, faute de courants porteurs. Toutefois sur de courtes distances de 1 à 2 Km, ils peuvent se déplacer en vol battu.

De ce fait, l'hiver, ou lors de printemps pluvieux, les vautours s'absentent de leur reposoir presque deux fois moins longtemps que l'été.

1.4. Le vol de prospection. (fig. 28)

1.4.1. Le vautour. (16)

Le vautour s'élance généralement de sa falaise en milieu ou en fin de matinée, lorsque le soleil a réchauffé la basse atmosphère. Aussitôt, il s'élève, porté par les ascendances, et tout en tournoyant dans la colonne d'air, observe minutieusement le sol. Une fois la montée en spirale terminée, le vautour part en vol de transition rectiligne dans la direction qu'il a choisi, jusqu'à un prochain ascenseur. Ainsi, il peut couvrir sans effort l'ensemble de son territoire de chasse.

Les savanes africaines offrent des ascendances formant de véritables routes thermiques pour les vautours de Rüppel qui peuvent ainsi planer sur 32 Km sans perdre plus de 520 mètres.

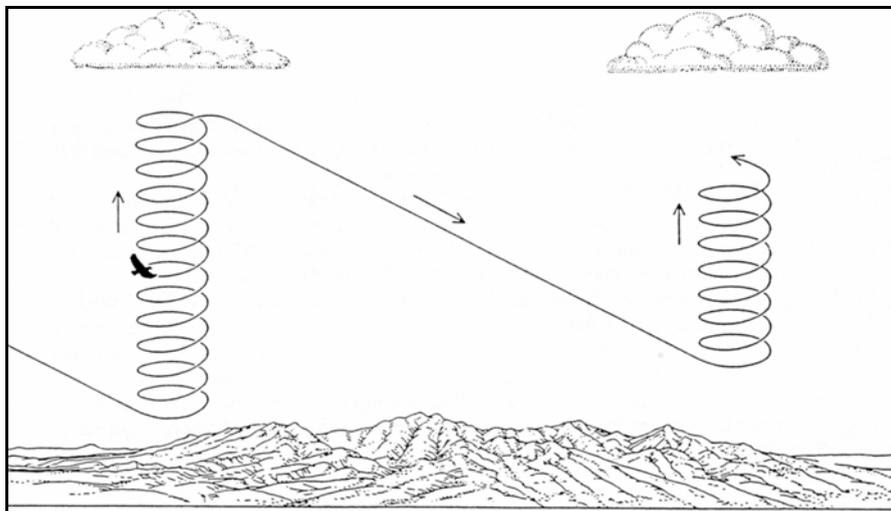


Figure 28 : vol de prospection des vautours. (45)

- Notion de territoire et de domaine vital :

Le territoire est l'espace défendu par un couple d'oiseaux face aux intrus d'espèces identiques à la leur et concurrentes. (38) C'est généralement en son sein que l'on trouve le nid. Il est pratiquement inexistant pour le vautour fauve, ne défendant que l'aire représentée par le nid et ses abords directs. Il est donc plus intéressant de considérer le domaine vital, qui est l'espace régulièrement parcouru par un individu à la recherche de sa nourriture.

Chez les rapaces, en règle générale, le domaine vital a tendance à augmenter avec la taille de l'oiseau. Ce serait en outre une conséquence de la plus grande facilité qu'ont les oiseaux lourds à parcourir de longues distances. (4)

Pennycuick (44) propose un classement concernant les habitudes de prospection des vautours :

- Les vautours sédentaires (type Oricou, Vautour à tête blanche), de plus faible charge alaire, se maintenant facilement en l'air quelles que soient les ascendances. Ils connaissent très bien le terrain, observent beaucoup le sol. Ils prospectent sur un territoire relativement restreint et arrivent souvent en premier sur les carcasses.

- Les vautours itinérants (Vautour Africain, Vautour fauve, Vautour de Rüppell), de charge alaire plus élevée, parcourent eux de longues distances. Bien que plus nombreux, ils arrivent rarement en premier ; ils scrutent certes le sol, mais aussi leur congénères ; ainsi, dès que l'un décroche, ses voisins le suivent, entraînant d'autres de proche en proche. (fig.27). Cette pseudo collaboration leur permet de surveiller leur vaste territoire.

Ainsi, le vautour fauve dispose d'un domaine vital dont le rayon dépasse facilement les 50 kms. Ces distances de prospection varient évidemment avec le degré de disette et la période de reproduction. En effet à la fin de l'été, quand la reproduction ne les fixe plus sur les sites de nidification et que la nourriture se raréfie, les vautours fauves observés sur les Causses doublent leur rayon de prospection. (4)

En outre, si les proies sont à proximité, l'oiseau prendra en quelque sorte du « temps libre », pour jouer en vol pendant la journée. Si, par contre, les carcasses sont éloignées, les vautours n'hésiteront pas alors à s'absenter deux ou trois jours de suite. De plus, toujours selon l'abondance de nourriture, il pourront entamer une carcasse dans le quart d'heure après sa mort, ou bien voler plusieurs jours voire plusieurs semaines au dessus d'un cadavre avant d'entamer la curée. (38)

La fréquence avec laquelle les vautours survolent une zone est fortement corrélée à la probabilité d'y trouver à manger. Les plateaux à végétation rase, où les troupeaux sont présents, bénéficiant d'un climat ensoleillé où les surfaces rocheuses sont rapidement réchauffées, avec la présence d'ondulations du relief, sont éminemment favorables à leur activité de prospection.

Comme nous le voyons, le mode de chasse du vautour l'oblige à présenter un vol plané efficace, à savoir perdre le moins d'altitude tout en parcourant la distance la plus grande possible. Ces facultés sont sous le joug d'une morphologie et de différentes adaptations au vol qui leur sont propres

- Le vol en tandem. (fig. 29). (35)

Bien que cette association soit, semble t'il, essentiellement liée à un comportement particulier de la parade entre deux oiseaux, il semble que ce vol puisse aussi revêtir des intérêts aérodynamiques : ainsi, l'ensemble constitué par les deux oiseaux ressemble fortement à la disposition des ailes d'un biplan ce qui pourrait procurer au tandem une finesse supérieure et donc permettre un plané plus efficace selon un angle de descente plus faible. Un confort de vol serait donc peut être aussi recherché.

Cette amélioration de la finesse et donc du « plaisir » procuré au fin planeur qu'est le vautour par ce type de vol, pourrait aussi expliquer le pourquoi des empilements multiples observés chez cet oiseau.

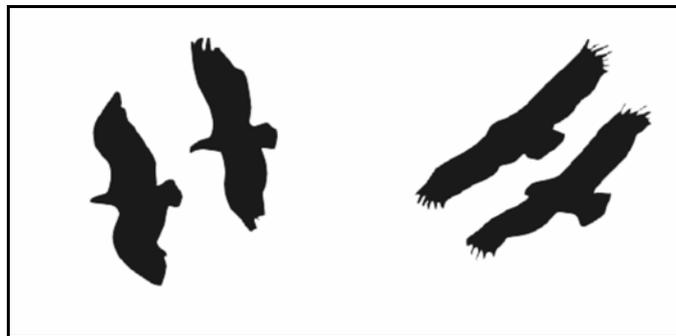


Figure 29: le vol en tandem. (4)

1.4.2. Données comparatives au condor des Andes. (fig. 30). (28, 29, 51)

Une étude de Mc Gahan (28) présente le vol plané du condor des Andes (*Vultur gryphus*) sur une plage Péruvienne : La playa Chucho. Tout comme les vautours, les condors (envergure de 3.20 m et charge alaire de 85 N/m² (3)) prennent de l'altitude en décrivant des orbites à la faveur d'ascendances thermiques avec ailes et queues étendues au maximum afin de bénéficier de la portance maximale. Puis par un léger mouvement des mains, il initie un long plané glissé : une flexion de la main et de l'épaule permettent le

recouvrement des rémiges primaires l'une sur l'autre, ainsi l'aire de l'aile diminue, l'oiseau perd en portance et gagne en vitesse. Simultanément, la queue réduit elle aussi sa portance et apparaît donc serrée. Beaucoup de ces planés glissés ont dépassé les 5 minutes, sans observer un seul battement d'ailes. Le plus long, d'une durée de 14 minutes 40 permet à l'oiseau de parcourir une distance de 13 Km, en perdant seulement le quart de son altitude de départ (1000 mètres).

En théorie, le condor pourrait dans de bonnes conditions parcourir 50 Km en 35 minutes, en passant 8 minutes en vol circulaire pour atteindre l'altitude voulue. Soit une vitesse moyenne hypothétique proche des 70 Km/h.

Le condor, planeur habile s'adapte très bien aux variations de courants. Par vent de face, il accentue son angle d'attaque afin d'obtenir une vitesse de progression par rapport au sol satisfaisante, au détriment d'une faible perte en altitude

Près des falaises où les vents sont violents et tourbillonnants, les condors adoptent une position particulière : flexion des ailes marquée et pattes étendues vers le sol : ceci aurait pour effet de réduire la vitesse de progression tout en améliorant la stabilité. Les pattes joueraient un rôle similaire aux aérofreins d'un avion.

En outre, durant le vol en orbites dans les ascendances thermiques, Mc Gahan (28) observa souvent ces oiseaux alterner extension et flexion des ailes, ce qui leur permettait respectivement de gagner ou perdre de l'altitude. Ainsi il vit une femelle huit fois de suite fléchir les ailes et étendre les pattes pour perdre de l'altitude, puis étendre ses ailes et ramener ses pattes afin de revenir au point de départ, tout en tournoyant dans une ascendance, afin d'observer longuement le sol.

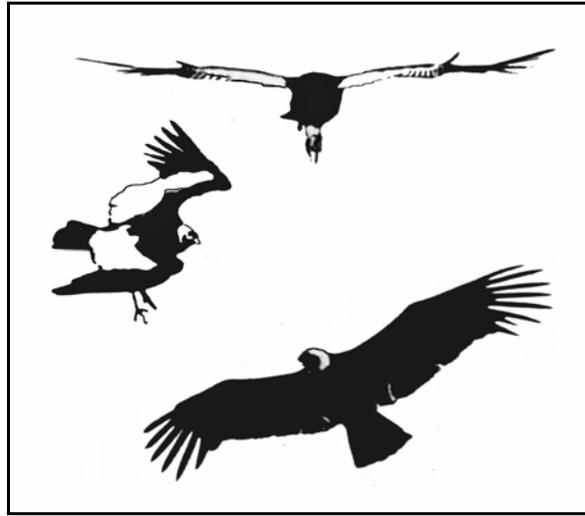


Figure 30: silhouettes du condor des Andes en vol. (28, 29)

1.5. Le choix de ce type d'aile. (51)

Les planeurs des océans disposent d'une aile très longue, effilée et pointue, qui est considérée par les spécialistes de l'aérodynamisme, comme la plus efficace pour le vol plané. Pourquoi alors les planeurs des terres ont-ils développé ce type d'ailes moins longues, plus larges et profondément émarginées. Différentes hypothèses l'expliquent :

Ces oiseaux, contrairement à l'albatros, doivent planer à de faibles vitesses, or les échancrures et l'alule apportent plus de portance à l'aile lorsqu'elle est sur le point de décrocher.

L'utilisation d'ascendances thermiques nécessite une habileté et une manoeuvrabilité afin d'éviter de sortir de la colonne, qu'une aile d'albatros ne pourrait fournir. Ainsi l'efficacité du plané en ligne droite est légèrement sacrifiée au profit de la dextérité.

En outre ces planeurs doivent atterrir sur des terrains parfois accidentés, et surtout décoller de leur lieu de pitance où les courants ne sont pas forcément présents. Ainsi il leur faut pouvoir malgré tout battre des ailes pour décoller. A titre d'exemple, un condor face à un vent de 7 à 12 mètres / sec bat des ailes près de 30 fois tout en courant avant de décoller. (12)

Enfin lors de faibles ascendances, les planeurs des terres peuvent en partie compenser cette absence grâce à cette aile adaptée aussi au vol battu occasionnel.

En résumé, ces planeurs ont fait le choix d'une aile présentant un bon compromis entre un plané efficace, et une bonne maniabilité.

La spécialisation de vol de ces oiseaux leur procure une maîtrise du plané au dessus des terres, indispensable à leur mode de prédation, à savoir voler longtemps à faible coût énergétique. D'autres oiseaux, eux aussi ont su développer un vol peu coûteux en énergie, mais sur un autre terrain requérant d'autres aptitudes : au dessus des océans.

2. Vol plané au dessus des mers .

Au dessus des océans, deux types de vol plané sont possibles. L'albatros hurleur utilise les courants qui résultent de l'interaction entre le vent et la surface de l'océan, et pratique alors un vol à voile dynamique. Le goéland argenté, lui, plane grâce aux ascendances orographiques qu'il rencontre.

2.1. Le plus grand planeur des océans : l'albatros hurleur (*Diomedea exulens*).

2.1.1. Un oiseau dessiné pour planer. (fig. 31) (13, 46)

L'animal est tout simplement le plus grand oiseau volant, caractérisé par ses ailes exceptionnellement longues et étroites. Elles font des oiseaux de cette famille les plus prodigieux des planeurs, et leur maîtrise du milieu aérien est incontestable.

Corps compact et profilé, pouvant peser près de 12 kg, l'albatros hurleur présente une envergure pouvant atteindre les 350 cm. (22) Cette aile exceptionnelle, effilée à son extrémité, sans émargination, présente une finesse élevée. Son allongement de 20 (contre 7 chez le vautour fauve), permet à l'oiseau de pratiquer un vol plané d'une efficacité sans pareille dans le monde animal.

Le plumage se compose de 11 primaires (la plus longue étant la dixième ; la onzième est, elle, minuscule), et de 37 à 40 rémiges secondaires. (8)

La queue est, elle, arrondie et courte. Les pattes de petite taille sont cependant puissantes.

L'oiseau dispose d'un excellent odorat, dont le rôle dans le repérage de sa nourriture est déterminant.

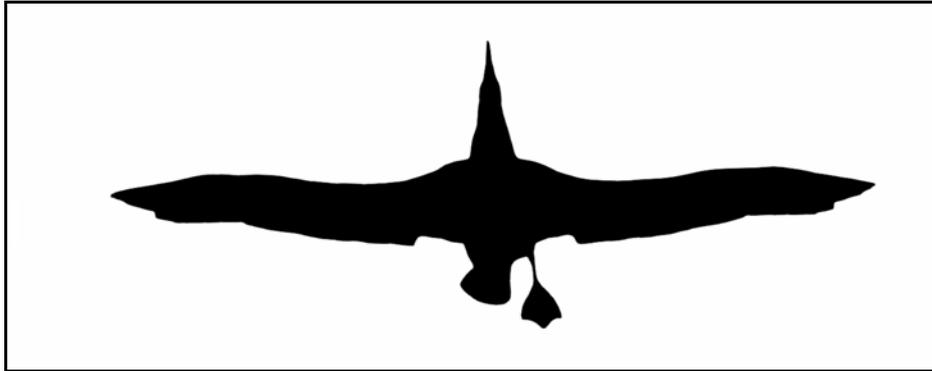


Figure 31: silhouette de l'albatros hurleur. (46)

2.1.2. La pratique du vol plané dynamique.

- Le gradient de vent. (fig. 32)

Lorsque les vents soufflent au dessus de l'eau, les couches d'air inférieures sont ralenties par la friction sur les vagues, la vitesse du vent étant fortement diminuée dans le creux des vagues. Ainsi la hauteur et la distance entre les vagues concourent à créer un gradient de vitesse du vent dont l'apogée se situe à une trentaine de mètres au dessus de l'océan. On peut mesurer une vitesse de vent égale à 8 m/s pour une altitude de 0.50 m, puis à 3.50 m au dessus des eaux, la vitesse atteint les 10 m/s. (24)

Seuls les albatros et les grands pétrels savent tirer profit de ce phénomène ; s'y ajoutent parfois les fous de bassan lors de vent très fort. (13)

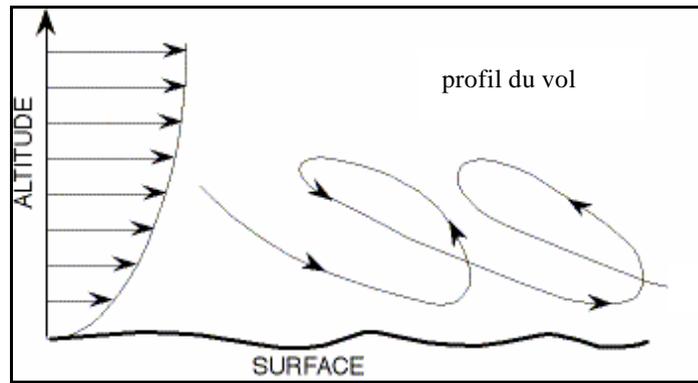


Figure 32: gradient de vent à la surface des océans. (31)

- Le louvoisement : (fig. 33)

Cette technique de vol si particulière à l'albatros, lui permet d'exploiter le gradient de vent pour planer des heures durant à un moindre coût énergétique. L'oiseau vole par vent de travers dans le creux d'une vague où l'air est plus calme. Puis, après avoir parcouru une distance non négligeable, il vire face au vent, et s'élève grâce au gradient de vent qui lui permet de garder une vitesse relative par rapport à l'air, suffisante au fur et à mesure qu'il gagne en altitude. Puis l'oiseau atteint une altitude maximale de 15 à 20 mètres qu'il ne peut dépasser sans perdre en contre partie du terrain par rapport au sol. Il vire alors à 180° et plonge par vent arrière ou vent de travers vers l'océan, ce plongeon glissé lui fait gagner de la vitesse ; au ras de l'eau entre deux vagues, il tourne brusquement pour se retrouver vent de travers, et le cycle recommence. (13) Dans un vent de 10 m/s à une altitude de 3 mètres 50, Idrac (24, 25) rapporte que cette manœuvre très régulière dure 7 à 11 secondes, et que la vitesse moyenne de l'oiseau est alors de 20 m/s.

Pennycuick (46) rapporte lui que dans un vent de 15 m/s, l'altitude gagnée par l'oiseau se situe entre 15 et 20 mètres ; dans un vent de 6 à 8 m/s, il atteint des hauteurs comprises entre 13 et 15 mètres au dessus de l'eau.

Il est intéressant de noter que la théorie de l'utilisation du gradient de vent ne fait pas tout à fait l'unanimité chez les auteurs. Ainsi, Wilson (68) pensait que les albatros utilisaient par vent de travers les ascendances orographiques présentes le long des vagues pour gagner en vitesse, puis transformaient cette énergie cinétique en énergie potentielle en se plaçant face au vent. Des études plus récentes de Pennycuick (46) montrent que dans un premier temps l'albatros extrait du gradient de vent l'énergie qui lui procure une vitesse certaine lors du plongeon glissé vers l'océan par vent arrière ou de travers. Puis, par vent

de face, il suggère que l'oiseau tire profit pour son ascension à la fois de sa vitesse acquise, mais aussi de l'énergie extraite du gradient de vent.

