

D'O.S

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

vol. 4, n° 1    Avril 2004



*Robert Hainard*

LE CASSEUR

Notes d'Ornithologie Pyrénéenne : novembre 2002 à octobre 2003

La vision du Circaète en vol stationnaire

Aperçu des programmes de baguage colorés :  
Mouettes rieuse et mélanocéphale

Aigle ibérique, Faucon kobez, Bécasseaux falcinelle et tacheté  
Chevalier à pattes jaunes, Guifette leucoptère, Pipit à gorge rousse  
Desman des Pyrénées, Gypaètes au bain

Bibliographie passionnelle

## La vision du Circaète Jean-le-Blanc *Circaetus gallicus* en vol stationnaire

Yves BOUDOINT

**Résumé :** L'enregistrement vidéo d'une séquence complète de prédation (depuis le placement en vol stationnaire jusqu'à la capture effective de la proie) a permis de détailler la technique de vision employée par le Circaète, à savoir tête immobile et regard fixe. Le rapace s'imprègne de la même image tout au long de son affût. L'hypothèse formulée pour expliquer cette immobilité s'appuie sur le rôle que joueraient les différentes couches de la rétine. Celles-ci seraient douées du phénomène de persistance rétinienne, mais avec des durées croissantes de persistance, la dernière couche étant la plus vivace. Le traitement appliqué à chacune d'elles conduirait à accumuler sur cette dernière couche les seules informations de mouvement. Ce traitement agirait par soustraction d'images, les couches précédentes supprimant tous les éléments invariants.

Pour étayer cette hypothèse, des simulations de soustraction d'images (enregistrements vidéos de serpents d'aspects différents) ont été effectuées sur ordinateur. Ces simulations ont en outre mis en évidence une différence de signature entre le mouvement de la végétation et celui d'une proie, ce qui permet d'éliminer le bruit parasite d'un environnement animé. Enfin, cette hypothèse fondée sur la fixité du regard demande une parfaite stabilisation de la tête. Pour réaliser cette prouesse physique, l'oiseau utilise des informations externes (relief du paysage) et internes (variations de la vitesse d'un mouvement). Ce dernier point, qui repose sur le principe des accéléromètres, est comparé aux solutions employées par des systèmes de stabilisation éprouvés.

### Un Circaète en vol stationnaire



Les observateurs intéressés par le Circaète Jean-le-Blanc *Circaetus gallicus* ont été étonnés par son incroyable aptitude à détecter sa proie à des distances considérables ; on insinue souvent que la performance visuelle des rapaces dépasse de beaucoup la vision humaine mais, en fait, cela dépend du but poursuivi. Nous proposons ici d'apporter des arguments susceptibles d'expliquer cette performance ; l'un d'eux étant la vision aérienne du sol pendant le vol stationnaire si bien maîtrisé par le Circaète. Lorsque les conditions météorologiques sont favorables, au-dessus du même secteur où il peut rester longtemps, le Jean-le-Blanc procède à une succession de postes fixes qu'il maintient pendant une durée variable pouvant largement dépasser une minute, donc plus longue que celle d'autres rapaces.

Grâce à un enregistrement vidéo providentiel, par sa proximité, par sa durée et surtout par sa conclusion filmée : la capture effective d'un serpent dans les gorges de la Loire, il est possible d'avancer quelques hypothèses sur la stratégie de vision de l'oiseau. Ce film montre en effet que la tête reste en permanence dirigée à peu près verticalement vers le sol et ne bouge pas alors que l'on s'attendrait à ce que son regard fouille méthodiquement le terrain survolé ; de plus le serpent a été détecté là où l'oiseau ne regardait pas.

Les photos jointes sont extraites d'une séquence qui a duré 33 secondes (825 images). Après la manœuvre préliminaire, parfois spectaculaire, de mise en stationnaire qui demande deux



ou trois secondes, et malgré les fortes perturbations aérodynamiques, l'oiseau a gardé la tête immobile, le regard rivé vers le sol selon un axe quasi vertical. Subitement, en 4 centièmes de seconde, il a tourné assez largement la tête vers sa droite et amorcé aussitôt sa descente sur la proie ; ceci est très spectaculaire sur le film.

