

Table des matières

INTRODUCTION	8
Première partie : Etiologie des fractures- Anatomophysiologie de l'aile des oiseaux	9
I- Etude générale des fractures	9
I A Espèces concernées	9
I.B Etiologie des fractures	10
I.C Types et localisations des fractures	12
II – Anatomophysiologie de l'aile des oiseaux	16
II.A Repères anatomiques	16
II.B Fonctionnement de l'aile en mouvement	22
II.C Propriétés de l'os des oiseaux	25
II. D La cicatrisation osseuse	29
IIème PARTIE : HOSPITALISATION DU PATIENT TRAUMATISE ET LES DIFFERENTES OSTEOSYNTHESES	33
I - Examen de l'animal	33
I.A Examen clinique	33
I.B Diagnostic radiologique	36
I.C Traitement conservateur	38
I.D Premiers soins	44
II Anesthésie	47
II.A Analgésie	47
II.B Anesthésie fixe.....	48
II.C Anesthésie gazeuse	49
II.D « Monitoring »	50
III. Consolidation osseuse et ostéosynthèses.....	52
III.A Quelques éléments sur la consolidation osseuse et sur les nécessités des ostéosynthèses.....	53
III.B Ostéosynthèse par vis et plaques	55
III.C Enclouage centromédullaire	60
III.D Fixation externe.....	65
IIIème PARTIE : ETUDE SPECIALE DES FRACTURES	74
I. Les fractures de l'humérus	74
I.A Voie d'abord dorsale et préparation du patient	74
I.B Voie d'abord ventrale de l'humérus	75
I.C Quelle méthode choisir dans le cas d'une fracture de l'humérus ?	75
II. Les fractures du radius/ulna.....	77
II.A Voie d'abord dorsale	77
II.B Voie d'abord ventrale	78
II.C Quelle méthode employer ?	78
III. Les fractures ouvertes	79
III.A Les fractures ouvertes sont des urgences thérapeutiques	80
III.B. L'antibiothérapie doit être systématique	81
III.C Traitement des fractures ouvertes et fermeture de la plaie	81
III.D Les blessures par armes à feu	82
CONCLUSION	85
BIBLIOGRAPHIE	87

INTRODUCTION

La chirurgie des Oiseaux* est un domaine relativement récent de la médecine vétérinaire. Son but est le même que celui des Mammifères : restaurer l'intégrité du tissu osseux par une fixation et une immobilisation adéquates. Ainsi, son évolution se fait bien souvent par adaptation de méthodes provenant des connaissances acquises chez d'autres espèces. Mais la classe des oiseaux comprend plus de huit mille sept cent espèces dont l'adaptation à un grand nombre de biotopes a conduit à l'expression d'une grande variété biologique. Une extrapolation des connaissances d'une espèce à l'autre demandera souvent une grande réserve. Néanmoins, l'évolution des connaissances de la physiologie aviaire concernant la croissance de l'os, sa minéralisation, sa cicatrisation ainsi que l'influence de la nourriture, du sexe ou de l'âge chez les espèces de rente constitue une base solide aux nouveaux défis de la thérapeutique aviaire. L'objectif de ce travail est de synthétiser les connaissances du domaine de la chirurgie osseuse et de les appliquer aux oiseaux afin de permettre au praticien recueillant une espèce sauvage protégée de traiter au mieux les fractures dont sont victimes un grand nombre d'oiseaux endémiques ou migrants en Europe.

La première partie de ce travail présente les espèces protégées concernées par une grande variété de traumatismes conduisant à des fractures souvent reconnues de sombre pronostic. Après quelques rappels anatomiques et biodynamiques, la structure physiologique de l'os permet de comprendre les mécanismes cellulaires qui sous-tendent la cicatrisation osseuse et les conditions requises pour la formation du cal. Dans un deuxième temps, la prise en charge du patient traumatisé et les différents examens requis pour établir un bilan et orienter le traitement seront étudiés. Les différentes techniques de contentions, orthopédiques ou chirurgicales seront détaillées en rapport avec les contraintes de l'ostéologie aviaire. La troisième partie traitera de l'étude particulière des fractures et en fonction du rayon osseux considéré ainsi que des problèmes inhérents aux fractures ouvertes ou celles causées par les armes à feu.