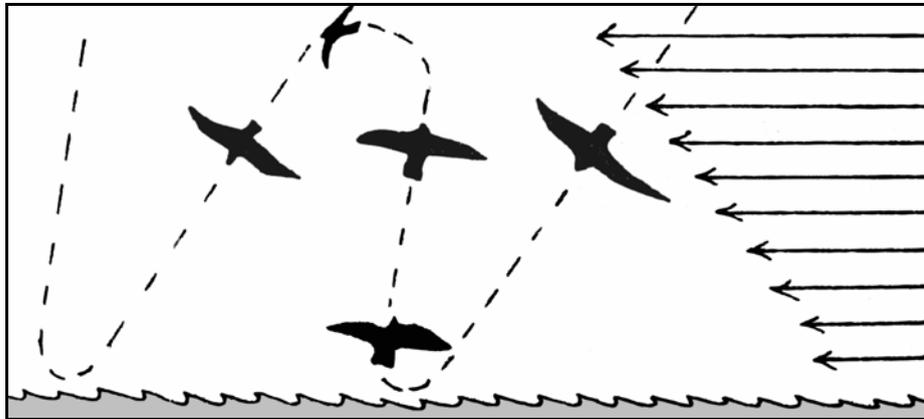


Figure 33: profil du vol de l'albatros utilisant le gradient de vent. (13)

2.1.3. La quête de nourriture au dessus des océans et son coût énergétique.

- Le vol de prospection (fig. 34)

L'albatros et le pétrel géant sont des oiseaux que l'on voit très rarement battre des ailes. Si le vent est inférieur à 3m/s (46), on peut parfois les voir alterner des périodes de vol battu et de plané glissé, mais le plus souvent ils restent posés sur l'eau. Dès que le vent monte, le vol plané commence ; Idrac (24) parle d'un vent minimum de 5m/s. Le louvoiement caractéristique commence alors. L'alternance de montées et descentes est associée à des trajets particuliers. Ainsi Idrac rapporte 4 parcours différents. Les schémas C et D montrent une descente par vent de travers ce qui permet aux oiseaux de gagner du terrain relativement rapidement par rapport au vent. Ce type de vol, pratiquement rectiligne pour D, est très utilisé pour rejoindre les zones de prospections. Idrac rapporte que de tels oiseaux ne peuvent remonter au vent si ce dernier dépasse les 16 m/s. Ils adoptent alors le vol décrit en B où la descente se fait par vent arrière. Enfin, lorsqu'ils ont atteint leur zone de recherche, les oiseaux augmentent la sinuosité de leur trajet afin de couvrir le maximum de surface (B), et lorsqu'ils trouvent une zone où les courants marins font remonter les proies, ils cerclent dans cette région (46), toujours en alternant montées et descentes (A).

L'albatros pêche souvent assis sur l'eau, et attrape des calamars moribonds en surface. Son activité de pêche est essentiellement nocturne, elle correspond aux périodes de remontée des proies vers la surface. Ces oiseaux passeraient 3 fois plus de temps en mer la nuit que le jour. (48)

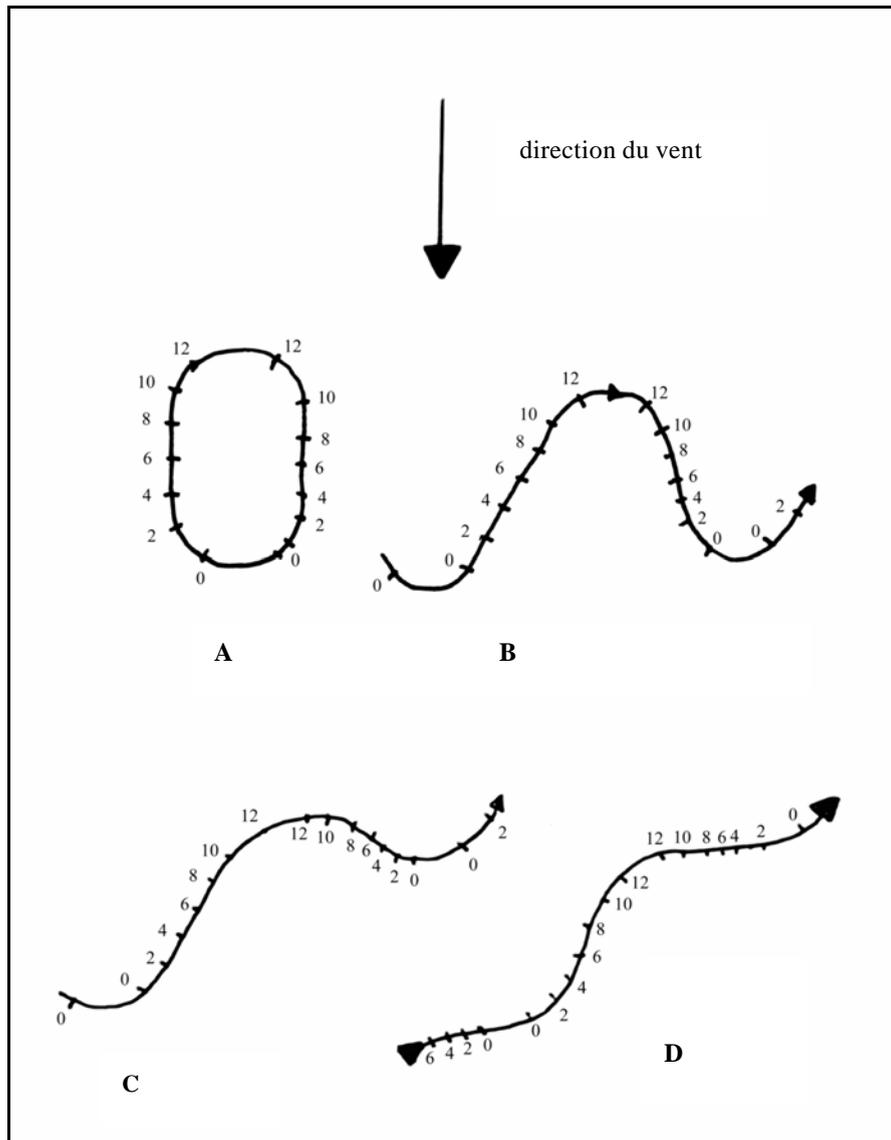


Figure 34: les différents trajets du vol de prospection de l'albatros. (altitude en mètre) (24)

- Temps consacré à la recherche de nourriture

L'albatros qui ne niche pas passe, en moyenne sur l'année, 51% de son temps assis sur l'eau, le reste du temps, il vole, et pendant seulement 4% de ce temps de vol il se trouve par vent de face. (64, 65) Ils préfèrent donc voler par vent de travers ou vent arrière. Il doit explorer le plus de surface pour augmenter ses chances de trouver ses proies, tout en dépensant le moins d'énergie possible. Ainsi, la direction et la force du vent pourraient être les facteurs déterminant de ses zones de recherche et du temps consacré.

- Performances de vol et rentabilité

Les albatros peuvent parcourir des milliers de Km en quelques semaines, à raison de 10 à 12 heures de vol par jour. En vol, ils atteignent des vitesses comprises entre 18 et 135 Km/h, et dépassent souvent les 85 Km/h. (64) Le plané dynamique est rapide et économique : Pennycuik (46) rapporte une distance parcourue de 1000 Km pour un albatros hurleur en 29 heures, pour une consommation de seulement 1% de sa masse grasseuse. (64)

L'albatros reste posé en mer lorsque le vent est trop faible ; dès que celui-ci devient suffisant, il vole. Le coût énergétique de son vol est 1.7 fois supérieur au coût métabolique d'un oiseau restant au sol sans bouger, soit une dépense de 3.4 Watt/kg. Ce rendement est très faible, et il est plus intéressant pour un tel oiseau de voler longtemps que de multiplier de petits vols où décollages et atterrissages lui sont très coûteux énergétiquement. (50) A titre comparatif, pour une perte de masse corporelle de 1%, un albatros hurleur parcourt en 29 h 978 Km, alors qu'un océanite de Wilson (*Oceanites oceanicus*), petit oiseau marin pratiquant le vol battu, parcourt en 1.64 h, 38.8 Km. (50)

En sachant tirer profit du gradient de vent présent à la surface des océans, les albatros ont su développer un vol plané particulier : le vol plané dynamique qui leur permet à moindre coût d'exprimer leur comportement pélagique inhérent à leur mode de prédation.

2.2. Utilisation de l'orographie à la surface des océans.

Le goéland argenté (*Larus argentatus*), à la différence de l'albatros, n'est pas un oiseau au comportement pélagique. Plus sédentaire, sa quête de nourriture se fait essentiellement à proximité des côtes, par un vol alternant plané et battement d'ailes.

Leur faible charge alaire leur offre un plané d'une assez bonne qualité, tout en permettant une alternance avec le vol battu.

2.2.1. Plané orographique. (fig. 35). (71)

Le goéland hurleur plane en tirant profit des ascendances orographiques sur terre et sur mer, grâce au vent marin.

- Principe

Le vent rencontrant un obstacle est dévié vers le haut, le sommet de la crête exposée au vent correspond à la zone aérodynamique de portance maximale. En arrière de l'obstacle, une zone de turbulences se crée, la portance y est moindre.

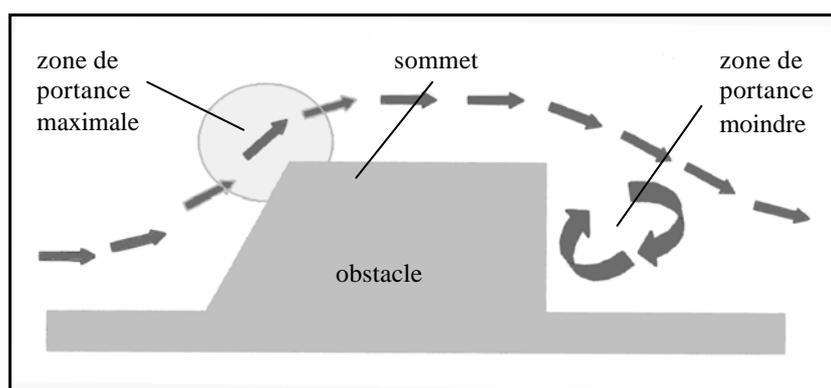


Figure 35: principe du plané orographique. (71)

Tant que la portance du courant est égale ou supérieure à la vitesse de descente de l'oiseau, ce dernier ne perd pas, ou gagne de l'altitude, sans battre des ailes, et donc à un coût énergétique moindre.

- Sur le terrain, les goélands utilisent les courants formés au-dessus de digues, de dunes, mais aussi de bateaux et de grosses vagues.

En outre, ils utilisent à merveille les courants formés au contact des falaises. Par vent de mer, ces portances peuvent leur permettre de s'élever à des altitudes atteignant les 200 m, sans effort. Par vent de terre, des turbulences après le passage de la falaise sont exploitées à des fins similaires. (fig. 36). (20)

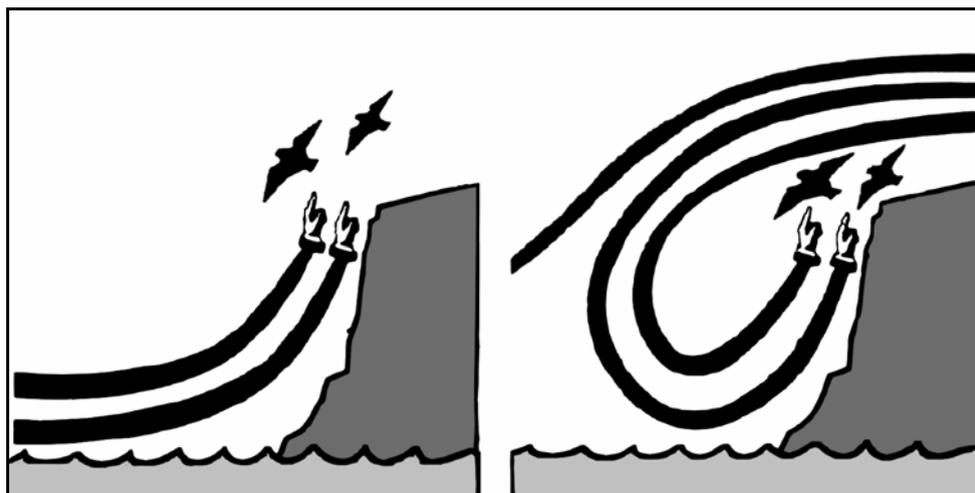


Figure 36: utilisation des courants au bord des falaises, par vent de mer ou par vent de terre. (20)

2.2.2. Autres courants porteurs. (4)

Si il est certain que les goélands savent utiliser les thermiques qui se créent au dessus des terres (71), il est coutumier de penser que de tels courants ne puissent pas exister au dessus des océans du fait de la trop faible différence de température entre mer et air.

A ce titre, une étude relativement ancienne de Woodcock, (d'après Storer (51)) mais intéressante, mérite d'être relevée. Des observations sur le vol du goéland argenté lui firent envisager l'existence de courants autres à la surface des océans, utilisables pour le vol plané.

- Durant la journée d'été, lorsque la température de l'air est supérieure à celle de l'eau, aucun goéland n'est vu en plané ascensionnel, si ce n'est au dessus d'un bateau (orographie). Puis à la tombée du jour, dès que la température de l'air tombe de 2° sous celle de l'eau, avec un vent d'au moins 0.5 m/s, des goélands sont observés, planant en cercle.

- Ensuite, si la différence de température s'accroît encore, et que le vent forçit, les oiseaux sont alors capables de planer en ligne droite, sans battre des ailes.

- Enfin, si le vent devient trop fort (plus de 44 Km/h), alors le plané s'arrête.

Des expériences basées sur l'observation du déplacement de fumées générées par des fumigènes au dessus des océans, donne une éventuelle explication aux yeux de Woodcock.

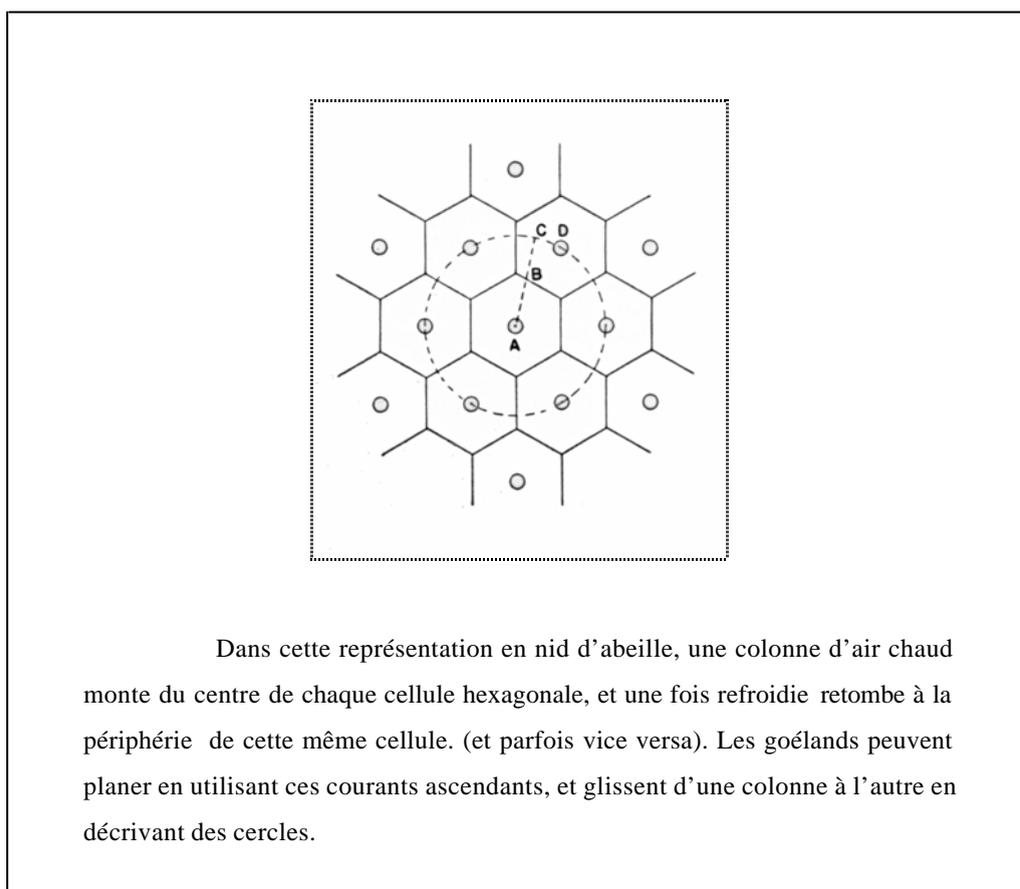


Figure 37 : hypothèse d'ascendances thermiques au dessus des océans. (51)

- Sous certaines conditions climatiques de température et de vent, des mouvements d'air entre la mer et le ciel sont observables. Des colonnes d'air voisines s'élèvent à l'intérieur de cellules hexagonales, disposées en un nid d'abeille. (fig. 37). A l'intérieur de chaque colonne, l'air s'élève au centre, et redescend en périphérie (la situation inverse est observée dans d'autres cas.)

- Lorsque s'y ajoute l'effet du vent, les courants porteurs de ces cellules sont déportés dans le sens du vent, créant de véritables routes porteuses en ligne droite au dessus des eaux. (fig. 38).

- Si le vent devient trop violent, les masses d'air sont déplacées et les « routes » disparaissent.

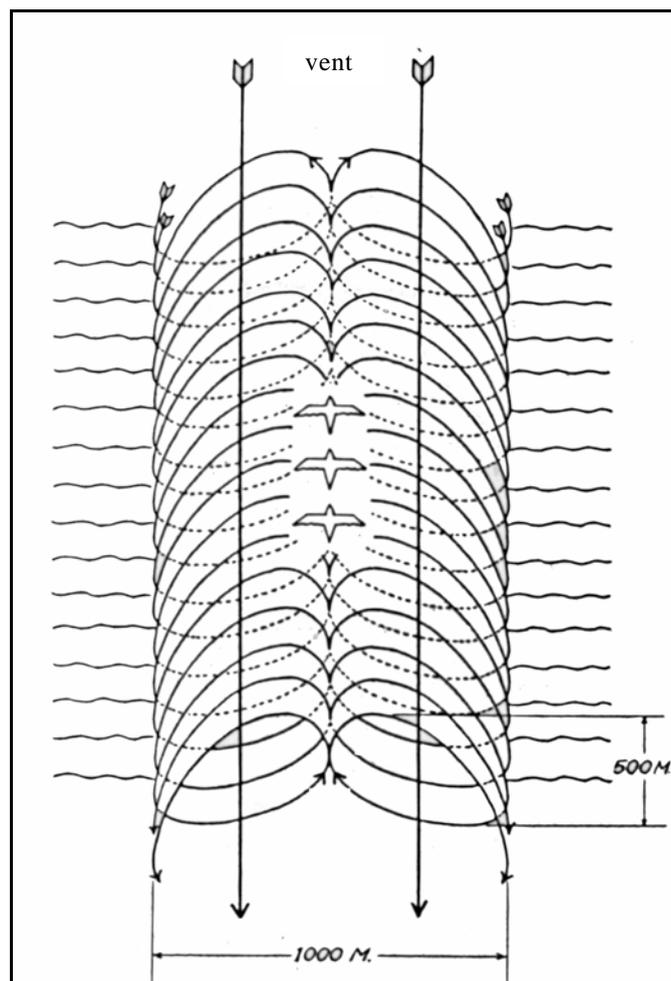


Figure 38 : hypothèse de routes porteuses permettant le vol plané. (51)

Chez les oiseaux étudiés jusqu'à présent, le vol permettait de couvrir un territoire suffisant pour assurer l'éventuel repérage des proies. Nous allons maintenant considérer des modes de prédation où le vol reste l'élément incontournable de localisation des proies, mais ce vol est figé, l'oiseau est fixé dans les airs.

3. Le vol stationnaire.

Chez les oiseaux pratiquant un vol stationnaire prolongé, deux techniques prédominent : certains tirent profit du vent pour planer, tandis que d'autres pratiquent un vol battu vigoureux.