Il faut surtout retenir dans ce cas l'intervention massive du facteur temps dans la vision ; cet oiseau qui a eu la même image pendant 33 secondes avait donc la possibilité de faire des comparaisons minutieuses sur l'ensemble de son champ de vue et non pas seulement sur la zone de vision fovéale d'acuité maximale mais de surface restreinte. Il a privilégié la durée et l'étendue du champ surveillé plutôt que l'acuité afin de détecter le mouvement d'une proie potentielle.

Ce qui est nouveau ici, c'est la possibilité de détecter un déplacement très lent car plus loin on remontera dans le passé plus ce déplacement prendra de l'amplitude, le signal sera redondant et émergera du bruit (Shannon).

Comme l'a écrit Stephen Jay Gould dans son livre *Le pouce du Panda* : « Le temps convertit l'improbable en inévitable, l'impossible devient possible, le possible devient probable et le probable devient certain. Le temps accomplit des miracles. ».

### **Une hypothèse à confirmer**

Pour interpréter les faits observés, on va envisager la possibilité pour le Circaète de comparer les images successives du même terrain pour y détecter le mouvement d'une proie. Plus loin il remontera dans le passé plus la méthode sera efficace.

La simulation sur ordinateur fournira des indications sur la pertinence de la méthode selon la robe et le comportement du serpent. On cherchera alors à confirmer ou à infirmer ces indications dans la nature, ce qui conduira à une découverte intéressante.

On pourra juger de l'importance de la végétation agitée par le vent. La simulation montrera aussi les exigences sur la qualité du stationnaire qu'il faudra comparer à d'autres stabilisations qui nous sont familières : celle de notre œil, celle des caméscopes et celle de l'hélicoptère ; cette comparaison tournera à l'avantage de l'inégalable Circaète.

### **La vision du Circaète dépasse la vision humaine**

Pour tenter de comprendre la vision du Circaète, il n'est pas inutile de se pencher sur la vision humaine qui nous offre des opportunités immédiates de compréhension et d'expérimentation.

Notre vision est extrêmement performante de sorte qu'insinuer une vision bien meilleure pour les rapaces prête à discussion.

Deux performances vont retenir notre attention :

- L'œil humain, contrairement à celui du Circaète, est très mobile dans son orbite. Cela nous évite de bouger notre tête particulièrement massive. Cette question sera examinée à propos de la stabilisation.

- L'œil humain est conçu à la fois pour la vision diurne et pour la vision nocturne ; on parvient ainsi à lire le journal sous la pleine lune dont l'éclairage est 150 000 fois moindre que celui du soleil (Glafkides, 1976), mais aussi à conduire une voiture presque aussi bien la nuit que le jour. Certains oiseaux font mieux que nous la nuit, d'autres mieux que nous le jour, mais pas les deux à la fois.

Cette performance humaine est techniquement fort coûteuse car notre rétine doit comporter deux organes sensibles indépendants : les cônes pour la lumière du jour et les bâtonnets pour la vision nocturne. Cette vision en faible lumière n'est pas un accessoire supplémentaire, elle est même prépondérante puisqu'il y a, sur notre rétine, 18 fois plus de bâtonnets que de cônes (Life,

1996). Il faut en plus un mécanisme compliqué pour empêcher rapidement les bâtonnets d'être éblouis et endommagés par une lumière brusquement 200 000 fois plus intense quand le meunier va du four au moulin. Mais la performance est à la hauteur car, en laboratoire, « quand le rouge est mis (slogan Kodak) », l'œil bat n'importe quelle pellicule photo : il peut voir dans une lumière trop faible pour impressionner une pellicule. Si donc on sacrifie la vision nocturne, en totalité ou en partie, on peut y substituer une meilleure vision diurne comme c'est le cas pour le Circaète dont la rétine comporte beaucoup de cônes (Rochon-Duvigneaud, 1937). Il serait intéressant de savoir combien de pigments sensibles différents se trouvent dans ces cônes, deux seulement comme le chien ou le chat, solution préférable en basse lumière, trois comme l'homme ou alors davantage : tétrachromie adaptée à une forte lumière, pentachromie des pigeons (Tovée M.J., 1995).