*par commodité le terme « Oiseaux » sera écrit ensuite « oiseaux », même s'il s'agit de l'Ordre des Oiseaux.

Première partie : Etiologie des fractures- Anatomophysiologie de l'aile des oiseaux

I- Etude générale des fractures

I A Espèces concernées

Ce travail s'appuie sur un stage effectué à la Clinique des oiseaux de l'Université vétérinaire de Munich au cours duquel nous avons pu voir de nombreuses interventions ainsi que consulter les archives du service relatives aux patients ayant subi une intervention chirurgicale. Ce centre reçoit des animaux endémiques du piémont des Alpes bavaroises mais aussi quelques patients provenant de fauconniers dont l'activité est plus développée qu'en France

Nous nous intéresserons donc dans un premier temps à définir les différentes espèces d'un échantillon de 133 cas se ventilant sur neuf années, de 1990 à 1998 (figure 1). On trouve en première position de l'échantillon la Buse variable (*Buteo buteo*) suivie du Faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*), puis viennent la Chouette hulotte (*Strix aluco*) et la Chouette effraie (*Tyto alba*). Puis d'autres espèces moins communes sont concernées : le Hibou grand duc (*Bubo bubo*) assez bien représenté dans cette région d'autant qu'il y est traditionnellement protégé et élevé pour la chasse aux Corvidés, l'Epervier d'Europe (*Accipiter nisus*), le Busard Saint Martin (*Circus cyaneus*), le Faucon pèlerin (*Falco peregrinus*), le Faucon hobereau (*Falco subbuteo*), l'Autour des palombes (*Accipiter gentilis*), le Hibou moyen duc (*Asio otus*), le Busard cendré (*Circus pygargus*), le Busard des roseaux (*Circus aeruginosus*) et quelques spécimens de Chouette chevêche (*Athene noctua*), rare sous ces latitudes. Enfin on note quelques individus sporadiques appartenant à des espèces rares comme le Faucon Gerfaut (*Falco rusticolus*), l'Aigle royal (*Aquila chryseatos*), la Bondrée apivore (*Pernis apivorus*), le Circaète Jean Leblanc (*Circaetus gallicus*). Le Hibou petit-duc (*Otus scops*), assez présent sous nos latitudes car plutôt méditerranéen, est totalement absent dans ces régions (Heinzel, 1996).

On note l'absence de Milans ou de Vautours bien qu'ils soient présents dans ces régions. Cet échantillon n'est donc pas le reflet de la faune endémique mais représente les oiseaux de proie les plus souvent victimes d'accidents se soldant par une ou plusieurs fractures des membres supérieurs. Par exemple, les chouettes et notamment la chouette hulotte paient un lourd tribut au trafic routier.