3.1. Vol stationnaire associé au vol plané.

Deux oiseaux vont retenir notre attention. Le pétrel tempête qui semble figé juste au dessus de la surface des océans, puis le faucon crécerelle qui lui paraît suspendu dans le ciel à 20 mètres de hauteur.

- La technique de l'ancre flottante. (fig. 39). (53)

Le pétrel tempête (*Hydrobates pelagicus*) est un petit oiseau de mer, souvent observé marchant juste en surface des eaux avant que la tempête n'arrive, d'où son nom. En réalité, il plane alors face au vent, tout en recherchant sa nourriture en surface.

Si le but de ce vol spécialisé est de minimiser le coût énergétique de la recherche de nourriture, il faut que cette technique de vol soit stable, afin que l'oiseau ne dépense justement pas trop d'énergie pour maintenir l'équilibre.

Il existe, du fait de l'interaction entre plusieurs forces, un point d'équilibre, comme le montre la figure 39 : l'oiseau face au vent, les ailes étendues et ouvertes vers le vent, avec les pieds dans l'eau agissant comme des ancres, subit la force du vent U , qui le fait dériver à une vitesse V à la mer ; la résistance hydrodynamique R due au fait de l'écoulement de l'eau autour des pieds contrebalance l'effet de traînée du vent sur l'oiseau D ; de même la portance L contrebalance le poids de l'oiseau W .

Enfin le vol est équilibré et donc relativement peu coûteux en énergie. Le pétrel tempête a développé un vol lui permettant de planer en l'absence de courants ascendants.

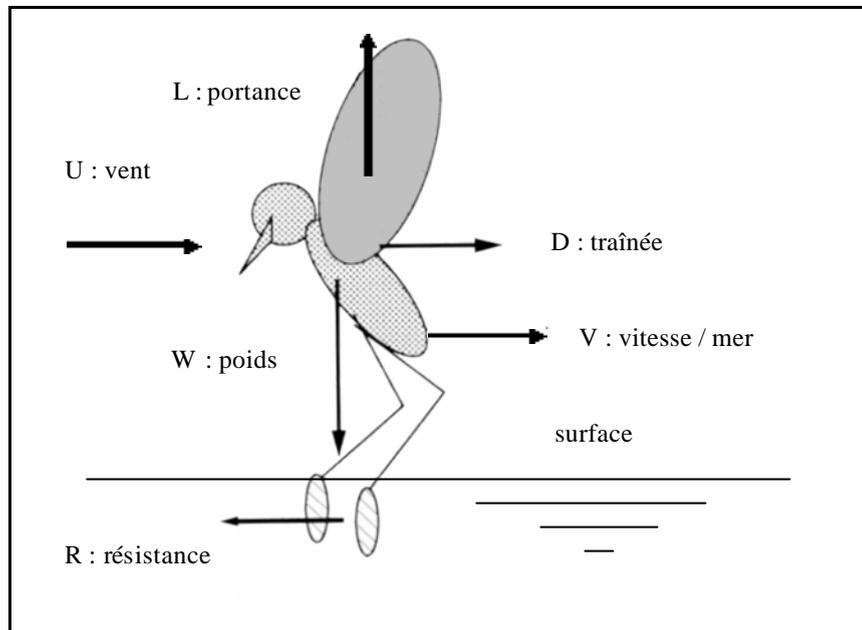


Figure 39: principe de l'ancrage flottant, position d'équilibre. (53)

Sugimoto (53) rapporte que le pétrel tempête peut planer de la sorte dès 18 Km/h de vent, pour un déplacement par rapport à l'eau de 0.256 m/s.

De grands oiseaux tels que les albatros, pourraient voler de la sorte uniquement par grands vents (du fait de leur poids). Mais alors, la mer serait trop agitée, et la stratégie de l'ancrage flottant deviendrait irréalisable.

- Le faucon crécerelle suspendu dans le ciel. (fig. 40). (1, 18, 61)

Petit rapace pesant 125 à 136 g pour une hauteur proche de 38 cm et une envergure avoisinant les 80 cm, ce dernier sait rester « accroché » dans le ciel, sans battre des ailes. Il fait alors face au vent, les ailes immobiles ou à peine frémissantes, le corps horizontal et la queue plus ou moins serrée, la tête penchée vers le sol, il inspecte minutieusement l'ensemble de son territoire de chasse. Ailes bien étendues, alules parfois ouvertes afin de

réduire encore plus le risque de décrochage causé par les turbulences, le faucon sépare en outre ses primaires afin de tirer profit des interstices créés qui une fois encore dirigent l'air et dissipent les turbulences sur l'extrados des ailes. En ajustant avec soin ses divers mécanismes de contrôle, le faucon crécerelle fait correspondre exactement sa progression à la vitesse du vent, il peut ainsi demeurer comme suspendu au dessus du secteur qu'il fouille.

Une étude de Videler nous apprend que des faucons crécerelle tirent profit du vent dévié par une digue. Sous un vent relatif d'angle i , la **somme des composantes** de la portance (portance = L perpendiculaire au vent relatif) et de la traînée (traînée = T parallèle au vent relatif), contrecarrent exactement l'action verticale du poids W . L'oiseau est en équilibre. Le faucon crécerelle se poste à une hauteur de 6.5 m au dessus de la digue, sous un vent de vitesse proche de 8.5 m/s. L'angle minimum i de déviation étant de 5° .

Ce mode de chasse fait économiser à l'oiseau le tiers de sa dépense énergétique en comparaison de la technique de vol stationnaire active, où, en battant des ailes, il multiplie les points de contrôle fixes dans les airs. Ce type de chasse lui permet de capturer 4.5 campagnols / heure de vol.

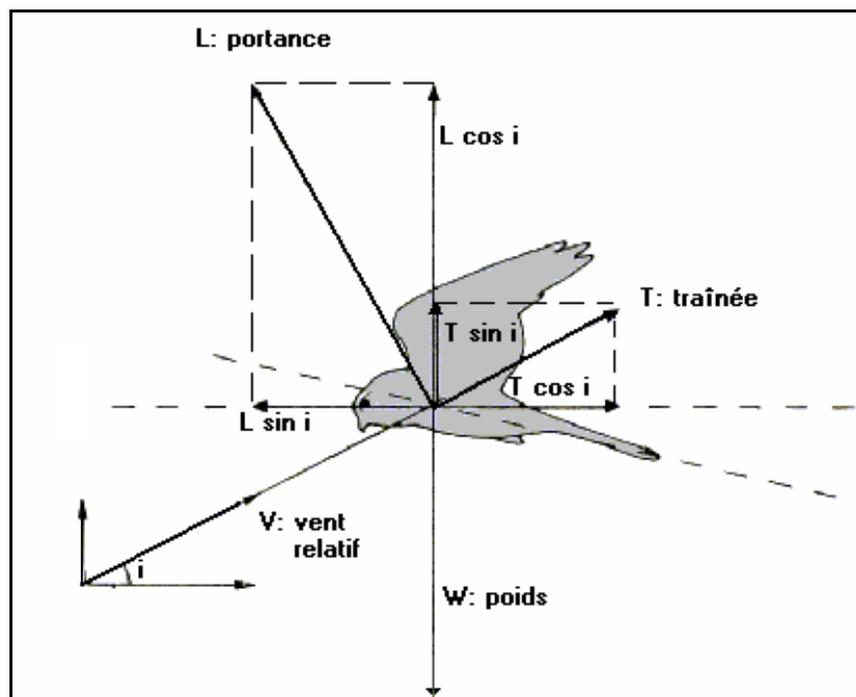


Figure 40: crécerelle suspendue dans le ciel. (61)

Si le plané permet de voler sur place, il en est de même pour le vol battu qui offre là encore au faucon crécerelle un recours lors de vent faible.

3.2. Vol stationnaire associé au vol battu. (1, 18, 61)

Le faucon crécerelle par vent faible, pratique un vol stationnaire battu. A 10 – 30 mètres de hauteur, le faucon bat des ailes sans avancer. L'axe de son corps est alors proche de la verticale, la queue abaissée et étalée accentuant l'abaissement du centre de gravité et la stabilisation. L'oiseau procède par arrêts successifs distants de quelques centaines de mètres. Il inspecte avec minutie son territoire, couvrant une large zone à partir d'un nombre limité de points de surveillance.

Le coût énergétique de ce type de vol est élevé, mais le rendement l'est aussi : 6.5 campagnols prélevés à l'heure.

Avec ce type de vol stationnaire, l'oiseau passe 1.6 fois moins de temps pour capturer un même nombre de proies, qu'en utilisant le vol stationnaire décrit précédemment. Cependant le surcoût énergétique augmente de plus du tiers, au final il est donc moins rentable.

L'étude de ces premières espèces montre l'incroyable diversité des solutions que peut proposer la nature, afin de répondre au besoin vital qu'est la quête de nourriture.

Si l'oiseau doit planer longtemps et vite, l'aile longue et étroite de l'albatros est idéale ; si par contre, le vol plané doit être plus lent, associé à une manoeuvrabilité plus fine, alors l'aile large, émarginée et plus courte du vautour offre une réponse plus adaptée. L'aile moins spécialisée mais plus polyvalente du goéland lui permet d'exploiter au mieux les milieux côtiers ; le pétrel tempête, lui, a su développer un vol correspondant à des conditions climatiques très particulières : juste avant une tempête. Enfin le faucon crécerelle se spécialise au point d'être capable de voler sur place par vent pratiquement nul.

Cette diversité d'adaptations développées pour repérer les proies, connaît un écho chez les oiseaux qui eux, pourchassent leurs proies. Nous allons maintenant en découvrir quelques uns.

3^{ème} Partie : Le vol, élément essentiel à la capture des proies.

Si chez les oiseaux précédemment étudiés, le vol jouait essentiellement un rôle dans le repérage, nous allons maintenant nous attacher à une autre catégorie de prédateurs, ceux chez qui le vol a un rôle plus direct dans la capture : le chasseur pourchasse sa proie, ou fond sur sa victime... Le vol devient alors l'élément primordial de la capture des proies.

1. La poursuite à faible altitude.

1.1. La pratique du vol battu. (13, 16)

Le vol battu, ou ramé, intervient à défaut de sustentation ou bien en alternance avec le vol plané.

Au cours du battement, la géométrie et le profil de l'aile changent sans cesse. Durant le cycle complet, « l'aileron » formé par les rémiges primaires bouge davantage et plus rapidement que toute autre partie de l'aile. Grâce à leur vitesse élevée dans l'air, les rémiges primaires fournissent donc l'essentiel de la portance et de la propulsion. Ces plumes étant flexibles, le degré et la direction de leur courbure donnent une idée valable de la direction et de l'amplitude des forces aérodynamiques mises en jeu.. (fig. 41).

- Le coup d'aile vers le bas :
 - La partie proximale de l'aile

L'avant bras et le bras qui portent les rémiges secondaires et tertiaires, constituent la partie la plus épaisse de l'aile, qui décrit alors un mouvement vertical générant une part non négligeable de la portance. Lors de la contraction du muscle grand pectoral, l'aile, pleinement déployée, s'abaisse, poussant l'air vers le bas, d'où une réaction de bas en haut sur l'oiseau. Parallèlement, une portance accrue est suscitée par les propriétés naturelles de la surface portante de l'aile. (cf. partie I, 1.4.)

- L'apex de l'aile

Les mouvements de la partie distale de l'aile, à savoir la main qui porte les rémiges primaires, sont plus amples et plus complexes. Pendant le mouvement descendant, le gauchissement du carpe (supination) provoque le déplacement de la main vers l'avant comme vers le bas, et les rémiges primaires se chevauchent les unes les autres, formant une surface imperméable à l'air : l'aile rencontre donc le maximum de résistance. La lame externe des rémiges qui correspond à leur bord d'attaque, est toujours plus étroite que la lame interne, et donc plus rigide. (fig. 42). En conséquence, la pression de l'air résultant du mouvement de l'aile courbe le bord de fuite plus aisément ; ainsi chaque plume prend les caractéristiques d'un véritable plan porteur. Sous l'effet du gauchissement de l'aile et de la torsion des plumes, l'air est chassé vers l'arrière et l'oiseau propulsé en avant.

Le coup d'aile vers le bas est responsable à la fois de la portance et de la propulsion. La descente dure les deux tiers du temps d'un battement complet.

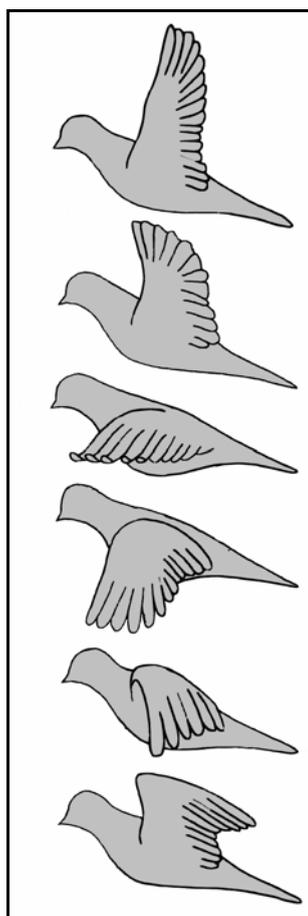


Figure 41: les séquences du vol battu. (13)

- Le coup d'aile vers le haut

La plus grande partie de la phase ascendante (hormis au décollage ou à l'atterrissage) est passive, n'exigeant que peu d'effort de la part des muscles petits pectoraux. Alors que l'aile se soulève, elle pivote autour de l'épaule afin d'accroître l'angle d'attaque. En même temps, l'extrémité distale est partiellement repliée et les rémiges primaires s'ouvrent, permettant à l'air de s'infiltrer entre les espaces. Ainsi l'oiseau offre le minimum de résistance à l'air.

Les battements prolongés exigent des ailes courtes et arrondies (famille des *accipitridés*) ou relativement plus longues et étroites (famille des *falconiformes*) pour ne pas être trop éprouvants.

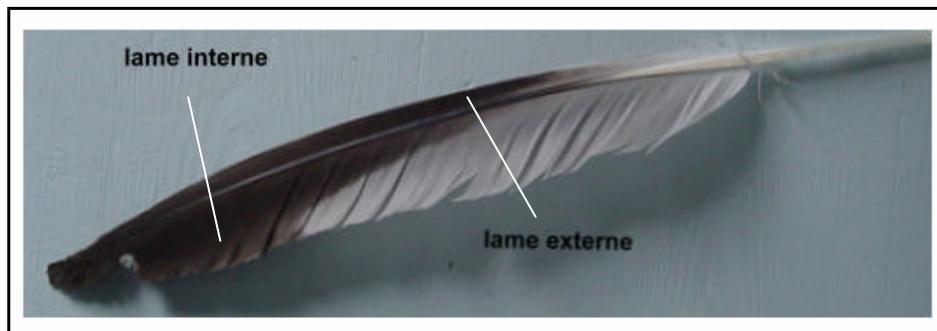


Figure 42: rémige primaire de goéland. (89)

1.2. La chasse de l'épervier et de l'autour. (10, 18)

1.2.1. Caractéristiques. (figs. 43 et 44)

L'épervier et l'autour sont des prédateurs redoutés des régions boisées. Ils évoluent avec une étonnante combinaison de rapidité et d'agilité dans les terrains accidentés ; au milieu des arbres et des buissons, ils surgissent brusquement sur leur proie par surprise.

L'épervier d'Europe (*Accipiter nisus*), mesure 31 à 38 cm de haut, pèse en moyenne 100 g pour le mâle et 250 g pour la femelle, et présente une envergure proche de 70 cm. Sa charge alaire est inférieure à celle de l'autour.

L'autour des palombes (*Accipiter gentilis*), plus gros, présentant une charge alaire de 55 N/m² (3), mesure 49 à 61 cm de haut, pour un poids de 700 à 1200 g, avec une envergure de 100 à 120 cm.

Ces deux oiseaux, différents par la taille, se ressemblent beaucoup aussi bien de par leur habitat, leur morphologie, ou leur couleur de plumage, que par leur technique de chasse.

Les ailes courtes et larges, aux extrémités arrondies autorisent un rythme de battement très rapide et une amplitude moyenne. S’y ajoute une queue au bout carré lorsqu’elle est fermée, ou arrondi quand elle s’étale, parfait gouvernail pour éviter les multiples obstacles présents sur leur terrain de chasse. L’autour porte une queue un peu plus courte, et les battements d’ailes sont un peu moins pressés : à peu près 4 par seconde contre 5 chez l’épervier, qui présente lui un vol plus léger. L’autour peut en outre soutenir un plané plus long que l’épervier, 500 m tout au plus.

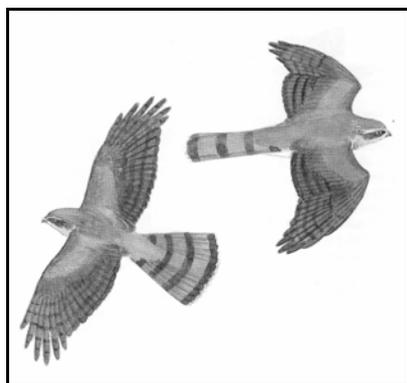


Figure 43: épervier d'Europe. (17)

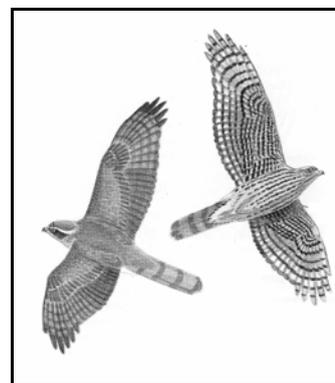


Figure 44 : autour des palombes. (17)

1.2.2. Techniques de chasse et succès. (10, 16, 18, 49)

Ces rapaces chassent généralement en effectuant des raids courts à partir de leur perchoir, ou des vols de poursuite agressifs, rapides et agiles. Ces oiseaux comptent sur l’effet de surprise, sur leur adresse et leur vitesse. Ils volent rarement à grande hauteur, s’attaquant aux oiseaux en vol, mais aussi à des animaux perchés ou au sol. Chassant souvent à l’affût, ils ne frappent que près du sol, ce sont des oiseaux de « bas vol ».

L’autour est plus enclin à l’embuscade. Immobile, perché de préférence à couvert, il repère sa proie grâce à la vue et l’ouïe, comme probablement beaucoup de rapaces forestiers. Il s’élance, descend à un ou deux mètres de hauteur ; avec de brefs battements d’ailes sur une courte distance, rarement plus de 500 m, il pratique un vol souple et

louvoyant autour des buissons et des arbres pour fondre sur sa proie ou rejoindre un autre affût. Son approche cachée et indirecte, lui permet de surprendre sa victime. (fig. 45).