Privé d'une bonne vision nocturne, un rapace est désarmé la nuit ; j'ai ainsi pu saisir à la main un vautour sauvage dans la nuit noire ou construire des affûts sans déranger (voir à ce sujet « Technique de capture de tourterelles » Latraube & Eraud in *Alauda*, vol. 69).

## La vision et la théorie de l'information

Il convient de ne pas perdre de vue que le but de la vision est de transmettre des informations utiles au cerveau.

Les caméscopes numériques nous ont familiarisé avec la pixellisation des images : vingt-cinq fois par seconde, ils délivrent 800 000 pixels codés en 24 bits et l'œil peut faire mieux encore ; un tel débit d'information est absolument inexploitable sans un tri préalable performant. Le traitement se fait à plusieurs niveaux mais plus tôt il sera fait, mieux cela vaudra ; c'est pourquoi ce tri commence déjà localement sur la rétine qui comporte dans ce but des couches multiples. Bizarrement, plusieurs de ces couches sont situées devant la couche sensible à la lumière et non pas derrière.

Bien entendu nous ne savons pas comment cela se passe pour la vision du Circaète mais il n'est pas inutile de spéculer sur un processus établi simplement sur l'existence d'un phénomène qui nous est familier : la persistance rétinienne.

La rétine du Circaète est épaisse : 630 microns contre 500 pour l'homme, 480 pour la Buse (Rochon-Duvigneaud, *op. cit.*). Supposons-la, pour simplifier, équivalente à un modèle à trois couches de persistance optique respectives de A) 0,02 seconde (comme l'humaine), B) 0,1 seconde, C) 10 secondes.

Un traitement interviendrait entre les couches (filtres), pour les couches A et B il y aurait une soustraction d'images qui annulerait tout ce qui est identique donc tout ce qui est immobile, le résultat de cette soustraction serait additionné à la couche suivante C) qui va donc accumuler tout ce qui a bougé pendant les 10 secondes écoulées ; cette couche, à partir d'un certain niveau significatif, se charge d'envoyer un message d'alerte au cerveau.

Les filtres qui interviennent peuvent être très sophistiqués comme on l'a constaté sur des animaux, par exemple des critères d'invariance de forme permettent de différencier aussitôt un objet d'un être vivant ; chez le Chat, on a montré un traitement qui supprime la vision et le mouvement des tiges verticales de l'herbe.

L'œil humain comporte environ 100 mégacapteurs dont seulement 5,5 % pour une image en couleur de jour et 94,5 % pour la nuit. La zone fovéale d'acuité maximale comporte 10 000 cônes, mais il en faut au moins quatre pour créer une unité élémentaire colorée d'information. Un ensemble de 2500 pixels colorés est ainsi obtenu sur cette plage privilégiée, c'est-à-dire un champ de 50x50 pixels, ce qui est modeste. Le champ d'acuité maximale, utilisé par exemple pour lire un texte, est connu pour couvrir 5 centimètres à 2,5 mètres de distance, soit un angle à peine supérieur à un degré (69 minutes) (Life, *op. cit.*) ; l'acuité de notre œil dans cette zone privilégiée est bien connue et vaut 1,4 minute d'angle : cet angle est contenu 50 fois horizontalement et 50 fois vertica-



lement dans le champ de 69 minutes de la vision fovéale. Ce résultat confirme que la capacité de gestion efficace et rapide du cerveau se limite à une image de seulement 50x50 pixels ; tout le reste des images existe mais est tenu en réserve pour ne pas encombrer l'information « ...la zone périphérique sert avant tout de système avertisseur ; lorsque le sujet voit un mouvement dans cette région, son attention est alertée ... » (Life, *op. cit.*) ; c'est tout à fait ce qui se passe pour le Circaète.

La rétine de l'œil du Circaète comporte 2 fovéas mais cette particularité ne devrait pas intervenir dans l'hypothèse d'une vision panoramique envisagée ici.