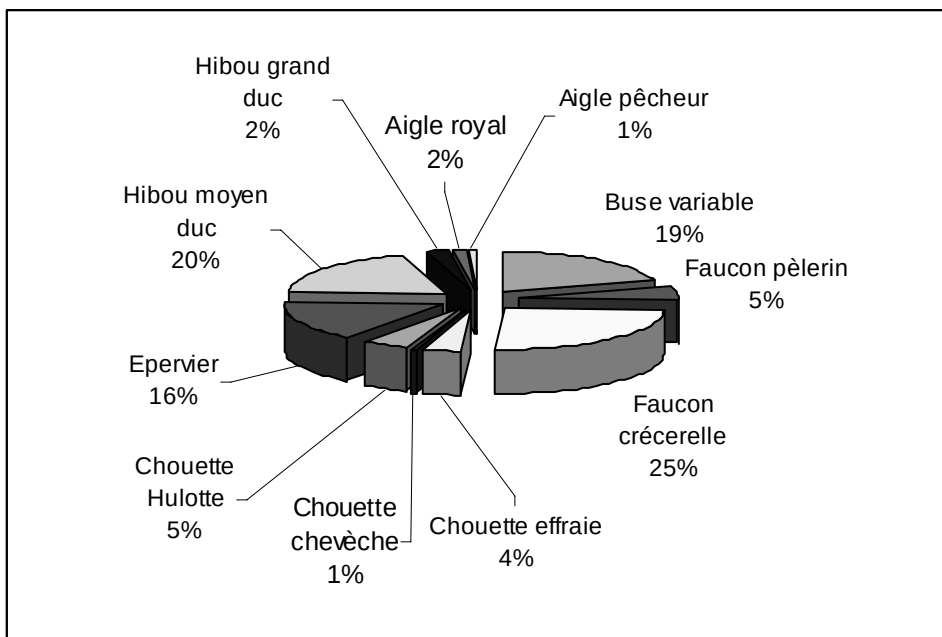


Figure 1: Répartition des espèces au sein de l'échantillon étudié (en %).

Cependant, il faut rester attentif au fait que l'occurrence des traumatismes concernant les rapaces nocturnes peut être biaisée par le fait que ceux-ci sont plus souvent récupérés au bord des routes et donc recueillis que d'autres espèces diurnes, dont l'habitus est plus indépendant de l'homme, comme les milans.

I.B Etiologie des fractures

Classiquement, on note que les fractures en général constituent la principale cause d'invalidation des rapaces (70 % des problèmes traumatiques), avec principalement des fractures de l'aile. Ceci est à mettre en relation avec le mode de locomotion des oiseaux dont la « voilure » des membres supérieurs représente une surface très importante amortissant fatalement tous les projectiles ou les chocs de l'animal. De plus, la structure très particulière de l'aile des oiseaux la rend spécialement vulnérable, l'os n'étant protégé que par une mince couche musculo-tendineuse. Enfin, un oiseau blessé à l'aile ne peut plus voler et est donc totalement incapable de se déplacer ou de se cacher. Aussi, par rapport à d'autres troubles, les fractures de l'aile peuvent donc sembler surreprésentées, ceci d'autant plus qu'un oiseau blessé l'est souvent au contact des activités humaines auxquelles cette classe paie un lourd tribut – chasse, accidents de la route - ce qui le prédispose à être naturellement repéré et

recupéré par l'homme. Quoi qu'il en soit, les fractures des ailes sont toujours des urgences car les animaux sauvages ne peuvent survivre s'ils ne sont pas en pleine possession de leurs capacités physiques (Berges, 1999).

Les rapaces diurnes sont les plus touchés par les troubles d'origine traumatique, en particulier les buses, les faucons crécerelles et les éperviers. Parmi les causes les plus courantes, on relève des collisions avec les fils barbelés (figure 2) ou les lignes électriques, traumatismes parfois accompagnés par une électrocution, des chocs contre les fenêtres souvent rapportées chez les éperviers lancés à la poursuite de leurs proies. Dans ce dernier cas, l'oiseau présente aussi souvent des symptômes pouvant aller du simple étourdissement jusqu'au traumatisme crânien avec perte de motricité centrale.

Les accidents de chasse représentent une cause importante d'hospitalisation et s'accompagnent le plus souvent de blessures étendues et gravissimes en corrélation avec le « mode opératoire » : les armes employées pour la chasse s'apparentent en effet à des armes de guerre, utilisant des projectiles à grande vitesse particulièrement vulnérants. Dans ce cas, l'animal présente des fractures extrêmement graves avec des contusions souvent très étendues et des lésions multiples. Nous détaillerons dans un chapitre ultérieur ces blessures particulières et les implications au plan thérapeutique. Enfin, on note l'existence de cas de collision avec des objets volant, tels que des avions ; ceci concernant certains faucons, volant à très haute altitude (Faucon pèlerin).