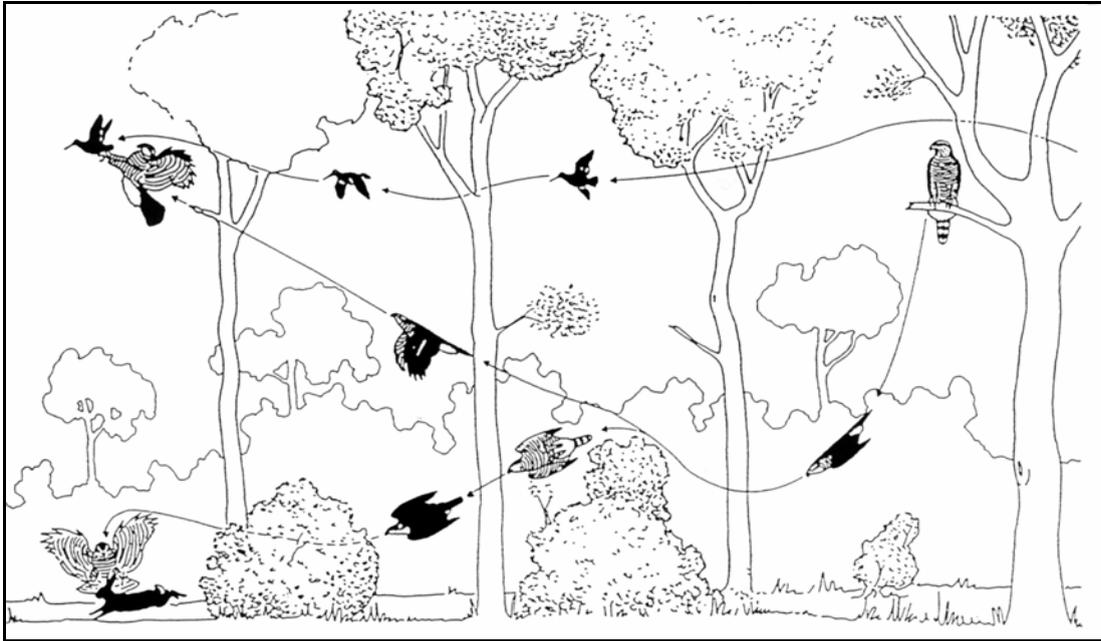


Figure 45: chasse de l'autour placé en embuscade. (27)

Une autre tactique couramment employée par l'épervier consiste à partir en quête d'une proie pour jaillir brusquement d'entre les arbres en se servant de la protection qu'offre la végétation. Le couvert végétal permet une approche dérobée de la proie. La victime est parfois arrachée au sol mais la grande majorité des captures se font en plein vol. L'oiseau se tourne fréquemment sur le côté, voire même ventre en l'air, quand il s'agit de frapper une proie volant en zigzag.

En campagne, il parcourt les lisières des bois en longeant les buissons, les arbres et autres écrans naturels. Il traverse les futaies, se faufile dans les sous bois et débouche soudain dans des clairières pour prendre ses proies au dépourvu. L'épervier atteint souvent des vitesses de l'ordre de 40 Km/h. (fig. 46).

En terrain plus dégagé, il vole en cercle à quelques 30 m au dessus du sol, puis se lance dans un raid rasant, ou bien se précipite dans un arbre au moment où des volatiles reviennent à leur dortoir. Les rangées d'arbres constituent pour cette raison, un des terrains de chasse de prédilection pour l'épervier. Lorsqu'il est particulièrement affamé, il peut

aussi chasser en poursuivant la proie pénétrant même dans les maisons et les poulaillers lorsqu'un moineau s'y réfugie.

L'attaque en piqué depuis des altitudes plus conséquentes est parfois observée, en particulier lors des attaques des pigeons sauvages (*Columbia livia*) par l'autour.

Bien que très adroits, ces oiseaux ne font pas mouche à tous les coups. Certains auteurs parlent d'un taux de réussite avoisinant les 13% pour l'épervier d'europe. (49)

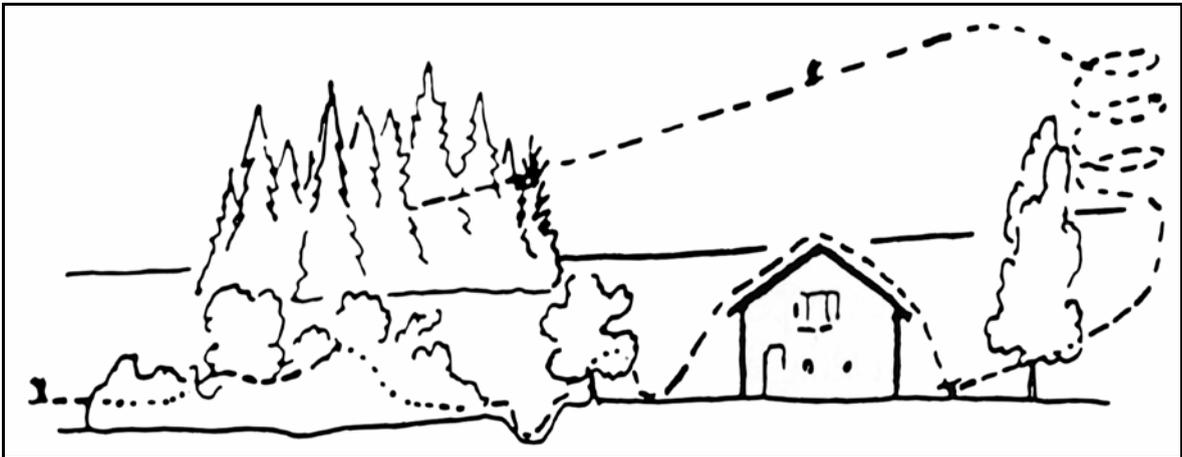


Figure 46: chasse de l'épervier en quête d'une proie. (18)

Ces deux oiseaux ont tout misé sur la surprise et la poursuite des proies, tactique permise par la pratique d'un vol battu rapide, puissant et agile. Le faucon pèlerin utilise lui aussi la surprise, mais adopte en lieu et place du vol de poursuite, un vol en piqué : il fonce littéralement sur sa proie.

2. La capture en piqué.

Le mode de chasse à grande vitesse du faucon pèlerin requiert dans un premier temps des qualités physiques et morphologies particulières. Par la suite, nous verrons que la trajectoire du piqué doit concorder avec les exigences visuelles de l'oiseau. Enfin, nous déroulerons les différents temps de l'attaque.

2.1. Descriptif et équipement de vol du faucon pèlerin.

2.1.1. Particularités physiques.

- Morphologie

Le faucon pèlerin pour un poids compris entre 580 et 1000 grammes, présente une charge alaire de 60 à 70 N/m², significativement supérieure à celle d'autres rapaces. La buse atteint elle les 45 N/m². (3) Pourtant, il plane aussi bien voire mieux, et plus rapidement que ses voisins. Cela est dû à son allongement élevé, du fait de la forme particulière de son aile. L'allongement de 8 du faucon pèlerin contre 5 chez la buse, dénote de la plus grande efficacité de son aile pour le vol plané. En outre, cette qualité est accentuée par la brièveté de sa queue.

Ainsi le faucon pèlerin affiche une vitesse de déplacement et une stabilité de trajectoire inégalées pour un oiseau de cette masse, ce qui lui permet d'attaquer des oiseaux pourtant plus rapides que lui en vol horizontal.

En contre partie, cette forme d'aile lui impose un rayon de virage plus large, tout zigzag est exclu, le mode de chasse en est alors conditionné.

La vitesse de vol du faucon a toujours suscité beaucoup d'intérêt. La vitesse réelle en piqué est d'ailleurs sujette à controverse.

En vitesse de déplacement, correspondant à une alternance entre vol plané et vol battu, le faucon atteint les 50 à 60 Km/h.

En vol battu et poursuite horizontale, la vitesse monte à 70 - 80 Km/h.

En piqué oblique les 200 Km/h semblent être atteints. Genet (16) parle même de 250 Km/h. Ce piqué pendant la chasse ne permet pas au faucon d'atteindre sa vitesse maximale, car il doit toujours corriger et adapter sa trajectoire à la situation.

En vol nuptial, par contre, des piquets brefs verticaux et sans aucun contrôle lui permettent d'approcher les 420 Km/h. (16)

Tucker (57) réalisa des mesures en soufflerie sur un « faucon idéal », afin d'établir des données concernant la vitesse de plongeon. En plongeon vertical, son modèle atteignait la vitesse de 403 Km/h. Sous un angle d'attaque de 15°, il lui faut 38 secondes avec une perte d'altitude de 322 mètres avant d'atteindre 95% de sa vitesse maximale ; avec un angle de 90°, seulement 16 secondes suffisent, pour une perte d'altitude de 1140 mètres. La distance parcourue étant toujours proche des 1200 mètres.

Ces vitesses extraordinaires pour un être vivant, sont permises par une charge alaire et une masse élevée, associées à un corps massif et fuselé, recouvert d'un plumage serré, compact, hermétique, et relativement rigide.

- Le plumage (fig. 47).

Caractéristique du genre *falco*, le faucon pèlerin présente 10 rémiges primaires, 12 rémiges secondaires et 12 rectrices plus larges vers leur extrémité.

La première primaire plus courte que la seconde est la seule à présenter une émargination. Cette émargination prononcée sur le bord postérieur agit sur le vol comme une petite aile supplémentaire. Elle réduit la vitesse de l'oiseau, mais augmente sa portance.

Le faucon pèlerin, oiseau plutôt lourd, compense aussi son apparent handicap au vol plané par la plus grande finesse de son aile. Ainsi, en comparaison à un oiseau de même poids tel qu'une buse, le faucon pèlerin a un plané aussi bon, bien que sa vitesse soit plus élevée.

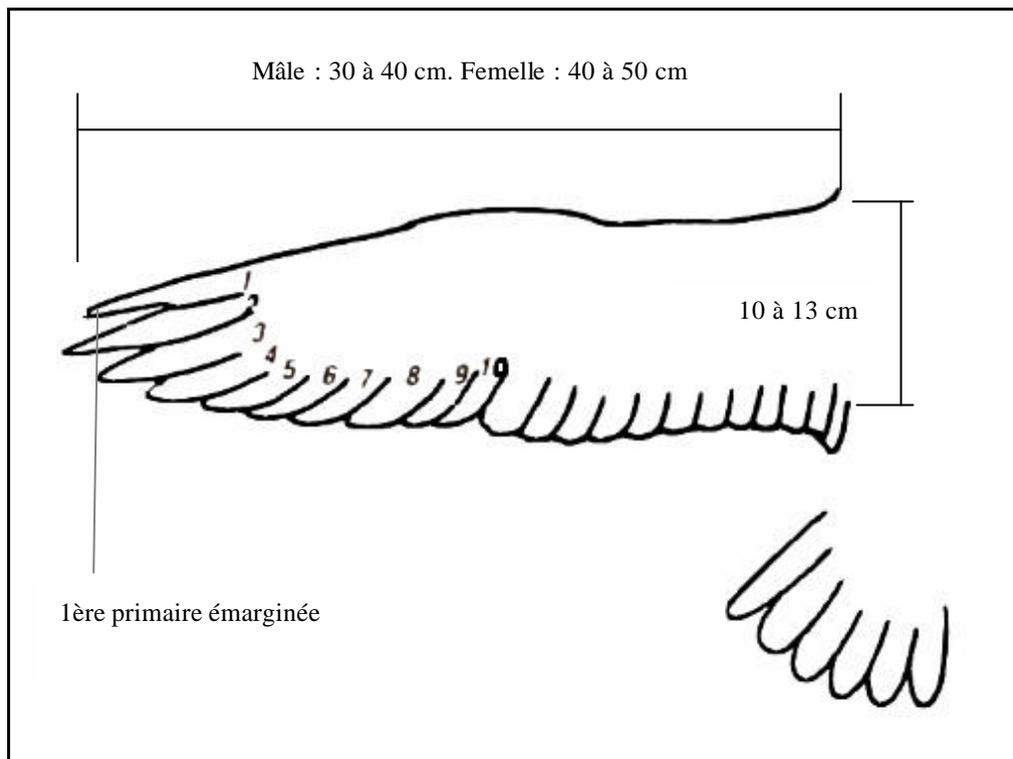


Figure 47: plumage du faucon pèlerin. (33)

2.1.2. Particularités adaptatives.

Le faucon pèlerin chasse en piqué, et de ce fait subit des contraintes particulières du fait de la vitesse élevée. (fig. 48).

- Le frelon est une excroissance osseuse présente au centre des narines. Pendant le piqué à haute vitesse, cette excroissance entretient une turbulence évitant à l'air de s'engouffrer dans les poumons, et permet donc à l'oiseau de respirer.

- La vue est primordiale pour ce chasseur des hautes altitudes.

Ses yeux ne sont mobiles que dans le plan horizontal, faiblesse compensée par une mobilité du cou de 180°. Sa rétine dispose de deux fovéas, l'une affectée à la vision latérale, l'autre à la vision binoculaire. L'acuité du faucon pèlerin est 7 à 8 fois supérieure à celle de l'homme. Il voit un petit passereau à une distance de 3 à 4 Km. (33).

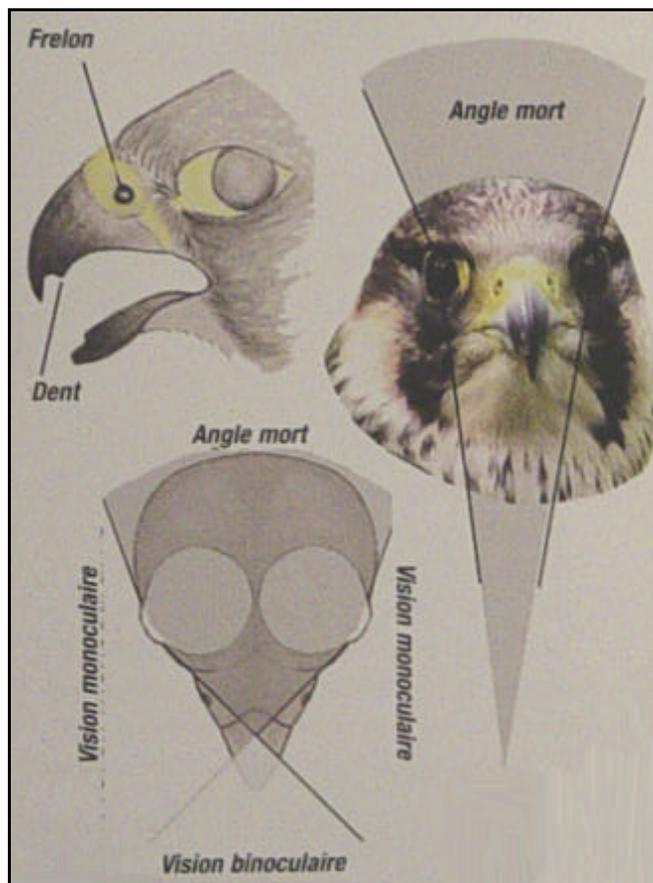


Figure 48: frelon et vision du faucon pèlerin. (33)

2.2. L'oiseau dans les airs. (fig. 49)

Perché sur un rocher, le faucon pèlerin offre une impression de robustesse et de puissance, alliant un aérodynamisme parfait. Les épaules larges et arrondies, supportent une tête relativement grosse, portée par un coup bref. Ses ailes longues et effilées en forme de faux, se terminent vers l'extrémité de la queue, relativement courte et large à la base. Sa voilure le rend assez indépendant des courants aériens, dont il tire profit parfaitement.

Selon le type de vol sa silhouette varie

- En vol battu, ses ailes larges sont tenues près du corps, les extrémités sont pointues, et elles sont cassées vers l'arrière du poignet. Les battements sont rapides et nerveux. Le faucon a alors l'allure d'une grande hirondelle à queue courte.

Aucun oiseau n'avance aussi vite, avec des mouvements d'ailes aussi limités.

- En vol plané, la queue déployée prend la forme d'un éventail arrondi. Les ailes sont étendues avec toujours une légère angulation sur le bord d'attaque au niveau du poignet. L'extrémité des ailes est à présent arrondie, le bord de fuite étant pratiquement rectiligne. L'aile est presque identique à une lame allongée favorable au vol plané.

- En glissade rapide, la queue est tenue serrée, plus étroite à l'extrémité qu'à la base, elle prolonge parfaitement le profil aérodynamique du corps. Les ailes sont alors plus ou moins coudées vers l'arrière, larges à leur base, les extrémités pointées vers l'arrière. Cette allure anguleuse est caractéristique des chasseurs de haut vol.

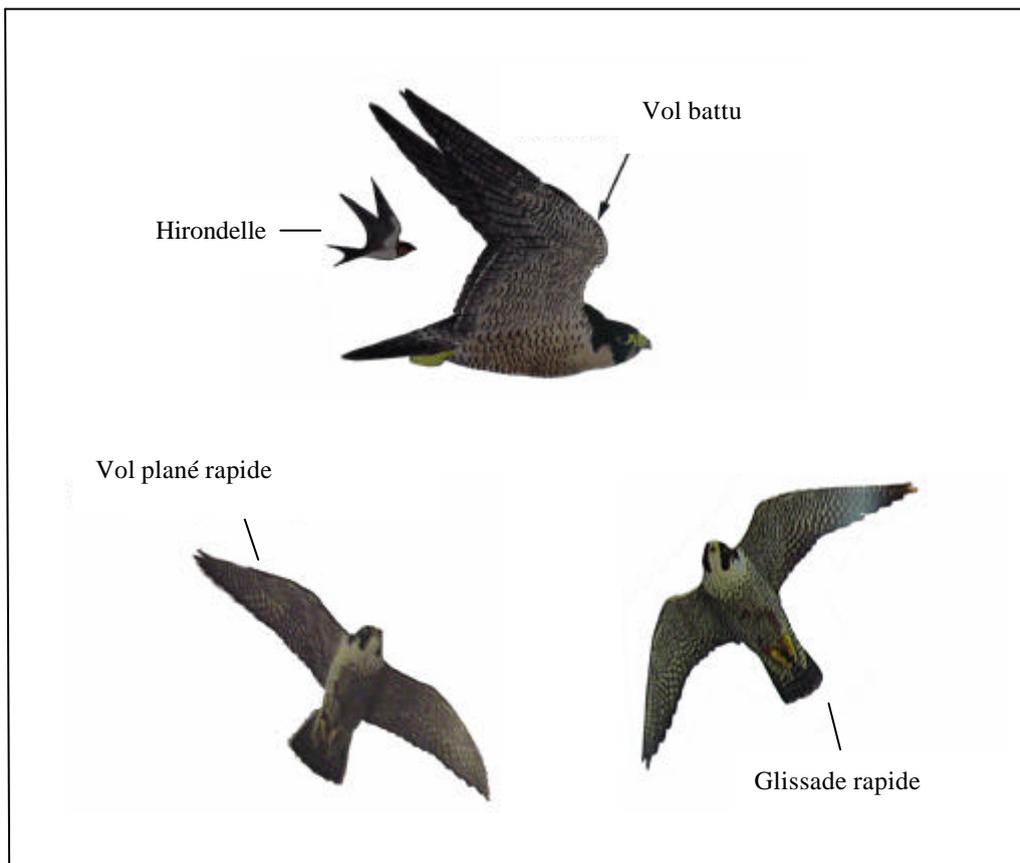


Figure 49: faucon pèlerin en vol. (33)

2.3. Un chasseur de haut vol

2.3.1. L'oiseau face à un paradoxe.

Tucker (58, 59, 60) a beaucoup étudié le plongeon en piqué du faucon pèlerin. Il a alors mis en évidence un apparent paradoxe montrant que les rapaces afin de voir parfaitement leur proie doivent aligner leur vue selon une ligne où leur acuité visuelle est maximale, ligne correspondant à la fovéa de vision latérale présentant un angle de 40° avec l'axe de la tête. Hors, jamais un faucon n'a été vu en piqué avec la tête tournée vers sa proie !!

Tucker a réalisé des mesures en soufflerie, révélant que pour une vitesse proche de 43 Km/h, la traînée d'un faucon tournant la tête selon un angle de 40° vers la droite, augmentait de 50% par rapport au même faucon avec la tête droite. Ce résultat tend à montrer l'impossibilité pour un oiseau de piquer à des vitesses encore plus grande, avec la tête tournée.