### Simulation sur ordinateur

Il vient à l'esprit de vouloir simuler cette stratégie d'observation sur un traitement informatique des images. Une fonction facilement accessible consiste à soustraire point par point deux images décalées dans le temps : tout ce qui est identique sur les deux images est annulé, seuls les éléments mobiles persistent.

Bien que la rétine, particulièrement épaisse chez le Circaète soit capable de traitements beaucoup plus sophistiqués, le résultat constaté est déjà prodigieux.

De nombreux essais ont été faits sur des images de serpents filmés, voici ce qui a été remarqué.

#### - La fixité absolue de la prise de vue

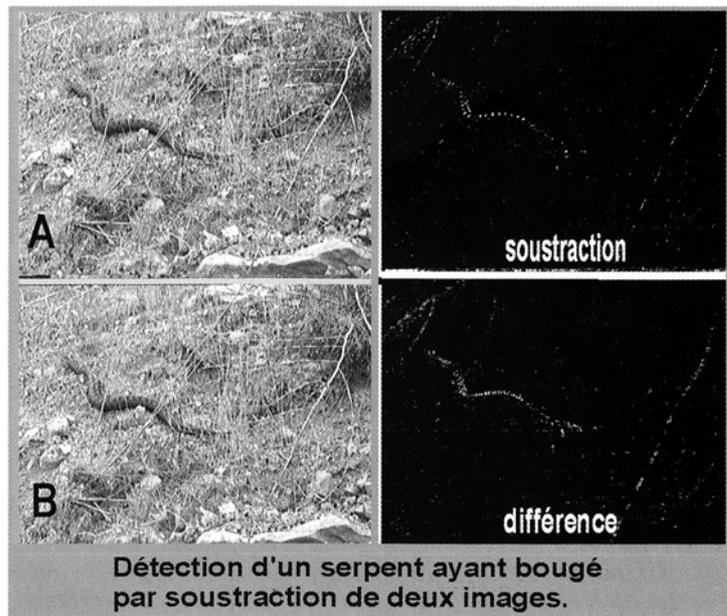
Pour obtenir l'annulation des parties de l'image qui n'ont pas bougé, il est indispensable d'avoir une caméra rigoureusement immobile avec stabilisateur hors service. Si l'on a suivi le sujet et si on superpose soigneusement deux images successives, cela ne marche pas, car, par suite d'astigmatisme, les deux images ne sont jamais parfaitement superposables sur toute leur surface, d'où la nécessité du stationnaire parfait et l'interdiction de tourner la tête.

#### - La robe du serpent

Les taches dorsales de la Vipère qui rampe alternent un motif périodique clair avec un motif sombre. En soustrayant deux à deux les images successives, on obtient une bande de points clignotants extrêmement voyants. De plus, on peut voir sur la photo un étrange détail : la périodicité des dessins n'est pas la même à gauche qu'à droite, ils sont ainsi parfois déphasés. Il en résulte deux clignotements de fréquences différentes.

Même le gonflement du corps, pourtant minime, se manifeste - visiblement dans cette soustraction.

La Vipère et la Couleuvre vipérine rampent souvent en s'appuyant sur le postérieur pour projeter leur partie antérieure en avant de sorte que tout concourt à rendre ces serpents particulièrement détectables, ce qui semble absurde : il faut donc trouver une explication.



On remarque alors que la Vipère chasse à l'affût, donc sans mouvement et se déplace surtout la nuit (pupille en fente comme le Chat) ; sa stratégie est dissuasive compte tenu de son armement. Comme la guêpe se signale par ses rayures jaunes et noires, imitée par des insectes inoffensifs, la Vipérine se déguise en Vipère pour dissuader et compte sur son domaine aquatique pour échapper au Circaète qui fréquente peu le fond des vallées.