Moins amenés, théoriquement, à côtoyer l'Homme de par leur mode de vie, les rapaces nocturnes représentés par les familles des Tytonidés (chouettes effraies) et des Strigidés (hulottes et hiboux) n'en paient moins pour autant un lourd tribut, notamment pour ceux vivant dans un biotope proche de celui de l'homme, comme les effraies et, dans une moindre mesure, les chouettes chevêches. Les blessures par armes à feu ne touchent que des individus chassant à l'aube ou au crépuscule (chouettes chevêches). Par contre, la majorité des traumatismes concerne des collisions, notamment avec les véhicules dont les phares éblouissent les oiseaux qui chassent souvent en « rase motte ». Là encore les lésions sont souvent sévères, allant de la simple fracture fermée peu déplacée à des fracas multiples s'accompagnant de lésions musculo-tendineuses, en particulier au niveau du plexus brachial ou du carpo-métacarpe, de traumatismes crâniens et oculaires (Morishita, 1997 et 1998).



Figure 2 : Chouette Effraie victime de fils de fer (photo Schendel, dans Mebs et Scherzinger, 2006).

Enfin, quelques oiseaux doivent indubitablement leur hospitalisation à l'usage de pièges, d'ailleurs non forcément dirigés à l'encontre des seuls oiseaux de proie. Ces pratiques d'un autre âge tendent à se raréfier mais sont malheureusement parfois observées en milieu rural où persiste la croyance selon laquelle les rapaces font peser une pression de chasse insupportable sur le gibier ou les animaux de basse-cour destinés à l'homme. Le pronostic, dans ces cas précis, est extrêmement sombre.

Souvent, l'origine des fractures n'est pas toujours facile à déterminer, sauf pour les tirs de chasse pour lesquels le praticien dispose d'un diagnostic irréfutable grâce à la radiologie (les plombs étant radio denses). Dans de nombreux cas, il faut se référer aux commémoratifs du découvreur de l'oiseau, à recouper avec les conditions et la localisation de la découverte.

I.C Types et localisations des fractures

Toutes les fractures ne se ressemblent pas. Les cas de figures sont infinis mais on peut dresser, au vu de l'expérience acquise, une typologie des fractures en fonction de plusieurs critères, comme l'existence ou non d'une effraction tissulaire (autrement dit, la fracture est-elle ouverte ou fermée ?), leur localisation et leur nature.

I.C.1 Fractures ouvertes ou fermées ?

L'échantillon étudié montre qu'il existe près de 60 % de fractures ouvertes, ce qui est énorme quand on sait ce que cela implique au niveau de la gestion des plaies et dans le choix du geste chirurgical. En effet, une fracture ouverte ne se traite pas de la même manière qu'une fracture fermée. De plus, cela assombrit sérieusement le pronostic vital de l'animal, d'autant plus que les animaux hospitalisés avec de telles fractures ont souvent séjourné un fort laps de temps dans le milieu extérieur avant d'être trouvés et acheminés vers un centre de soin. On se trouve donc devant des lésions anciennes, forcément fortement contaminées voire infectées, avec une importante mortification des tissus juxta-osseux.

Néanmoins, certaines fractures ouvertes, bien que constituant une urgence chirurgicale, n'en sont pas moins considérées d'un moindre état de gravité du fait de la taille très petite de la solution de continuité avec l'extérieur. Il faut parfois être très attentif pour constater un trou minuscule avec une petite surrection d'un about osseux. Ceci tient au fait, d'une part, que les os de l'aile sont relativement peu protégés par les masses musculaires chez les oiseaux et, d'autre part, que les os, fins et cassants, sont prédisposés à se frayer naturellement un chemin au travers des muscles, enfin, le haubanage des muscles sur l'os le dévie de son axe en le mettant en contact naturellement avec la peau puis avec l'extérieur. Par exemple, d'une manière quasi systématique, dans toutes les fractures distales de l'humérus, l'about distal fracturé se retrouve plaqué contre l'ulna à cause du jeu des muscles fléchisseurs de l'avant-bras tandis que l'about proximal se replie en position caudale.

On a donc souvent deux trous lors d'une fracture ouverte : un trou distal et un autre proximal et ventral. Mais le site de fracture est un élément important à considérer pour réaliser un diagnostic et ainsi un pronostic.

I.C.2 Les différents sites de fractures

Il est important de considérer les fractures sous l'angle de leur localisation car celle-ci a des conséquences sur le choix du mode opératoire. Nous passerons donc en revue les différents sites des fractures de l'aile (figure 3).