Tucker pose clairement le problème suivant : comment le faucon pèlerin gère-t'il le conflit imposé par son mode de chasse, à savoir :

- approcher des proies dans un plongeon à longue distance
- réduire au maximum la traînée au cours de ce plongeon en assurant une bonne symétrie du corps.
- tenir sa proie dans la ligne de vue d'acuité maximale, dirigée selon un angle approximatif de 40° de part et d'autre de l'axe de la tête.

D'autres mesures révèlent qu'à faible vitesse, la traînée augmente peu si l'oiseau tourne la tête, ce qui est observé dans la nature, lorsque les faucons planent lentement. Par contre en plongeon, il perdrait beaucoup trop de vitesse et le contrôle de la trajectoire deviendrait beaucoup plus difficile.

Comme nous l'avons déjà vu, l'œil de l'oiseau présente deux fovéas, zones où l'acuité visuelle est meilleure. Une fovéa est dévolue à la vision binoculaire, l'autre à la vision monoculaire latérale. L'anatomie suggère que l'acuité visuelle maximale correspond à la fovéa latérale, dont l'angle par rapport à l'axe de l'œil avoisine les 45° .

L'observation de faucons dans la nature confirme ces caractéristiques, en effet, lorsqu'ils regardent un objet, la tête passe par trois positions différentes : soit face à l'objet, dans l'axe de la tête, soit de côté, par la droite ou la gauche, avec un axe de 40°. Les yeux bougent peu dans les orbites. Ces mouvements de tête permettent de créer vraisemblablement une image de l'objet se projetant sur les deux fovéas. Chez le faucon, ces mouvements ont lieu toutes les deux secondes lorsqu'il observe une proie. (58, 59, 60)

La proportion de temps pendant laquelle un objet est regardé de face ou de côté dépend de la distance de cet objet par rapport à l'oiseau. A moins de 8 mètres de distance, l'oiseau regarde plutôt de face, à plus de 21 mètres il utilise plutôt la vision latérale. Sur une proie basée à plus de 40 mètres, au moins 80 % du temps d'observation est dévolue à la vision latérale.

Les faucons pèlerins entament leur plongeon de très loin, leur vision latérale est la plus sollicitée durant le déroulement d'une attaque.

Le faucon pèlerin résout en fait cet apparent conflit en tenant sa tête droite, et en suivant au cours du plongeon une trajectoire oblique similaire à une droite logarithmique, ce qui lui permet de conserver la proie dans sa ligne de vision d'acuité maximale.

Tucker décrit la courbe idéale au cours du plongeon : (fig. 50).

- D'abord oblique avec la tête droite et privilégiant la vision monoculaire latérale.
- Ensuite un court segment droit, dirigé directement sur la proie, lorsque celle-ci est assez près du faucon qui peut alors la voir nettement en vision binoculaire.

Les observations de Tucker sur des faucons sauvages sont en accord avec ces faits. D'autres hypothèses étayant la raison de cette trajectoire courbe, sont proposées : le faucon pourrait en plus être caché par le soleil en volant entre ce dernier et la proie, et cette trajectoire indirecte pourrait aussi moins alerter la proie

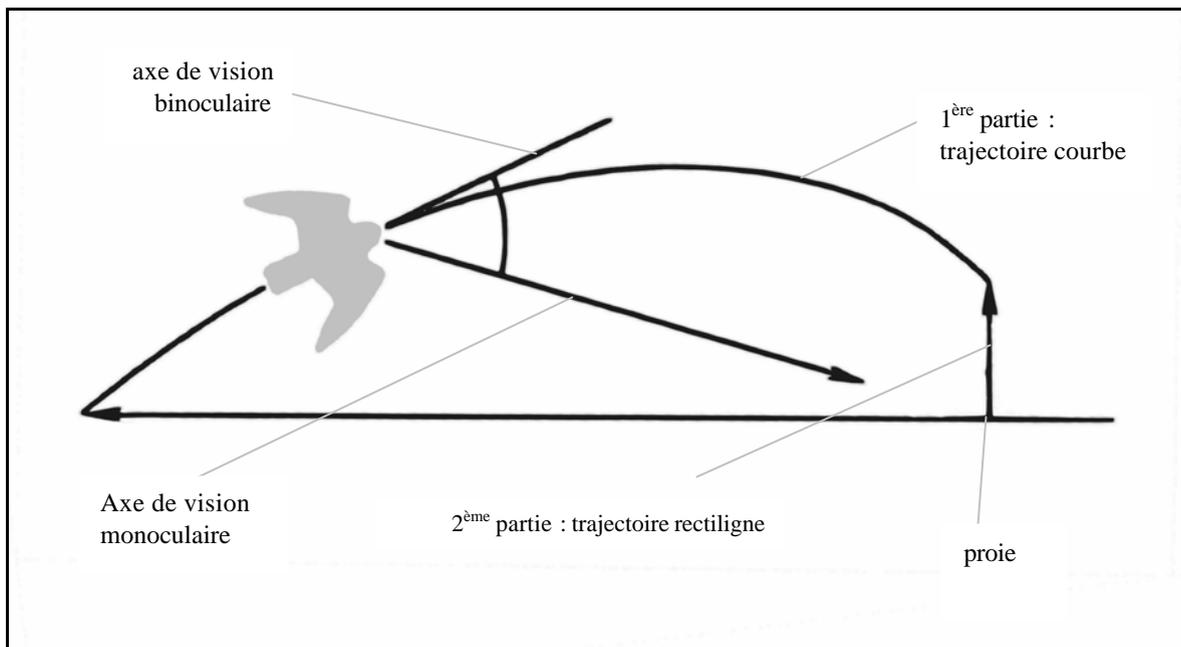


Figure 50: trajectoire idéale pendant le piqué. (60)

2.3.2. Oiseaux de fauconneries et oiseaux sauvages.

Le schéma classique de l'attaque des pèlerins basé sur l'observation d'oiseaux de fauconnerie est le suivant : l'oiseau procède à un vol d'amont, puis pique sur la proie et enfin advient le buffetage. En fait chaque individu utilise une stratégie d'attaque qu'il modifie selon le site, la météo, la proie, et l'individu lui même... Par exemple, le tiercelet, appellation du mâle, 1/3 de fois plus petit que la femelle, présente une charge alaire plus faible, et semble préférer le vol d'amont à grande hauteur. Son moindre poids nécessite plus de distance à parcourir en piqué afin d'atteindre sa vitesse maximale en comparaison à une femelle.

De plus, certains pèlerins perchés haut sur des pitons rocheux, partent directement en piqué de ce lieu de repérage.

Vol d'amont et buffetage ne sont pas systématiques.

2.3.3. Déroulement de l'attaque.

Toutes suivent globalement le même schéma :

- Départ de l'attaque

Soit par un vol d'amont, soit depuis un poste d'observation élevé. Le faucon se soulève sur ses pattes cambrées, couche son plumage et agite la tête de haut en bas avant de s'élancer. Il repère une proie placée à 1-1.5 Km de lui. (18)

Si le faucon se situe au moins 200 ou 300 mètres au dessus de la proie depuis son poste d'observation, il n'y aura pas de vol d'amont. Dans le cas contraire, il devra gagner de l'altitude. (16)

- Vol de placement

Les battements d'ailes sont alors rapides et amples, les ailes s'élèvent très haut et redescendent très bas vers l'arrière. Cette phase de vol est différente du vol battu ordinaire, où les mouvements d'ailes restent alors proches du plan du dos. Ce vol n'est normalement pas entrecoupé de plané.

Si un plané a lieu, il marque soit le début de l'attaque en piqué, soit l'indécision du faucon suivie de l'abandon de la chasse.

S'ensuit alors une phase de transition avec le piqué : les ailes sont coudées vers l'arrière, la tête est maintenue bien droite dans l'axe du corps.

Le vol de placement est horizontal, ou, comme c'est le cas le plus souvent, montant sur plusieurs centaines de mètres, voire plusieurs kilomètres.

Si la proie est posée, (avant d'être effrayée et capturée en plein vol), le vol de placement est dirigé droit sur la proie.

Si la proie est en vol, alors la direction du vol de placement est sans liens apparents avec la proie choisie. Ce vol peut alors comporter plusieurs orbes ascendantes, voire de longues trajectoires courbes à large rayon, dont la direction en apparence quelconque ne permet pas à la proie de soupçonner un éventuel danger.

Ce vol de placement permet à l'oiseau d'être en situation favorable pour le piqué final. Ses intentions sont dissimulées ; il est placé par rapport au vent et à sa proie, il peut alors prendre de la vitesse. Cette tactique de l'attaque détournée doit être apprise par les jeunes, mais avec l'âge, les faucons deviennent des as de l'anticipation des trajectoires, ils

sont en effet capables de chasser sans accrochage visuel permanent lorsque leurs proies disparaissent provisoirement derrière un obstacle. Parfois, le faucon attend que la proie soit passée derrière un obstacle avant de lancer la chasse. Il lui laisse de l'avance et pourra pousser sa vitesse.

Le vol battu s'incline vers le bas, les battements d'ailes deviennent étriqués et saccadés, puis s'interrompent pendant le piqué final.

- Piqué final (fig. 51)

Si le piqué est de plusieurs centaines de mètres, la trajectoire est corrigée de loin en loin. La vitesse est limitée par l'écartement des ailes, les poignets étant fixés aux épaules.

La vitesse peut être accrue de deux façons :

Soit, ailes à peine écartées du corps, l'oiseau bat rapidement, ou bien si la vitesse est très élevée, l'oiseau ferme totalement ses ailes, seules les alules sont ouvertes, et telles des ailerons rigides, elles contrôlent la trajectoire à grande vitesse.

A l'approche de la proie, la trajectoire est généralement voisine de l'horizontale et légèrement montante.

Le plus fréquemment, la proie est abordée par en dessous, par vent de face, le faucon arrivant par l'arrière, dans l'angle mort de la proie. (fig. 52) Si jamais la proie le repère avant l'impact, elle fait un écart brusque et pique vers le sol. Le faucon pèlerin part alors en piqué secondaire. Ailes collées au corps, les rectrices serrées, tel un projectile il se lance dans un piqué quasiment vertical. Cette manœuvre peut être répétée plusieurs fois à chaque écart de la proie, tant que celle-ci est assez haute dans le ciel, et que le faucon ne se décourage pas. Monneret a vu un pèlerin enchaîner 13 fois de tels piqués.

Plus rarement, le faucon domine sa proie d'une altitude variant entre 10 et 100 m, il survole la proie et la dépasse avec l'aide de la brise, puis pivote brusquement sur le dos et pique vers le bas et l'arrière en direction de l'oiseau. S'il est repéré, la proie pique de nouveau vers le sol, mais dans ce cas là, la vitesse du faucon lors du piqué secondaire est considérablement supérieure à celle de la proie, qui si elle est touchée, est buffetée et tuée sur le coup, voire disloquée.

Il semble que la position ailes fermées au cours des 10 derniers mètres du piqué final soit innée chez le faucon pèlerin.

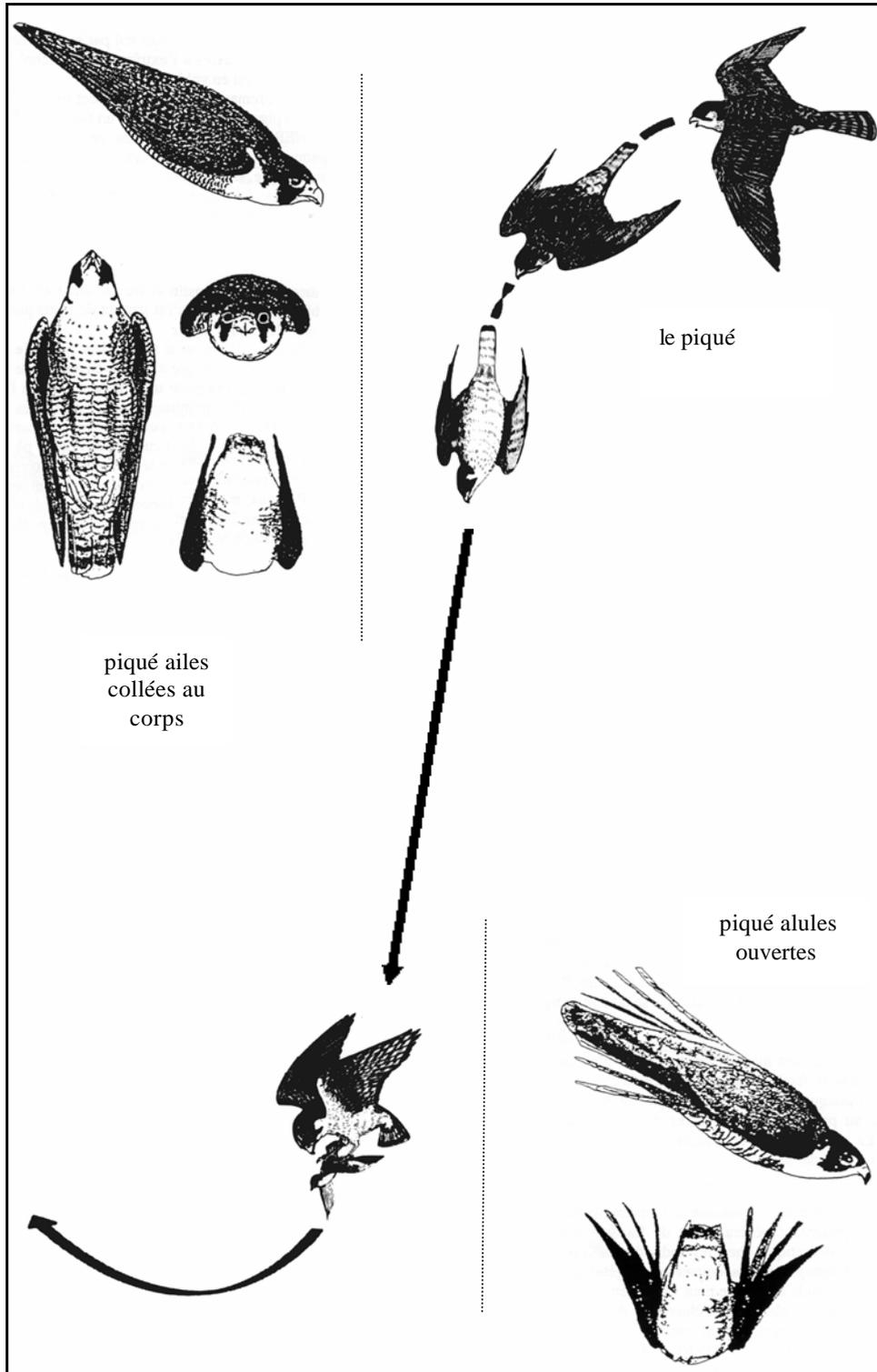
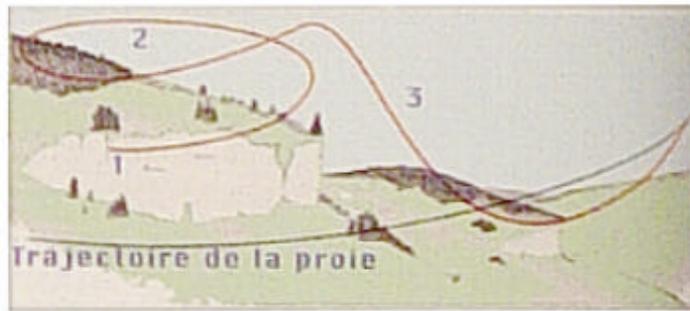
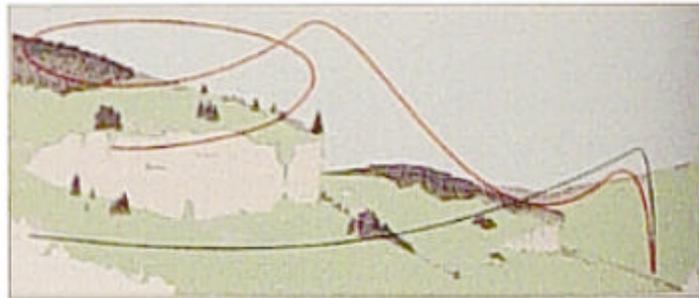


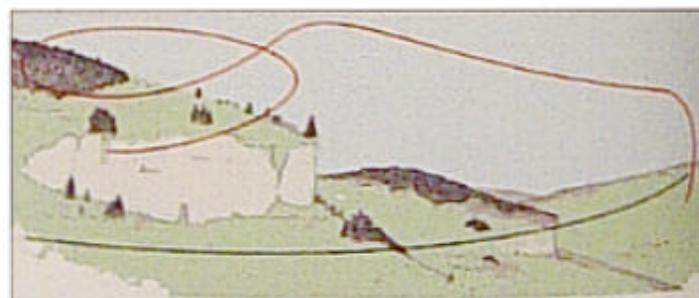
Figure 51: attitude du faucon pèlerin pendant le piqué final. (6, 32)



1 : affût 2 : vol de placement 3 : piqué final



La proie repère le faucon et pique vers le sol. Ce dernier bascule et la suit dans un nouveau piqué.



Une autre tactique consiste à survoler et dépasser la proie de 50 à 100 m, puis fondre sur elle dans un piqué quasi vertical.

Figure 52: déroulement de l'attaque. (33)

- Capture (fig. 53)

La proie est **liée** : lors de la rencontre, la vitesse est ralentie par les ailes à demi pliées et rejetées vers l'arrière. Simultanément, les pattes sont projetées en avant au niveau du bec, les doigts grands ouverts. Le freinage au cours de cette opération génère un changement de direction du faucon, et l'énergie cinétique libérée au cours du choc peut tuer ou assommer des proies telles que des corneilles.

La proie est **buffetée** : les ailes sont toujours plus ou moins collées au corps, les serres portées en avant sont dans un premier temps fermées, puis ouvertes au niveau du thorax ou du bec, puis rabattues d'une détente rapide vers le bas et l'arrière.

C'est une technique sans freinage, à vitesse d'impact élevée. Afin d'éviter tout risque de blessure, le faucon suit une trajectoire tangentielle à celle de la proie.

L'avillon (ongle du pouce) fait saillie au dernier moment :

A vitesse modérée, la proie est accrochée au passage et ramenée vers l'arrière dans un mouvement d'avant en arrière.

A vitesse élevée, la proie frappée par l'extension brutale et labourée par les serres est tuée sur le coup. C'est le buffetage à proprement parler. Cette griffe arrière déchire le dos de la proie en remontant jusqu'au cou et brise l'épine dorsale.

Après plusieurs observations, il semble que le faucon pèlerin préfère lier sa proie lorsqu'elle se trouve à proximité d'un couvert, et inversement choisisse le buffetage lorsque le contact a lieu très haut, ce qui lui permet de conserver de la vitesse pour piquer une nouvelle fois si le premier assaut s'avérait infructueux.

- Mise à mort

Si la proie est encore vivante, la mise à mort est toujours due à des morsures successives entraînant la rupture des vertèbres cervicales, la dent du bec facilitant la section des ligaments vertébraux.