L'Orvet, au contraire, a le dos lisse, d'une couleur bizarre uniforme, avec éventuellement des rayures longitudinales et des reflets ; on constate qu'il est difficilement détectable par soustraction d'images, d'autant plus qu'il rampe très lentement, de l'ordre d'un centimètre par seconde et même beaucoup moins quand il se sent observé. Il rampe de manière très linéaire avec peu de mouvements transversaux ; ainsi, dans cette reptation, les reflets ne bougent pas : ils ne suivent pas le mouvement. On est obligé de constater une organisation manifeste pour échapper à ce genre de détection. Mais l'Orvet, lui, chasse le jour en parcourant la prairie à la recherche de vers de terre et de limaces, et se trouve donc très exposé : il a donc choisi la discrétion comme parade.

### **Peut-on généraliser ?**

Est-il possible de généraliser en affirmant : « Les serpents diurnes qui se déplacent beaucoup ont le dos uni ou avec des rayures longitudinales : Orvet, Couleuvres d'Esculape, verte et jaune, *etc.*, et ceux qui, chassant à l'affût, sont venimeux ou ont besoin d'un camouflage, ont des dessins variés sur le dos » ?

Cette loi serait la conséquence de la stratégie de vision du Circaète.

#### **- Les mouvements de la végétation**

Lors des simulations, les mouvements de la végétation agitée par le vent ont une signature très différente de la proie pour trois raisons : ce mouvement est rapide, il est périodique, il est fragmentaire ; en outre les positions de la végétation sont aléatoires alors que celles du serpent sont corrélées sur une trajectoire. Il s'introduit un bruit relativement facile à éliminer où un filtre de couleur pourrait intervenir.

#### **- A propos d'un détail**

Si on applique la méthode de soustraction d'images non plus à la proie mais au prédateur, on peut mettre en évidence non pas ce qui bouge mais ce qui reste immobile. Cela confirme l'immobilité parfaite de la tête du Circaète en vol stationnaire.

Mais on décèle alors un détail curieux : la soustraction des deux dernières images, donc séparées de 4 centièmes de seconde, montre la rotation instantanée du regard vers la proie et on constate aussi un début de fermeture des ailes. Cela prouve que l'oiseau a pris la décision de descendre avant même d'avoir dirigé son regard sur la proie et donc sur la seule foi de son analyse panoramique et soustractive du terrain.

### **Le vol stationnaire**

#### **Le Circaète**

L'examen du film montre que l'oiseau met en œuvre deux niveaux de stabilisation. Le premier niveau consiste en manœuvres aérodynamiques : surface et incidence des ailes, ouverture de la queue, sortie des pattes et battements des ailes pour se maintenir. Malgré tous ces efforts, le corps est soumis à des perturbations aériennes si violentes que la stabilisation obtenue est très imparfaite ;



c'est alors qu'intervient un deuxième niveau stabilisateur : les mouvements du cou. Le résultat est admirable : la tête de l'oiseau est stationnaire, les 6 degrés de liberté sont maîtrisés, c'est-à-dire trois translations et trois rotations toutes indépendantes et nécessitant chacune une intervention dédiée.

Un accéléromètre parfait ne peut pas détecter un mouvement de translation uniforme, donc le Circaète doit d'abord annuler ses trois vitesses de translation par rapport au sol en s'aidant uniquement de sa vue, chose impossible à faire dans le brouillard ou au dessus d'une mer agitée. Si on imagine un Circaète volant au-dessus d'une mer de nuages en compagnie d'une montgolfière, il se stabiliserait sûrement par rapport à l'aérost.

Pour cela, un paysage en trois dimensions paraît indispensable (présence d'arbres, rochers, reliefs...), et donc un sol plat et uniforme comme le désert de sable du Sahara, survolé pendant la migration, empêcherait un stationnaire parfait faute d'informations visuelles.

Une fois les translations annulées, l'oiseau n'a plus besoin d'informations externes car il lui suffit d'annuler toutes les accélérations, ce qu'il pourrait faire les yeux fermés, toute l'information utile étant alors interne. C'est d'ailleurs ce que réalisent tous les oiseaux ainsi que les stabilisateurs des caméscopes. Toutefois la stabilisation en rotations de l'œil humain résulte du traitement de l'image et pas uniquement des accéléromètres.