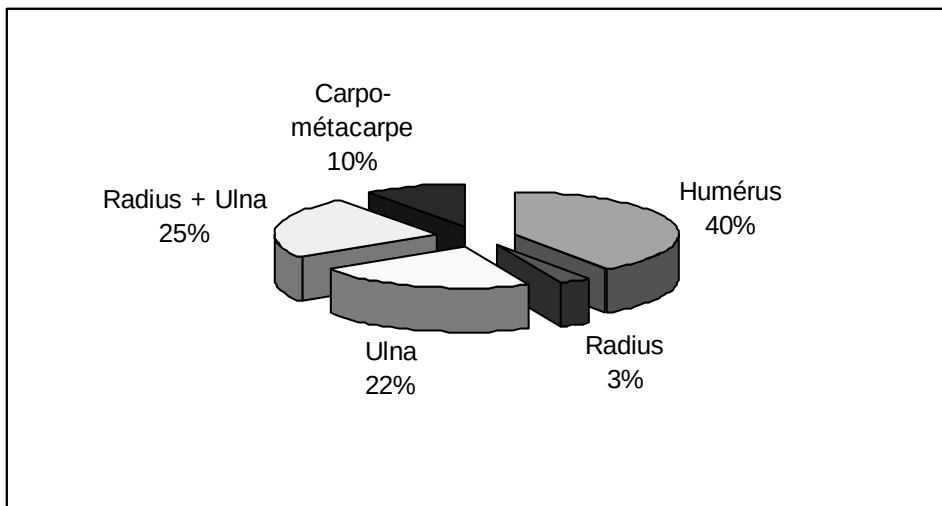


Figure 3 : Fréquence des sites types de fractures dans l'échantillon étudié.

Les fractures de l'humérus

Les fractures de l'humérus sont fréquentes et malheureusement d'un pronostic réservé : elles affectent 40.5% de l'échantillon. Il s'agit le plus souvent de fractures ouvertes spiroïdes ou comminutives et l'immobilisation de l'humérus, élément osseux proximal sur lequel s'insèrent de très puissants muscles, est hasardeuse. Ces fractures sont habituellement traitées par enclouage centromédullaire ou par fois par simple contention orthopédique, mais nous verrons plus loin que cela n'est pas obligatoirement la meilleure technique pour ce rayon osseux.

Les fractures du radius

Les fractures du radius sont les moins fréquentes, ici comme dans d'autres études (Berges, 1999). A peine 3.1 % des fractures de l'échantillon. Ceci s'explique car le radius, bien qu'étant un os très fin chez les oiseaux, est relativement bien protégé par l'ulna. Aussi, les fractures du radius sont elles le plus souvent accompagnées par des fractures de l'ulna. Les fractures simples du radius sont d'un bon pronostic.

Les fractures de l'ulna

Ces fractures sont assez fréquentes, l'ulna étant un os volumineux et constituant en vol le bord d'attaque de l'aile, ce qui l'expose aux traumatismes, chez les oiseaux. Nous verrons ultérieurement que, lorsque le radius est encore intègre, il fait office d'attelle et stabilise naturellement la fracture, ce qui explique l'évolution généralement favorable lors de telles fractures.

Les fractures du radius et de l'ulna

Les fractures du radius et de l'ulna sont malheureusement assez communes et d'un mauvais pronostic : 24.5% de l'échantillon. Leur stabilisation est ardue et la cicatrisation aboutit souvent à la formation d'un cal hypertrophique soudant les deux rayons osseux et bloquant les articulations distale et proximales, invalidant sévèrement les capacités de vol de l'oiseau.

Les fractures du carpo-métacarpe

Les fractures du carpo-métacarpe sont moins fréquentes (9.9 %) mais plutôt plus faciles que les autres types de fractures ; mais les lésions musculo-tendineuses qui les accompagnent souvent rendent la réhabilitation de l'oiseau assez aléatoire.