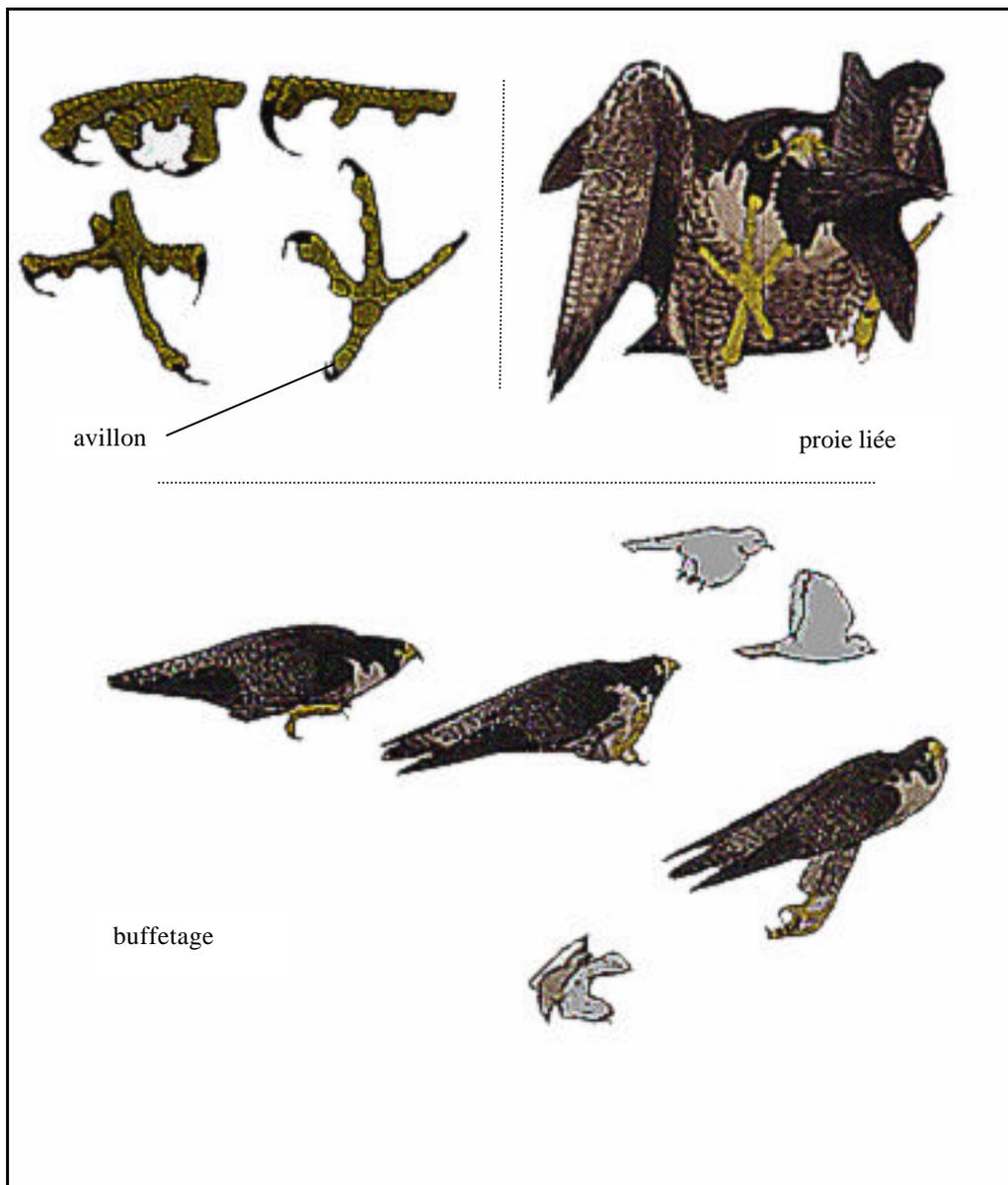


Figure 53: capture des proies. (33)

2.4. Taux de réussite et données d'observations.

Un succès sur 10 à 15 attaques d'après Monneret (33). Gustav Rudebeck (49), parlait lui de 19 succès sur 252 plongeon observés, soit 7.5% de réussite

Le faucon pèlerin rate relativement souvent son coup, les proies pouvant se défendre en gagnant la terre, les arbres, la surface de l'eau, mais aussi un groupe d'oiseaux, bref toutes situations rendant l'assaut du faucon pèlerin périlleux pour sa propre sécurité. Sans

compter l'agilité de certaines proies maîtres dans les voltes brusques et les manœuvres d'échappement.

Le faucon pèlerin n'en reste pas moins un redoutable oiseau de proie.

Sur 400 attaques observées souvent préparées à longue distance, Genet (16) retranscrit que la majorité des captures ont lieu entre 200 et 4500 mètres du point de départ, à une altitude comprise entre 500 et 1500 mètres.

Après cet aperçu chez le maître incontesté de la capture en piqué dans les airs, nous allons maintenant découvrir deux autres rapaces qui tirent profit de leur maîtrise du milieu aérien pour dérober des proies au milieu aquatique.

3. Capture au ras de l'eau.

(1, 16, 18, 51, 54)

Certains rapaces ont opté pour la pêche. Ils utilisent leurs serres comme outils de préhension, ils saisissent le poisson avec leurs pattes. La capture a lieu à faible profondeur, le rapace n'étant pas adapté de part son plumage notamment, à la poursuite sous l'eau. Que ce soit sur lac ou sur mer, deux oiseaux excellent dans cette pratique, tout en ayant chacun une technique différente. Le pygargue et le balbuzard vont retenir ici notre attention.

3.1. Caractéristiques. (photo 1 et fig. 54)

Le balbuzard pêcheur (*Pandion haliaëtus*), est le pêcheur le plus spécialisé parmi les oiseaux de proie. Ses doigts sont courts mais puissants, la plante de ces derniers est recouverte d'écailles dures à saillies pointues qui lui confèrent une rugosité de râpe. Le doigt externe de chaque pied est mobile et peut se ranger à côté du postérieur pour assurer une prise symétrique et plus ferme. Les griffes, de section ronde, ont une longueur et une

courbure exceptionnelles, armes efficaces pour saisir les poissons. Il mesure 60 à 71 cm de haut pour un poids moyen de 1500 g. Son envergure est comprise entre 151 et 188 cm.

Le pygargue, énorme rapace au bec formidable, dispose de doigts plutôt courts, mais avec des griffes très arquées et, sous les doigts, des pelotes dures lui permettant de maintenir les corps glissants des poissons. Le pygargue à queue blanche (*Haliaeetus albicilla*), est un oiseau de près de 1 m de haut, pour un poids compris entre 3.6 et 6.8 kg, et présentant une envergure proche de 265 cm.

L'oiseau dispose d'une aile large de forme rectangulaire et d'une queue courte à l'extrémité cunéiforme. C'est un très bon planeur.

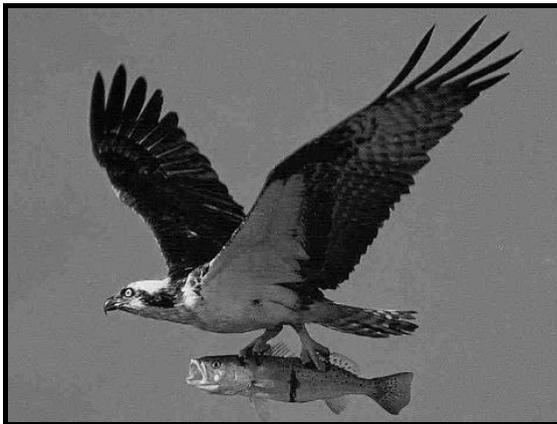


Photo 1 : balbuzard pêcheur avec sa prise. (77)

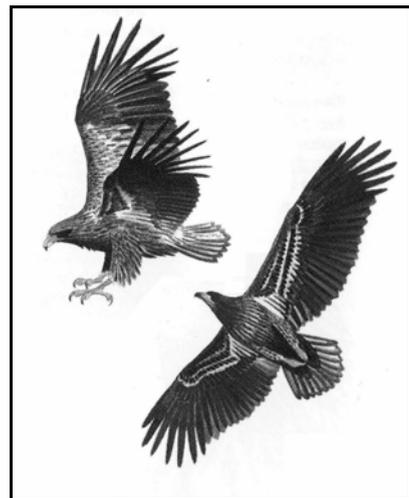


Figure 54 : pygargue. (17)

3.2. Technique de pêche du balbuzard. (fig. 55).

Le balbuzard se nourrit presque exclusivement de poisson. Il chasse parfois à l'affût, mais le plus souvent c'est en vol qu'il repère ses proies. L'activité de pêche peut se décomposer arbitrairement en quatre phases :

- Le vol de pêche : à une altitude comprise entre 5 et 40 mètres, il explore une zone dans un vol battu de fréquence relativement rapide, ou parfois effectue des cercles en planant à une altitude supérieure.

- L'observation : la proie est repérée, l'oiseau en évitant le contre jour se cabre et vole sur place quelques instants, le corps redressé, les yeux fixés sur la proie.

- Puis s'en suit un piqué quasiment vertical, les ailes plaquées contre le corps. Avant de toucher l'eau, il étend ses ailes et les replie en arrière, ses pattes tendues en avant crèvent les premières la surface de l'eau dans un grand éclaboussement, il touche l'eau à une vitesse pouvant atteindre les 70 Km/h. L'oiseau peut s'immerger presque totalement 1 à 2 secondes, seules les pointes des ailes apparaissent alors hors de l'eau, et saisir ainsi un poisson à un mètre sous la surface. La proie est généralement saisie à une seule patte, sur le dos.

- Pour remonter la proie hors de l'eau, l'oiseau doit extraire son corps du milieu liquide aussi vite que possible car son plumage n'étant pas imperméable, il pourrait perdre ses capacités de vol. Une fois la proie attrapée, l'oiseau reste malgré tout quelques instants à la surface, les ailes écartées, peut être pour mieux saisir sa proie avant de décoller. Pour quitter l'eau, les ailes battent l'air le plus haut possible avec des mouvements amples et d'une grande vigueur. Le balbuzard décolle parfois à la manière d'un « hélicoptère » : l'extrémité de ses ailes, une fois sortie de l'eau ne va plus toucher la surface, mais seulement se déplacer parallèlement à celle-ci, suivant le mouvement des battements d'ailes horizontaux d'avant en arrière, qui permettent à l'oiseau de s'extirper de l'eau avec sa proie dans une ascension quasi verticale.

L'anatomie très découpée des primaires chez le balbuzard, permet à ce dernier de les séparer les unes des autres facilement quelles soient sèches ou humides, et ainsi de créer des encoches favorisant la portance au moment du décollage.

Durant le vol de croisière, le rythme de battement d'ailes est considérablement accru. Cet effort supplémentaire est requis à cause du poids additionnel du poisson et de la résistance générée par son transport en vol. Pour la réduire au minimum, le poisson est tenu tête en avant, fermement maintenu par ses doigts disposés par paires de chaque côté.

Pour pêcher des poissons tels que des mulots qui se déplacent rapidement à la surface de l'eau, les oiseaux volent alors à faible altitude, plongent avec un angle réduit, sans effectuer de vol stationnaire.

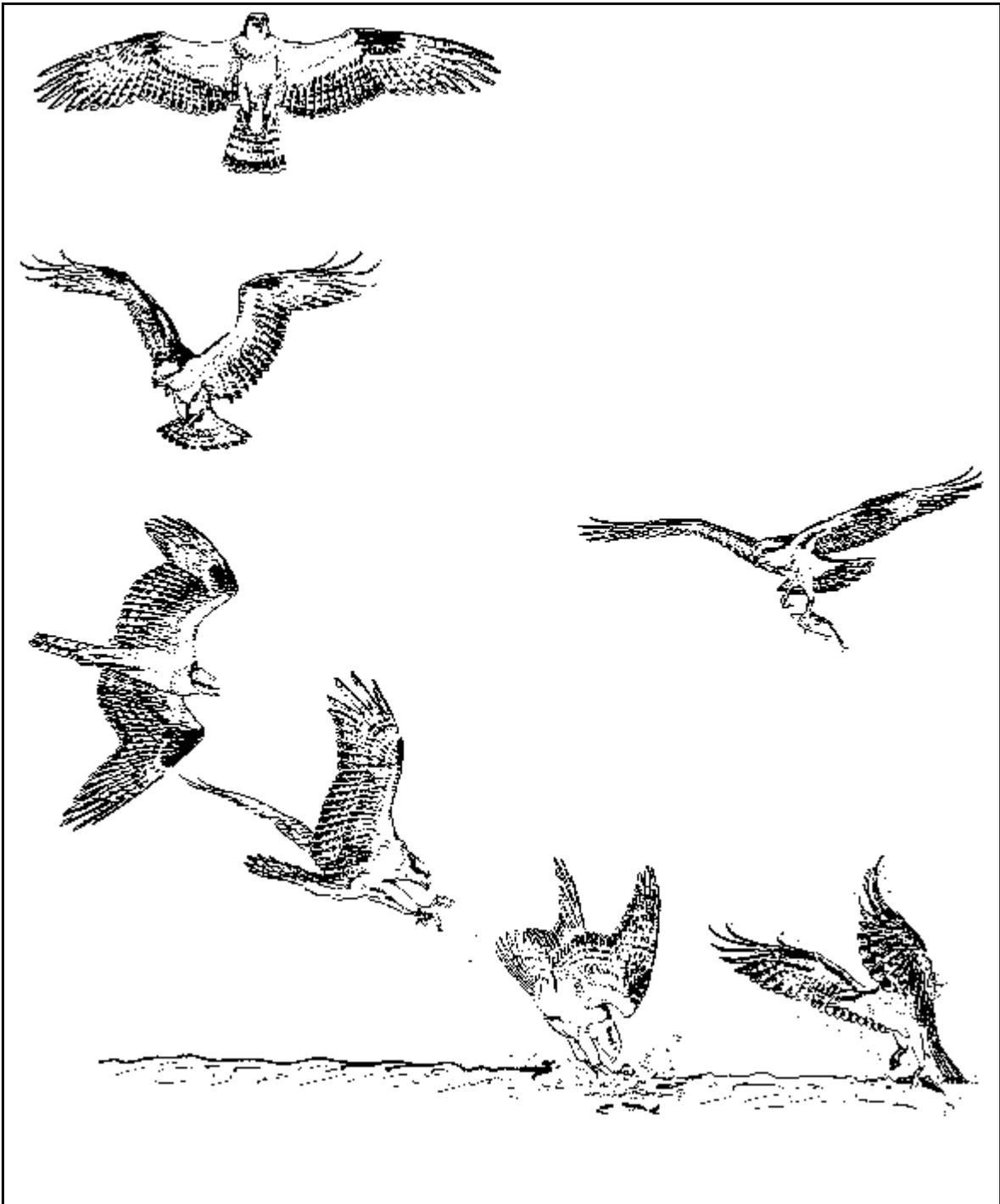


Figure 55 : technique de pêche du balbuzard. (66)

Les balbuzards ne se déplacent pas au-delà de 10 à 15 Km de leur nid pour aller pêcher, le coût énergétique du vol et sans doute également le temps d'absence devant

trop importants. Leur taux de réussite est de 1 sur 4, mais parfois ils ont le dessous et peuvent se noyer accrochés à une proie trop lourde.

3.3. Technique de pêche du pygargue. (fig. 56).

De corpulence plus lourde, il chasse en général depuis un perchoir. Il affectionne les longues séances de guet, immobile au sommet d'un rocher ou d'un arbre guettant l'occasion d'une attaque. Il fait de courtes sorties, en vols circulaires de quelques centaines de mètres ou de soudaines glissades de 25 mètres au moins jusqu'à effleurer l'eau. Il cueille littéralement ses proies en les ramassant d'une serre à la fin d'un vol plané relativement lent et bas.

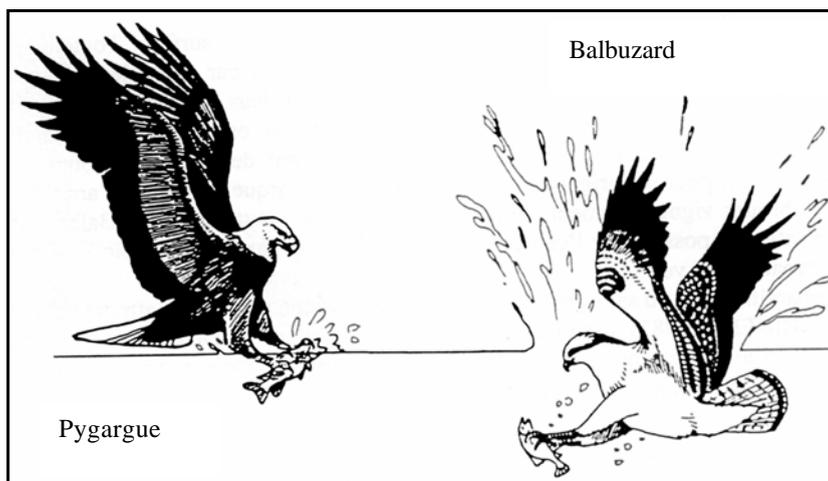


Figure 56: deux techniques de pêche différentes. (27)

Il s'intéresse surtout aux poissons qui nagent lentement ou qui se chauffent près de la surface. Lorsque les eaux agitées rendent difficile le repérage des poissons depuis un poste de guet, les pygargues peuvent aussi observer l'eau en planant dans les airs comme le balbuzard : ils tournent alors au dessus de l'eau, abaissent leur vol ou s'arrêtent sur place avec des battements lourds, puis replient leurs ailes et plongent dans une gerbe d'eau, mais ils n'excellent pas dans ce mode de pêche.

Le pygargue vocifer (*Haliaeetus vocifer*), ou aigle pêcheur d'Afrique, après avoir repéré un poisson en surface à une distance de 10 à 200 m, descend de son perchoir en vol glissé, se redresse près de la surface, et au moment où il passe juste au dessus du poisson, jette les serres en avant et le sort de l'eau juste derrière lui. Une telle capture ne peut se faire que près de la surface, capture fine sans éclaboussures.

Ces attaques sont très rapides, le pygargue ramassant sa proie et regagnant son perchoir en moins de 30 secondes.

Les pygargues prennent parfois des proies trop grosses pour pouvoir les sortir immédiatement de l'eau. Ils flottent alors à la surface, ailes ouvertes, comme s'ils tentaient de maîtriser l'animal sous l'eau. Ils se mettent à battre des ailes à la surface et parviennent généralement à s'élever après avoir gagné de la vitesse, ou bien ils se propulsent laborieusement traînant jusqu'au rivage le poisson partiellement submergé.

Après la pêche en surface, descendons un peu plus profondément sous les eaux avec deux oiseaux plongeurs : le fou de bassan et le pélican brun.

4. Le plongeon depuis les airs.

(1, 9, 14, 15, 19, 23, 30)

4.1. Le fou de bassan (*Sula bassana*).

C'est un formidable oiseau de pêche. Tout semble chez lui axé sur la performance : un corps fuselé, des ailes longues et effilées, un bec fin ressemblant à un poignard, et une longue queue cunéiforme. Cet oiseau de 90 cm de haut, d'un poids de 3 kg, présente une envergure de 175 cm, et ses palmures dont le rôle est très important couvrent une superficie de 64 cm². (Photo 2).



Photo 2: le fou de bassan. (82)

En vol battu, il atteint des vitesses de 80 Km/h sans efforts apparents. Il vole généralement à une vingtaine de mètres au dessus de la mer avec des battements soit francs, soit moins violents entrecoupés de courtes glissades en conservant toujours la même direction. Longeant sans relâche les côtes en quête de nourriture, il plane aussi au ras des flots dans une longue glissade qu'il interrompt d'un fort battement d'aile, et parfois s'élève en planant en cercle.

Pour pêcher, ces oiseaux n'hésitent pas à s'éloigner de plus de 200 Km de leurs colonies. Ils consacrent 30% de leur temps de vol à la pêche, 20 m au dessus des eaux, plus haut que la majorité des oiseaux marins. Ils tirent alors avantage de leur vision binoculaire pour localiser les proies. Une fois le poisson repéré, ils semblent se bloquer un court instant avant de se lancer dans un piqué quasi vertical. La hauteur moyenne du plongeon est de 10 à 40 m. Juste avant d'entamer le plongeon, ils plient leurs ailes, et juste avant de toucher l'eau, les tendent derrière eux, parallèles au corps, afin d'acquérir une forme encore plus aérodynamique et d'orienter le tir.