### Comparaison avec la stabilisation de l'œil humain

Notre œil n'est stabilisé que pour deux rotations: haut/bas et droite/gauche ; ce sont d'ailleurs les plus importantes, ainsi peut-on lire le journal en marchant.

Cette stabilisation est extrêmement performante car ultrarapide. À première vue elle paraît résulter de l'analyse de l'image et non pas d'accéléromètres, ainsi l'information nécessaire serait interne à l'œil et court-circuiterait un passage par le cerveau car seuls les muscles du globe oculaire seraient concernés. Cela n'est pas le cas pour le Circaète car toute sa machinerie musculaire est impliquée. L'œil humain ayant une masse moins importante qu'une tête de rapace, cette stabilisation est d'une qualité inégale. On peut la mettre à l'épreuve par exemple en roulant avec un deux-roues sur une rue pavée : on constate alors que l'acuité visuelle, sur une cible à traits, n'est affaiblie que de 20 à 25% (il faut être 25% plus près pour voir aussi bien qu'à l'arrêt).

Si l'on utilise une cible constituée d'un texte à lire, on observe que la vision humaine est capable de faire une synthèse de plusieurs images floues pour en extraire une plus nette, mais aussi de profiter d'un bref instant net pour le mémoriser et lire, *a posteriori*, plusieurs mots à la suite sur l'image souvenir en faisant l'impasse sur les mauvaises images actuelles. De telles stratégies sont couramment exploitées en photographie astronomique.

Enfin, une étrange performance est également rapportée : si l'on recherche un mot précis sur une page entière, on arrive à le localiser sans lire toute la page ; tout cela pour montrer que ces spéculations sur la stratégie visuelle du Circaète ne sont pas invraisemblables.

### Comparaison avec les stabilisateurs de caméscopes

Contrairement à l'œil humain, le caméscope est stabilisé uniquement avec des accéléromètres comme vraisemblablement celui du Circaète, mais pour deux rotations seulement.

Il est intéressant de rappeler ici que les accéléromètres sont nécessairement des organes mécaniques, par exemple des masses suspendues, élastiques ou flottantes, ou bien des liquides dans des canaux circulaires. Pratiquement tous les animaux, y compris les insectes, ont de tels accéléromètres appelés organes de l'équilibre ; ils peuvent détecter les accélérations de translation et de rotation.

Grâce à de tels accéléromètres nous pouvons conduire un vélo, même les yeux fermés et la tête tournée pour tenter de fausser les détections.

Il existe des accéléromètres gyroscopiques basés sur l'accélération de Coriolis : ils nécessitent soit une masse en rotation rapide ce qui est exclu des possibilités biologiques, soit une masse vibrante (solution utilisée par certains insectes). On trouve dans le commerce de tels accéléromètres pour stabiliser des modèles réduits d'hélicoptères (masse : 20 grammes).

## **Comparaison avec l'hélicoptère**

Le pilote dispose d'un palonnier pour les deux pieds qui commande une rotation à axe vertical, c'est à dire le cap. Le "manche à balais" commande deux rotations : roulis et tangage. Une commande à main gauche, le levier de pas collectif, commande la translation verticale. Par rapport au Circaète, il manque deux translations horizontales ; elles sont couplées aux rotations, si l'appareil penche en avant il avance nécessairement et recule s'il penche en arrière. Il en est de même s'il penche à droite ou à gauche. Conséquence : un cinéaste à bord d'un hélicoptère stationnaire doit avoir en plus une caméra sur un pied stabilisé.

Autre différence importante, l'hélicoptère est en équilibre au milieu d'une énorme colonne d'air descendante et a besoin d'une grande puissance pour se maintenir. Il dispose d'une énergie cinétique confortable stockée dans les rotations du rotor et de la turbine, dans laquelle il peut puiser à la demande. Le Circaète lui, ne dispose plus de la réserve cinétique de son vol banal rapide puisque sa vitesse est nulle, aussi doit-il battre des ailes dès la moindre pénurie. Par contre, il se situe dans une colonne ascendante où la puissance nécessaire est faible ou nulle.