I.C.3 Les différents types de fractures

Les fractures sont également caractérisées par le trait de fracture, complet (fracture complète) ou non (fracture en bois-vert). Ainsi, pour les fractures complètes, on distingue habituellement :

- les fractures simples (deux abouts fracturaires) que l'on subdivise en fractures transverses, obliques et spiroïdes,
- les fractures complexes ou esquilleuses (plus de deux fragments) sont mono-, ou pluri esquilleuses ou même comminutives lorsque l'on ne peut pas reconstituer l'os dans son intégrité,
- les fractures multifocales lorsqu'il y a plusieurs foyers de fracture.

Il peut être important de caractériser le déplacement des abouts osseux les uns par rapport aux autres (figure 4). On distingue les angulations, les déplacements transversaux, les déplacements longitudinaux et les rotations axiales (Autefage et coll., 1997) suivant les forces appliquées, tension, compression, torsion et flexion.

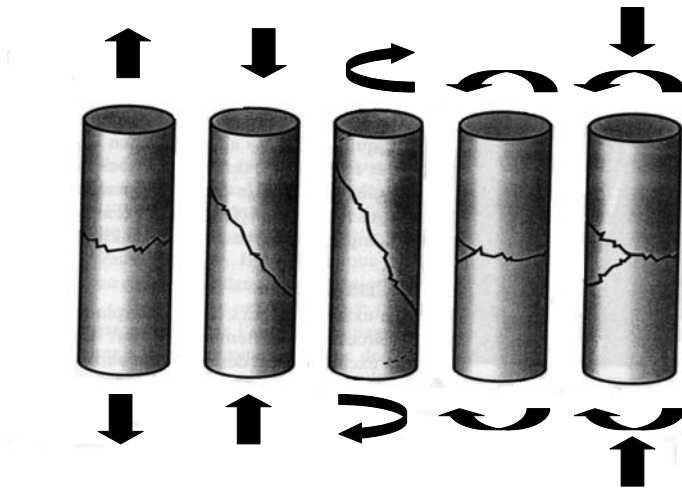


Figure 4: Classification de la nature des déplacements engendrant des types de fractures de l'os cortical, avec de gauche à droite : (i) des forces de pression, (ii) des forces de compression, (iii) des forces de torsion, (iv) des forces de flexion, (v) des forces de compression et de flexion (d'après Autefage, 1997).

Enfin, on détermine la position des lésions le long du fût osseux subdivisé en épiphyse, en métaphyse et en diaphyse.

Sur l'échantillon étudié, il faut noter la forte prévalence ($> 33.4\%$) des fractures pluri-esquilleuses voire comminutives, à mettre en relation avec les propriétés mécaniques de l'os des Oiseaux.

II – Anatomophysiologie de l'aile des oiseaux

II.A Repères anatomiques

Le but de la cure chirurgicale est de rétablir la fonctionnalité complète de l'os afin de permettre une récupération complète de la fonction du vol. Aussi, dans un premier temps, il est indispensable de connaître l'anatomie de l'aile.

II.A.1 L'humérus

PLAN DORSAL

L'humérus est l'os le plus imposant de la ceinture scapulaire et n'est que rarement pneumatisé chez les rapaces, notamment chez les éperviers (figure 5). Il possède une longue crête, qui est la zone d'insertion des muscles deltoïdes, et s'articule avec les trois os de l'épaule dans la cavité glénoïde (Orosz et coll., 1992).