Le choc violent, près de 100 Km/h (1), est amorti par un réseau de sacs aériens à l'avant du corps, les narines sont fermées en permanence (ces oiseaux respirent plutôt par le coin de la bouche) et la membrane nictitante protège l'œil. (fig. 57).

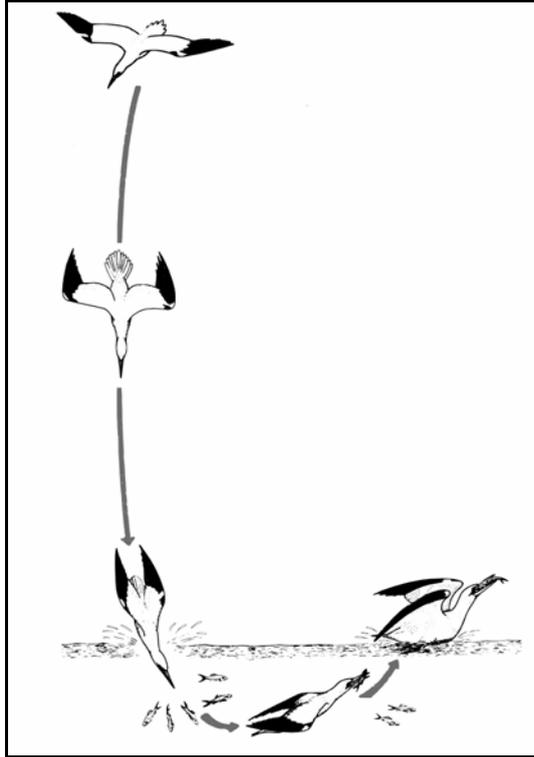


Figure 57: plongeon du fou de bassan. (6)

Une fois sous l'eau, ils ratent rarement leur proie. L'oiseau peut y demeurer une vingtaine de secondes, et atteindre des profondeurs de 5 à 15 m, voire exceptionnellement 25 m (23), il s'aide alors de ses ailes pour gagner quelques mètres.

La proie est happée par-dessous en remontant et avalée immédiatement. Puis, l'oiseau reste quelques instants à la surface, nage le corps passablement haut, les ailes croisées et la queue relevée, parfois incapable de décoller si l'estomac est plein. La longueur de ses ailes l'oblige à s'envoler péniblement, s'aidant de celles-ci et des pattes sur quelque distance.

Ce mode de pêche permet aux fous d'exploiter des poissons qui sont hors de portée ou trop mobiles pour d'autres oiseaux marins. Ainsi ils subissent peu de compétition. Par contre, selon la période, cette nourriture doit être recherchée dans des conditions très rigoureuses (vents glaciaux, neige, pluies, jours très courts). Pour y faire face, ils ont développé une combinaison unique de taille de poids et de forme très aérodynamique.

4.1. Le pélican brun (*Pelicanus occidentalis*). (1, 23, 39, 51)

Il est parmi les plus lourds des oiseaux plongeurs. Il vole à 10-20 mètres de la surface et dès qu'il repère une proie, plonge, tête et bec en avant, les ailes placées en arrière, en forme de V. Au moment de l'impact, ailes et pattes sont rejetées au maximum vers l'arrière, afin d'accroître encore la vitesse. (photo. 3).



Photo 3: plongeon du pélican brun. (86)

Même s'il peut disparaître totalement sous l'eau, il ne pêche généralement que des poissons à un mètre de profondeur. Ses sacs aériens amortissent le choc, mais le font remonter rapidement ; il se place alors face au vent prêt à décoller de nouveau.

Lorsqu'il sort de l'eau, sa poche gulaire est pleine d'eau, eau qu'il doit évacuer avant d'avaler le poisson. Cette poche très lourde une fois remplie peut dépasser le poids de l'animal lui même. Pour la vider, il entrouvre le bec.

Le pélican, comme le fou de bassan, vise un seul poisson, bien qu'il puisse en capturer plusieurs à la fois lorsqu'il pêche dans des bancs entiers.

En pleine activité, il peut réaliser 12 plongeon en 10 minutes. Son efficacité étant de 40%.

Immergons nous maintenant encore un peu plus dans la milieu sous marin avec un ensemble d'oiseaux aussi bien à leur aise dans les airs que dans l'eau.

5. Le « vol sous l'eau ».

(19, 26, 30, 47)

Un groupe d'oiseau avide de poissons, que l'on rencontre sur les falaises des mers septentrionales, a réussi à conquérir de son aile deux éléments. En effet, certains pingouins (*Alca torda*), guillemots (*Uria aalge* / *Uria lomvia*...) et le macareux moine (*Fratercula artica*), volent aussi bien au dessus de l'eau qu'en dessous : leur aile leur permet de se déplacer dans les airs et de se propulser sous l'eau, où leur pattes n'ont alors qu'un rôle de gouvernail dans les changements de direction. Nous allons nous attacher tout particulièrement au « vol aquatique » du Macareux moine.

5.1. Caractéristiques du macareux moine.

Le macareux moine (*Fratercula artica*), aussi connu sous le nom de perroquet des mers du fait de son bec imposant très haut et aplati latéralement, coloré de rouge à sa pointe agrémenté de jaune, est un oiseau pas plus grand qu'un pigeon dont le poids oscille entre 400 et 610 g. Son aile courte et pointue mesure pliée entre 150 et 195 mm. (fig. 58).

Dans les airs, et de préférence au ras de l'eau, il file comme des flèches en étalant les pattes derrière la queue en guise de gouvernail, et ses courtes ailes arquées vibrent très rapidement. Il atteint la vitesse de 82 Km/h. (30)

En mer il nage et plonge à quelques centaines de mètres de la côte. Il atteint des profondeurs d'une soixantaine de mètres et se nourrit essentiellement de poissons pélagiques.

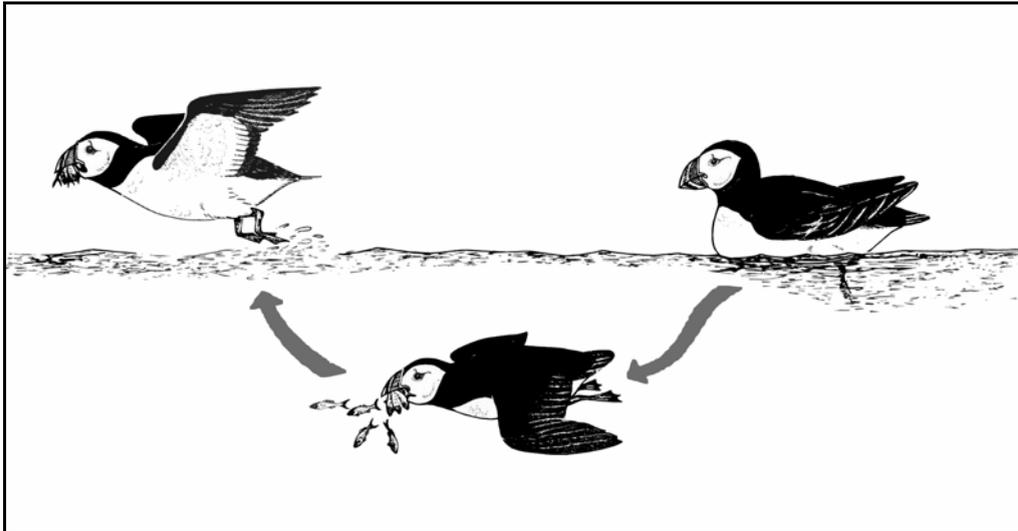


Figure 58: le macareux moine. (6)

5.2. Le compromis air / eau.

L'utilisation des ailes à la fois pour le vol et pour la nage soulève un conflit biomécanique du fait des pressions propres à chaque milieu s'exerçant sur une morphologie d'aile unique. En effet, un vol efficace en milieu marin semble s'accorder plutôt avec une aile relativement longue et pointue, de faible charge alaire et d'allongement élevé.

La densité de l'eau est, elle, égale à 850 fois celle de l'air ; la production de force en est modifiée, la portance et la traînée atteignent des valeurs 4 fois plus élevées que dans les airs. Les contraintes biomécaniques s'exerçant sur l'ossature et les plumes sont augmentées, tout comme le coût énergétique de la contraction musculaire. Il est alors plus intéressant dans ce milieu de disposer d'une aile courte d'allongement élevé, alors plus favorable pour atteindre des vitesses de plongée élevée à moindre coût.

Les macareux moines ont opté pour une aile courte, qu'ils maintiennent légèrement coudée pendant la nage. Epaule fléchie, et poignet tenu en avant permettent de réduire la taille de l'aile et d'avoir une fréquence de battement plus faible sous l'eau, limitant par là même le coût énergétique de la pêche.

Dans les airs, la petite taille de l'aile oblige ces oiseaux à voler vite et à battre rapidement des ailes en comparaison à des oiseaux de même taille (300 à 400 battements par minute). En vol de croisière, jamais de vol plané même alterné n'est observé. Le seuil de vitesse de décrochage est très élevé chez le macareux. Ils ne peuvent planer que dans

des vents violents, et peuvent alors utiliser les courants ascendants formés le long des falaises pour s'élever.

Ainsi le coût en énergie du vol est élevé, c'est pourquoi leurs zones de pêche sont relativement proches des côtes, et les zones de nidification de préférence dans les anfractuosités d'une falaise bien exposée.

Par vent faible, ces oiseaux pour atterrir s'élancent d'une centaine de mètres dans un plongeon rasant, gagnent de la vitesse, puis abordant l'objectif par en dessous, remontent brusquement en pente raide juste avant la zone d'atterrissage. Si la manœuvre est bien négociée, la vitesse de l'oiseau, nulle au sommet de la trajectoire balistique coïncide exactement avec la zone d'atterrissage où il se pose tranquillement. Dans le cas contraire, il plonge plus loin, regagne de la vitesse et réédite la manœuvre.

5.3. Cinématique du « vol sous l'eau ».

Sous l'eau, la nage du macareux est caractérisée par un mouvement oscillatoire de l'aile en partie repliée, pointe de l'aile dirigée vers l'arrière. Le poignet apparaît comme le guide de ce mouvement, alors que la pointe de l'aile suit. Durant la nage, une rotation importante de l'aile est notable : l'aile est en pronation au cours du battement vers le bas, et en supination à la remontée. (fig. 59).

Au battement d'aile vers le bas, les ailes en pronation vont chasser l'eau vers l'arrière et procurer l'essentiel de la poussée vers l'avant, ainsi que vers le haut. (fig. 60).

A l'entame de ce mouvement, le poignet initie son déplacement vers le bas alors que la pointe de l'aile est encore en train de remonter.

Au cours de cette séquence, l'aile est progressivement ramenée dans sa descente près du corps de l'oiseau et légèrement en arrière.

En fin de battement, débute un mouvement de supination, le poignet se déplace latéralement et dorsalement, tandis que la pointe de l'aile termine son déplacement médial

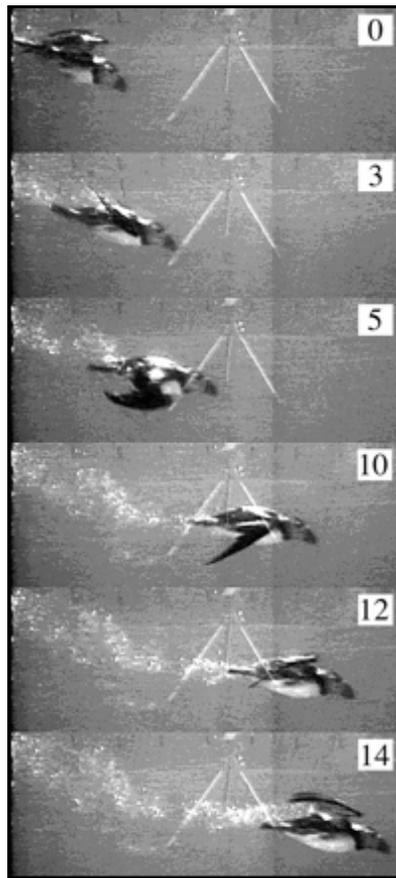


Figure 59: cinématique de la nage du macareux moine. (26)

Pendant le battement d'aile vers le haut, l'aile se déplace latéralement et dorsalement, légèrement en avant du corps. Cette séquence permet le déplacement de l'oiseau vers le bas, mais participe aussi à l'accélération en procurant une poussée non négligeable, donnée contredisant celles référencées jusqu'alors.

L'aile se déplie alors progressivement ; le procédé inverse a lieu pendant le battement d'aile vers le bas.

Durant le plongeon, le corps de l'oiseau oscille vers le haut et le bas selon que le battement d'aile soit respectivement vers le bas puis vers le haut.

La vitesse de plongée varie entre 1.20 et 2.14 m/s, et la fréquence de battement d'aile sous l'eau oscille entre 2.17 et 14 Hz.

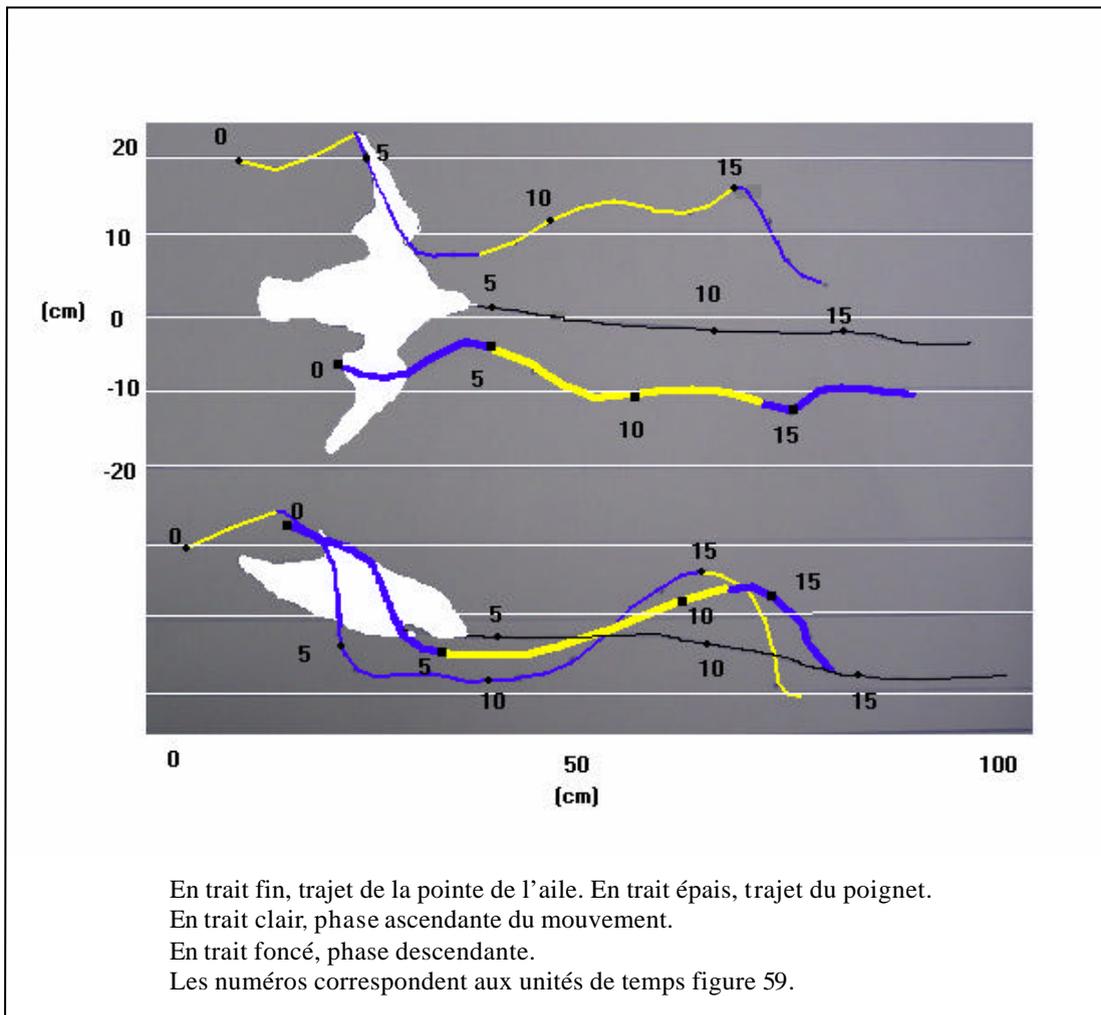


Figure 60: descriptif des mouvements des ailes du macareux moine pendant la nage (vue de dessus et de coté). (26)

Ces oiseaux sont donc capables de fournir une force de poussée lors du battement d'aile vers le bas mais aussi lors du battement vers le haut. Cette aptitude présente seulement chez les pingouins, oiseaux inaptes au vol dans les airs, est en accord avec une augmentation relative de la taille de leurs muscles supra coracoïdiens, muscles permettant le relevé de l'aile. Cette capacité à produire une force de poussée durant le relevé de l'aile répond au problème de la flottabilité positive de ces oiseaux qui s'oppose à leurs performances de plongée.

En outre, durant le plongeon, les ailes sont en parties pliées, et les primaires s'imbriquent à la pointe de l'aile les unes sur les autres en une structure « pluri lamellaire », structure qui rend les plumes plus résistantes à l'augmentation des contraintes biomécaniques propres au milieu aquatique.

Les oiseaux étudiés ici ont encore une fois démontré leur capacité d'adaptation à leur milieu de vie en développant un vol spécialisé à un type de prédation particulier.

Ainsi l'épervier et l'autour sont les maîtres des terrains accidentés, où ils évoluent avec une agilité étonnante ; piquer à des vitesses proches des 250 Km/h devient déroutant d'aisance et de facilité pour le faucon pèlerin.

Le pygargue et le balbuzard excellent dans la capture des poissons à faible profondeur, tandis que le fou de bassan frappe sans hésitation la surface des océans à près de 100 Km/h, et s'enfonce à des profondeurs proches des 40 mètres pour happer ses proies.

Enfin, le macareux, en tenant sa petite aile effilée, fléchie au niveau de l'épaule, peut la mouvoir sous l'eau. Son aile est alors efficace aussi bien au dessus qu'en dessous de la surface des océans.

Conclusion

Il ressort de cette étude l'étonnante capacité d'adaptation des ces oiseaux à leur milieu. Ils ont conquis tous les espaces qui s'offraient à eux. Les qualités physiques, morphologiques et physiologiques requises par les différents habitats, ont permis à chacun de développer un vol admirablement spécialisé, leur permettant de se nourrir, survivre et coloniser les lieux .

Qu' il s'agisse de l'épervier, en poursuite en pleine forêt ; du faucon pèlerin, en piqué à travers les nuages ; ou du balbuzard en vol rasant au dessus d'un lac, tous ont su tirer profit de ces habitats.

De même, les vautours, albatros et goélands se sont adaptés respectivement aux espaces rocheux et désertiques, à la vie en haute mer, et aux zones côtières ; les pétrels tempêtes et faucons crécerelles font eux concurrence aux oiseux mouches dans la pratique du vol stationnaire.

Le fou de bassan, quant à lui, utilise son vol pour évoluer, après plongeon, à quelques mètres sous la mer ; enfin, pour le macareux moine, la conquête des milieux aérien et aquatique est complète.