Pour le Circaète, des conditions météorologiques rares sont indispensables alors que l'hélicoptère sera partout disponible.

La stratégie de détection de mouvement par soustraction d'images est parfaitement applicable par un Jean-le-Blanc perché à l'affût en haut d'un arbre et c'est de beaucoup la plus fréquente.

## **A propos de la stabilisation verticale**

Comme la stabilisation verticale est particulièrement exigeante en énergie et n'est possible qu'en de rares circonstances météorologiques, on peut s'interroger sur sa pertinence qui, *a priori*, n'apparaît pas évidente. Aussi des essais ont paru nécessaires.

Pour cela nous avons filmé verticalement le sol depuis le haut d'un viaduc : un déplacement rigoureusement vertical de quelques centimètres de la caméra perturbe totalement la soustraction d'image à cause des arbres dont la perspective est modifiée.

## **Efficacité selon l'abondance des serpents**

Lors de séances de vol stationnaire par deux oiseaux observés par Bernard Joubert le 24 Avril 2001 pendant 235 minutes, il y a eu environ 400 stations pouvant durer de 2 à 75 secondes. Sur 67 postes chronométrés parmi 400 observés en une seule journée, la durée moyenne fut de 27 secondes ; il y eut 13 descentes en parachute jusqu'au sol, soit une toute les 13 minutes de vol stationnaire. La surface prospectée ne dépassait pas 25 hectares. Il n'est pas certain que tous ces vols avaient pour finalité exclusive la capture de serpents.



La recherche de serpents pour faire des essais a apporté quelques informations contradictoires sur leur densité. Sur une prairie entre la route et la Loire, impropre au survol stationnaire, dix projections journalières sur une surface d'un hectare ont permis de rencontrer 45 serpents : vipérines, vipères, orvets et couleuvres à collier. Les résultats sont cependant très variables : en une heure, on en rencontre parfois 15, parfois aucun. Presque tous se présentent immobiles et se laissent saisir mais c'est peut-être une stratégie de discrétion face à une présence ; par contre, en terrain montagneux accidenté, on trouve moins d'un serpent par heure. Par rapport aux serpents rencontrés, le Circaète apporte au nid moins d'orvets, de lézards verts, de vipères, de vipérines et beaucoup plus de grosses couleuvres et coronelles.

Enfin, rappelons que les serpents vivent longtemps, plusieurs dizaines d'années et sont prolifiques, de l'ordre de dix oeufs par an et jusqu'à 50 pour la Couleuvre à collier (Rollinat, 1946).

**Summary :** The filming of the whole predatory sequence (from the moment of starting to hover to the capture of a prey) made it possible to describe in detail the sight technique of this eagle, that is to say, head and eyes stationary. The bird maintains the same visual image the whole time. The hypothesis developed to explain this immobility is based on the role played by the different layers of the retina. These layers would have a phenomenon of retina persistence, but with increasing persistence, the last layers being the most long-lived. The applied treatment of the image between each layer would lead to the accumulation on the last layer of only information on movements. This treatment would act by subtracting images, the previous layers suppressing all the invariable elements.

To support this hypothesis, simulations of subtracting images (films of snakes with different appearances) were made on a computer. These simulations also revealed a difference in the type of movement between that of vegetation and that of prey, which would allow the elimination of parasitic movement in a busy scene. This hypothesis, based on unmoving sight, needs perfect stability of the head. To achieve this physical feat, the bird uses external information (geographical relief) and internal information (variations in the speed of a movement). This last point which relies on the principle of accelerometers, is compared to solutions employed by tried stabiliser systems.

**Resumen :** La grabación en vídeo de una secuencia completa de predación (desde la colocación en vuelo estacionario hasta la captura efectiva de la presa) ha permitido detallar la técnica de visión utilizada por el Águila culebrera, a saber: cabeza inmóvil y mirada fija. La rapaz se impregna ampliamente de la misma imagen durante el acecho. La hipótesis formulada para explicar esta inmovilidad se apoya en la función que jugarían las distintas capas de la retina. Éstas estarían dotadas del fenómeno de persistencia retiniana, pero con duraciones de persistencia creciente, siendo la última capa la más vivaz. El tratamiento aplicado a la imagen entre cada una de ellas conduciría a acumular sobre esta última capa únicamente las informaciones de movimientos. Este tratamiento actuaría por substracción de imágenes, suprimiendo las capas precedentes todos los elementos invariables.

Para apoyar esta hipótesis, simulaciones de substracción de imágenes (grabaciones en vídeo de serpientes de diferentes aspectos) han sido realizadas en ordenador. Estas simulaciones han puesto además en evidencia una diferencia de señal entre el movimiento de la vegetación y el de una presa, lo que permite eliminar el ruido de fondo de un ambiente animado. Finalmente, esta hipótesis basada en la fijeza de la mirada requiere una perfecta estabilización de la cabeza. Para realizar esta proeza física, el ave utiliza informaciones externas (relieve del paisaje) e internas (variaciones de la velocidad de un movimiento). Este último punto, que se apoya en el principio de los acelerómetros, es comparado a las soluciones utilizadas por los sistemas de estabilización ensayados.

## Bibliographie

- AUSSAGUEL C., 1992. Suivi d'une aire de Circaète dans le Tarn *Bvl.G.O. Tarn*, Bul. n°8.
- AUSSAGUEL C., 1996. La migration en Montagne Noire *Bvl.G.O. Tarn*, Bul. n°10.
- BELLANGER M., 1980. *Traitement numérique du signal*. Masson.
- BOUDOINT Y., 1951. Le vol du Circaète Jean-le-Blanc. *Alauda*, 19 : 1-18.
- BOUDOINT Y., 1953. Etude de la biologie du Circaète Jean-le-Blanc. *Alauda*, 21 : 86-112.
- BOUDOINT Y., 1984. Comportement pré-migratoire du jeune Circaète . *Alauda*, 52 : 221-225.
- CHOUSSY D., 1973. Observations sur le Circaète Jean-le-Blanc. *Nos Oiseaux*, 32 : 83-89.
- FRETAY J., 1985. *Guide des reptiles de France*. Hatier.
- GLAFKIDES P., 1976. *Chimie et Physique Photographiques*. Paul Montel.
- JAY GOULD ST., 1980. *Le pouce du Panda*. Grasset.
- JOUBERT B., 1994. *Oiseaux du Massif Central. Une Avifaune de Haute-Loire*. Ed. de la Borne, Le Puy.
- JOUBERT B., 1998. Données préliminaires sur les Circaètes de Haute-Loire. *Alauda*, 66 : 207-220.
- JOUBERT B., 1999. Trois comportements du Circaète en reproduction. *Alauda*, 67 : 141-144.
- LIFE, 1966. Collection « Le monde des sciences . » *L'œil et la vision*.
- ROCHON-DUVIGNEAUD A.D., 1937. Sur l'œil du Circaète Jean le Blanc. *Alauda*, 9 : 141-142.
- ROLLINAT R., 1946. *La vie des reptiles*. Delagrave.
- TOUCHARD J.B., 1987. *Images numériques*. Nathan.
- TOURMAZET J.J., 1987. *Traitement de l'image sur ordinateur*. Sybex.
- TOVÉE M.J., 1995. Les gènes de la vision des couleurs . *La Recherche*, janvier 1995.
- ZEBE V., 1936. *Biologie des Schlangenadlers*. traduction française par Y. Boudoint. (inédit).
- Revue *Pour la Science*, octobre 2001. Expérience de persistance rétinienne, reconnaissance des visages.

## Remerciements

Michel Duplay, officier de l'aéronavale et spécialiste des hélicoptères, a partagé son savoir.  
La société Héli-Béarn a accepté de se prêter à des expériences.  
Les logiciels de traitement d'image sont Paint Shop Pro de Jasc Software et StudioDV de Pinnacle.  
Merci à Christian Aussaguel et Bernard Joubert pour leur aide précieuse et amicale.

Yves BOUDOINT  
32, Avenue Mondon  
43000 Le Puy-Espaly