Bien que loin d'être exhaustive, cette recherche nous offre un panel intéressant sur le mode de vie de ces « prédateurs ailés », qui consacrent dans l'ensemble la majeure partie de leur temps au besoin essentiel que représente chez eux la quête de nourriture.

Nous espérons que ce travail contribuera à mieux connaître cet aspect de l'ornithologie et qu'il sera un point de départ pour d'autres écrits sur le sujet.

Bibliographie

1. ATTENBOROUGH, D.
La vie des Oiseaux.
Paris, Lausanne : Delachaux et Niestlé, 2000, 320 p.
2. BROWN, C.J.
The physical parameters of Cape vultures in the Natal Drakensberg and some ideas on large size in mountain habitat.
Vulture News, 1987, vol 18, 22-30.
3. BROWN, L.
Les oiseaux de proie. La vie et les mœurs des rapaces diurnes.
Bruxelles : Elsevier Séquoia, 1977, 253 p.
4. CHASSAGNE, M.
Les vautours, équarrisseurs naturels des grands Causses.
Th.: Med.vet. : Lyon: 1998. 046. 280 p.
5. CHAURAND, T.B.
Reproduction et stratégie d’approvisionnement chez un oiseau pélagique : le Pétrel Bleu.
Th.: Med.vet. : Alfort: 1992. 037. 137p.
6. CHINERY, M.
Les prédateurs et leurs proies.
Neuchatel : Delachaux et Niestlé, 1983. 224 p.
7. CLARK, W.S et WHEELER, B.K.
Hawks.
Boston: Peterson Field Guides Houghton Mifflin Company, 1987, 198 p.
8. CRAMP, S. SIMMONS, K.E.L. FERGUSON-LEES, I.J. et al.
Handbook of the birds of Europe the Middle East and North Africa.
Oxford: Oxford University Press, 1977, vol 1, Ostrich to Ducks, 112-117.
9. CRAMP, S. SIMMONS, K.E.L. FERGUSON-LEES, I.J. et al.
Handbook of the birds of Europe the Middle East and North Africa.
Oxford: Oxford University Press, 1977, vol 1, Ostrich to Ducks, 191-197.
10. CRAMP, S. SIMMONS, K.E.L. FERGUSON-LEES, I.J. et al.
Handbook of the birds of Europe the Middle East and North Africa.
Oxford: Oxford University Press, 1980, vol 2, Hawks to Bustards, 150-168.
11. DONAZAR, J.A.
Los brutes ibéricos: biología y conservación.
Madrid: J.M. Reyero, 1993, 256 p.

12. FISHER, H.I.
Adaptations and comparative anatomy of the locomotor apparatus of New World Vultures.
American Midland Naturalist, 1946, vol 35, 545-727.
13. FLAMME, M.M.
Mécanique du vol et biologie animale.
Th.: Med.vet. : Alfort: 1988. 029. 188 p.
14. GARTHE, S.
At sea activity and foraging efficiency in chick-rearing northern gannets *Sula bassana*: A case study in Shetland.
Mar. ecol. Prog. ser, août 1999, vol 185, 93-99.
15. GARTHE, S.
Pursuit plunging by northern gannets (*Sula bassana*) feeding on capelin (*Mallotus villosus*).
Proc. Royal Soc. Biol. sci., Series B, sept 2000, vol 267, 1717-1722.
16. GENET, L.O.
Les Rapaces Diurnes : Systématique, Origine, Anatomie et Alimentation.
Th.: Med.vet. : Alfort: 1998. 099. 396 p.
17. GENSBOUL, B.
Guide des Rapaces diurnes d'Europe, d'Afrique du Nord et du Proche-Orient.
Neuchâtel - Paris : Delachaux et Niestlé, 1988, 383 p.
18. GEROUDET, P.
Les rapaces diurnes et nocturnes d'Europe. 7^{ème} édition.
Lausanne : Delachaux et Niestlé, 1984, 446 p.
19. GEROUDET, P.
Les Palmipèdes d'Europe. 4^{ème} édition.
Paris : Delachaux et Niestlé, 1999, 510 p.
20. HARGRAVE, L.
Soaring flight. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL: <http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/fogel.html>.
21. HENTY , C.J.
Thermal soaring of raptors.
Brit. Birds, 1977, vol 70, 471-475.
22. del HOYO, J. ELLIOTT, A. SARGATAL, J.
Handbook of the birds of the world.
Barcelona : Lynx Edicions, 1992, vol 1, Ostrich to Ducks, 198-215.
23. del HOYO, J. ELLIOTT, A. SARGATAL, J.
Handbook of the birds of the world.
Barcelona : Lynx Edicions, 1992, vol 1, Ostrich to Ducks, 295-297 et p 315.

24. IDRAC, M.P.
Etude théorique des manœuvres des albatros par vent croissant avec l'altitude.
C.r. hebd. Séances. Acad. sci. , nov 1924, t 179, 1136-1139.
25. IDRAC, M.P.
Contribution à l'étude du vol des albatros.
C.r. hebd. Séances. Acad. sci., jui 1924, t 179, 28-30.
26. JOHANSSON, L.C. et al.
Kinematics of diving Atlantic puffins (*Fratercula artica* L.): evidence for an active upstroke.
J Exp Biol, 2002, vol 205, 371-378.
27. LALANDA.
La Faune.
Paris : Grange Batelière, 1971-1974, 11 vol.
28. McGAHAN, J.
Gliding flight of the Andean condor in nature.
J. Exp. Biol., 1973, vol 58, 225-237.
29. McGAHAN, J.
Flapping flight of the Andean condor in nature.
J. Exp. Biol., 1973, vol 58, 239-253
30. MIGLIORINI, S.A.
Les colonies d'oiseaux marins en écosse.
Th.: Med.vet : Toulouse: 1991. 029. 398 p.
31. MILLIGAN, T.V.
The soaring methods of birds.
In Using Rocket Gliders in Education. (Page consultée le 20 mai 2003.
Adresse URL : http://www.apogeerockets.com/education/Soaring_methods.asp
32. MONNERET, R J.
Le faucon pèlerin.
Paris - Maisons Alfort : Edition du Point Vétérinaire, 1987, 125 p.
33. MONNERET, R J.
Le faucon pèlerin.
Lausanne, Paris : Delachaux et Niestlé, 2000, 208 p.
34. MOUZE, M.
Les bases sensorielles du vol à voile chez les oiseaux planeurs.
Inédit 1993.
35. MOUZE, M. et BAGNOLINI, C.
Le vol en tandem chez le vautour fauve.
Can. J. Zool., 1995, vol 73, 2144-2153.

36. MUNDY, P. BUTCHARD, D. LEDGER, J. et al.
The vulture of Africa.
London: Academic Press. London, 1992, 453 p.
37. NECKER, R.
Observations on function of a slowly-adapting mechanoreceptor associated with filoplumes in the feathered skin of pigeons.
J. comp. physiol. , 1985, vol 156, 769-773.
38. NOGUE, G. BESSON, JP. UZABIAGA, G.
Le vautour fauve : sa reproduction dans la réserve naturelle d'Ossau, son alimentation.
Tarbes : Parc National des Pyrénées occidentales, 1984, 29 p.
39. NIXON, S. LEE, V.
A comparison of foraging techniques of Brown Pelicans and Brown Boobies in sandy ground lagoon.
Caribbean journal of Science, 1998, vol 34, 125-129.
40. PARC NATIONAL DES PYRENEES, BUFFIERE, D.
Vautour et gypaète.
Tarbes : Ed. Parc Nat. Des Pyrénées, coll. les carnets de terrain 2, 1988.
41. PARROT, G.C.
Aerodynamics of gliding flight of a black vulture *coragyps atratus*.
J. Exp. Biol., 1970, vol 53, 363-374.
42. PENNYCUICK, C.J.
Gliding flight of the white-backed vulture *Gyps africanus*.
J. Exp. Biol., 1971, vol 55, 13-38.
43. PENNYCUICK, C.J
Control of gliding angle in rüppell's griffon vulture *Gyps rüppellii*.
J.Exp.Biol., 1971, vol 55, 39-46.
44. PENNYCUICK, C.J
Soaring behaviour and performance of some East African Birds, observed from a motor glider.
Ibis, 1972, vol 114, 178-218.
45. PENNYCUICK, C.J.
The soaring flight of Vultures.
Birds, San-Francisco, W.H.Freeman and company, 1973, 135-153.
46. PENNYCUICK, C.J.
The flight of petrels and albatrosses (procellariiformes), observed in south Georgia and its vicinity.
Phil. Trans. R. Lond. , 1982, vol B.300, 75-106.

47. PENNYCUICK, C.J.
Flight of seabirds.
In *Seabirds: Feeding Ecology and Role in Marine Ecosystems*.
Cambridge: Cambridge University Press, 1988, 43-62.
48. PRINCE, P.A. and MORGAN, R.A.
Diet and feeding ecology of Procellariiformes.
In *Seabirds: Feeding Ecology and Role in Marine Ecosystems*.
Cambridge: Cambridge University Press, 1988, 155-171.
49. RUDEBECK, G.
The choice of prey and modes of hunting of predatory birds with special reference to their selective effect.
Oikos, 1950, vol 2:1, 65-231.
50. SHAFFER, S.A. COSTA, D.P. WEIMERSKIRCH, H.
Behavioural factors affecting foraging effort of breeding wandering albatrosses.
Journal of Animal Ecology, 2001, vol 70, 864-874.
51. STORER, J.H.
The flight of birds analysed through slow-motion photography.
USA - Michigan: Bloomfield Hills, Cranbrook Press, 1948, 94 p.
52. SUETENS, W.
Les Rapaces d'Europe.
Liège : Editions du Perron, 1989, 269 p.
53. SUGIMOTO, T.
A Theoretical Analysis of Sea-anchor Soaring.
J. theor. Biol., 1998, vol 192, 393-402.
54. THIBAUT, JC. BRETAGNOLLE, V. DOMINICI, JM.
Le balbuzard pêcheur en corse.
Ajaccio: Editions Alain Piazzola, 2000, 179 p.
55. TUCKER, VA.
Gliding birds: the effect of variable wing span.
J. Exp. Biol., 1987, vol 133, 33-58.
56. TUCKER, VA.
Body drag, feather drag and interference drag of the mounting strut in a peregrine falcon, *Falco Peregrinus*.
J.exp.Biol, 1990, vol 149, 449-468.
57. TUCKER, VA.
Gliding flight: speed and acceleration of ideal falcons during diving and pull out.
J Exp Biol, jan 1998, vol 201-14, 403-414.

58. TUCKER, VA.
Gliding flight: drag and torque of a hawk and a falcon with straight and turned heads: and a lower value for the parasite drag coefficient.
J Exp Biol, dec 2000, vol 203-24, 3733-3744.
59. TUCKER, VA.
The deep fovea, sideways vision and spiral flight paths in raptors.
J Exp Biol, dec 2000, vol 203-24, 3745-3754.
60. TUCKER, VA.
Curved flight paths and sideways vision in peregrine falcons (*Falco peregrinus*).
J Exp Biol, dec 2000, vol 203-24, 3755-3763.
61. VIDELER, J. GROENEWOLD, A.
Field measurement of hanging flight aerodynamics in the kestrel *falco tinnunculus*.
J. Exp. Biol., 1991, vol 155, 519-530.
62. VISWANATHAN, G.M. AFANASYEV, V. BULDYREV, S.V. et al.
Levy flight search patterns of wandering albatrosses.
Nature, 1996, vol 381, 413-414.
63. WALKDEN, S.L.
Experimental study of the "Soaring of Albatrosses".
Nature, 1925, vol 116, 132-134.
64. WEIMERSKIRCH, H. BONADONNA, F. BAILLEUL, F. et al.
GPS Tracking of Foraging Albatrosses.
Science, 2002, vol 295, p1259.
65. WEIMERSKIRCH, H. GUIONNET, T. MARTIN, J. et al.
Fast and fuel efficient ? Optimal use of wind by flying albatrosses.
Proc. R. Soc. Lond B., 2000, vol 267, 1869-1874.
66. WEICK, F.
Birds of prey of the world.
Proceedings of the III world conference on Birds of Prey and Owls.
Berlin: Meyburg and Chancellor, 1989, 611 p.
67. WEICK, F. et BROWN, L.H.
Birds of prey of the world.
London: Collins, 1980, 159 p.
68. WILSON, J.A.
Sweeping flight and soaring by albatrosses.
Nature, 1975, vol 257, 307-308.

Références d'auteurs inconnus:

69. Aerodynamics and flight. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL: <http://www.stetson.edu/~pmay/flight.htm>
70. Bees can't fly Mystery of Motion. (Page consultée le 20 Mai 2003).
Adresse URL: <http://polypedal.berkeley.edu/ib32/lectures/fly.pdf>
71. Behaviour of gulls, flight, slope-soaring and intertidal foraging.
In: Risk assessment of bird strike hazards: Gulls Laridae.
CSR Consultancy report 99-011. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL: [http://www.tnli.org/clients/onl/onl.nsf/fa74af2009a44cacc12567fd003bcedd/0afc61f02f811f35c12568fb005ceb26/\\$FILE/Risk%20assessment%20of%20bird%20strike%20hazards,%20Gulls%20Laridae%20-%20RLD%20139.pdf](http://www.tnli.org/clients/onl/onl.nsf/fa74af2009a44cacc12567fd003bcedd/0afc61f02f811f35c12568fb005ceb26/$FILE/Risk%20assessment%20of%20bird%20strike%20hazards,%20Gulls%20Laridae%20-%20RLD%20139.pdf)
72. Le Web de l'Ornithologie. Ornithomedia.com. (Page consultée le 20-05-2003.)
Adresse URL: http://www.ornithomedia.com/pratique/debuter/debut_art18_1.htm

Références photographiques:

73. Ailes. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://www.ups.edu/biology/museum/wingphotos.htm>
74. Albatross hurleur. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://www.junglewalk.com/photos/Albatross-pictures.asp>
75. Autour des Palombes. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL: <http://www.valkerij.nl/valkerij.htm>
76. Anatomie des os de l'aile. (Page consultée le 21/11/03).
Adresse URL : <http://WingAnatomy.htm>
77. Balbuzard pêcheur. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://www.tracwv.org/osprey.htm>
78. Condor des Andes. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://www.elevenshadows.com/travels/peru2001-04.htm>
79. Epervier d'Europe. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : http://bornova.ege.edu.tr/~ekgt/bird_files/raptor/hawks.htm
80. Faucon crécerelle. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://www.stanford.edu/~rawlings/coyote/>
81. Faucon Pèlerin. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://members.tripod.com/~Quillio/pfalcon.htm>
82. Fou de bassan. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://members.lycos.co.uk/nigelblake/images/may13/may13.htm>

83. Goéland argenté. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://marenostrum.org/vidamarina/animalia/aves/gaviota/>
84. Implantation des plumes sur l'aile. (Page consultée le 21/11/03).
Adresse URL : <http://www.idahoptv.org/dialogue4kids/birdsofprey/wingdiagram.html>
85. Macareux moine. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://ecoroute.uqcn.qc.ca/zico/zico.htm>
86. Pelican brun. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://www.calacademy.org/calwild/winter2001/images/12.jpg>
87. Pétrel tempête. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/id/html/h1090pi.jpg>
88. Pygargue à tête blanche. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : <http://www.usflag.org/bald.eagle.html>
89. Plume de goéland : photographie personnelle.
90. Plume. (Page consultée le 20/11/03).
Adresse URL : www.kwic.com/~pagodavista/schoolhouse/species/birds/body.ht
91. Vautour fauve. (Page consultée le 20 mai 2003).
Adresse URL : http://www.vautours.org/vautours/vautours_bas.html
92. Vue de dessus des plumes de l'aile. (Page consultée le 20/11/03).
Adresse URL : www.npwrc.usgs.gov/resource/tools/duckplum/ftthgrp.htm

Annexes

- **Annexe 1** : photographies des espèces d'oiseaux citées.



Vautour Fauve. (91)



Condor des Andes. (78)



Albatros hurleur. (74)



Goéland argenté. (83)



Pétrel tempête. (87)



Faucon crécerelle. (80)



Epervier d'Europe. (79)



Autour des palombes. (75)



Faucon pèlerin. (81)



Balbuzard pêcheur. (77)



Pygargue à tête blanche. (88)



Fou de bassan. (82)



Pélican brun. (86)



Macareux moine. (85)

- **Annexe 2:** photographies d'ailes des espèces d'oiseaux citées ou d'espèces proches.
Vue de dessus et vue de dessous. (73)



Urubu à tête rouge (*Cathartes aura*).



Albatros de laysan (*Diomedae immutabilis*).



Goéland argenté (*Larus argentatus*).



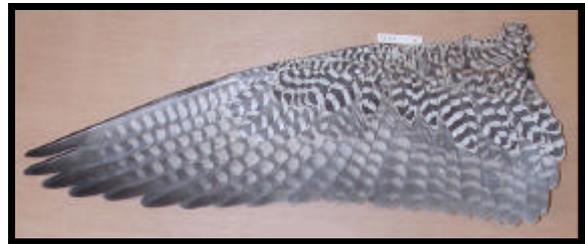
Océanite cul blanc (*Oceanites leucorrhoea*).



Crécerelle d'Amérique (*Falco sparverius*).



Autour des palombes (*Accipiter gentilis*).



Faucon pèlerin (*Falco peregrinus*).



Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*).



Pygargue à tête blanche (*Haliaeetus leucocephalus*).



Fou de bassan (*Sula bassana*)



Pélican brun (*Pelicanus occidentalis*).



Macareux moine (*Fratercula artica*).

Toulouse, 2004

NOM : ROINAC

PRENOM : VINCENT

**TITRE : Adaptation du Vol à la prédation chez certains Oiseaux
Chasseurs et Pêcheurs.**

RESUME : Ce travail présente les particularités du vol dans l'activité prédatrice de quelques oiseaux pratiquant la chasse ou la pêche.

La première partie est un rappel sur la mécanique du vol et sur les aptitudes au vol des oiseaux.

La seconde partie présente un groupe de prédateurs chez qui le vol est essentiellement utilisé pour le repérage des proies. Le vautour fauve, le condor des Andes, l'albatros hurlleur et le goéland argenté planent ; le faucon crécerelle et le pétrel tempête pratiquent eux un vol stationnaire.

La troisième partie s'ouvre sur un ensemble d'oiseaux chez qui le vol permet de poursuivre et capturer les proies. L'autour des palombes et l'épervier d'Europe pourchassent ces dernières en pleine forêt ; le faucon pèlerin plonge littéralement dessus ; le balbuzard pêcheur et le pygargue à queue blanche les cueillent à la surface de l'eau, tandis que le fou de bassan, le pélican brun et le macareux moine s'en saisissent sous l'eau.
(163 mots)

MOTS-CLEFS : Oiseau de mer – Oiseau de fauconnerie – Vol – Rapace – Vautour – Prédation.

ENGLISH-TITLE: Flight adaptation to predation, in birds hunting and fishing.

ABSTRACT: In this presentation, we can see how specialized is the flight of birds which have a predatory activity.

The first section is a reminder of bird flight mechanic.

The second section shows a group of birds, whose flight technique is essential to locate preys. It's established that griffon vulture, Andean condor, wandering albatross, and herring gull glide; European kestrel and storm petrel hover.

The last section presents birds that fly in order to hunt and catch preys. It's the case of sparrow hawk and goshawk chasing in forest; peregrine falcon diving; osprey and sea eagle fishing on surface; northern gannet, brown pelican, and Atlantic puffin fishing under the sea. (109 words)

KEY WORDS: Seabird – Hawking – Flight - Bird of prey – Vulture – Predation.