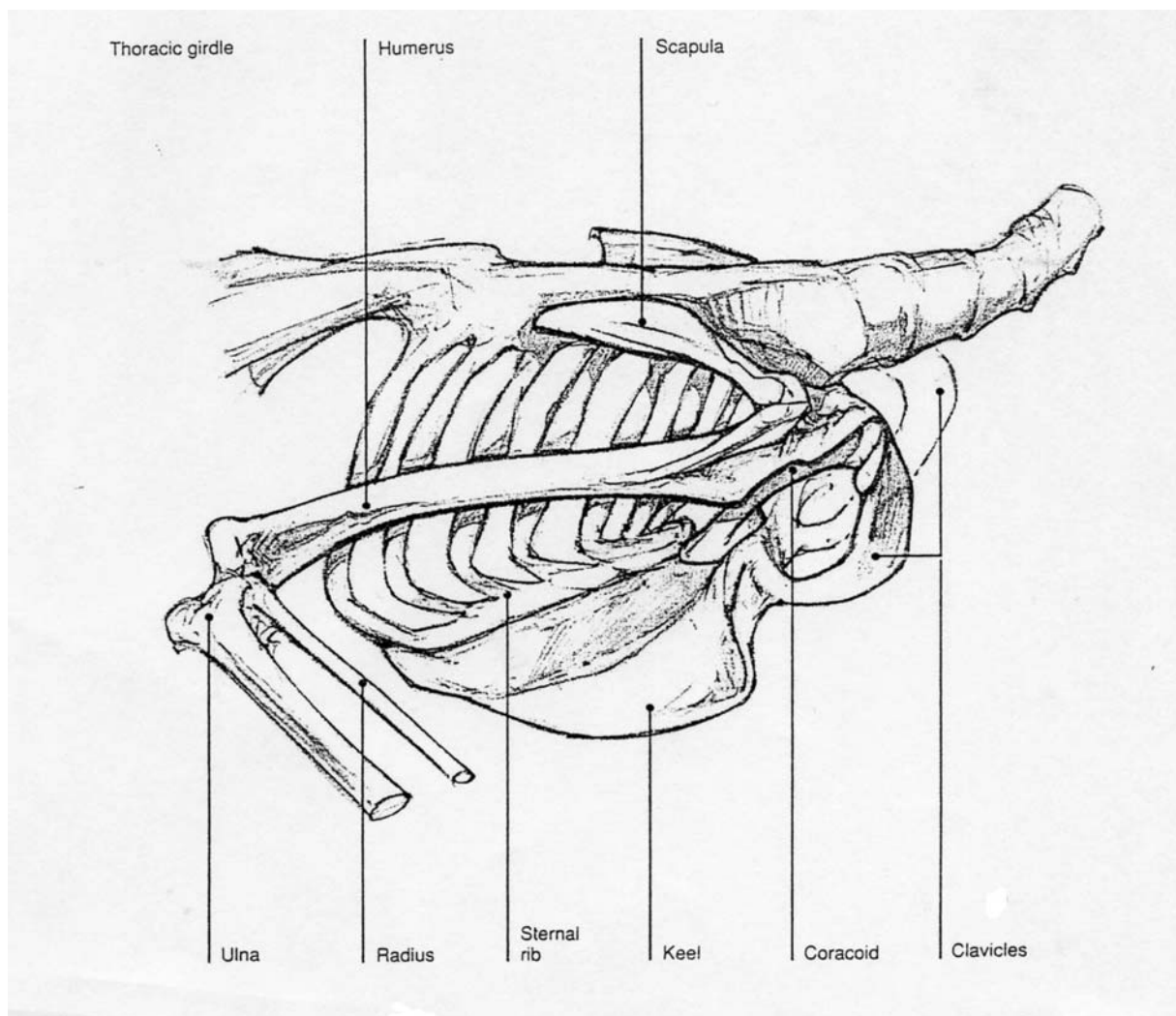


Figure 5 : Anatomie de l'aile des oiseaux. Vue dorsale (d'après Orosz et coll., 1992).

En position dorsale, les muscles les plus superficiels sont les muscles deltoïdes qui s'insèrent sur l'épaule et se prolongent côté crânial par le muscle propatagial complexe, lui-même scindé en deux tendons, l'un court et l'autre long, s'insérant sur l'extenseur du métacarpe, véritable armature du propatagium. Le deltoïde intervient dans le vol battu.

Plus ventralement, nous trouvons ensuite le muscle triceps brachial participant au vol plané.

Encore en-dessous apparaît le muscle grand droit, lui-même dissocié en deux chefs, crânial et caudal, s'étendant des racines des cervicales jusqu'au synsacrum, d'une part, et s'insérant sur la tubérosité latérale de l'humérus, d'autre part. Ces muscles sont en communication avec les muscles peauciers, chez les rapaces.

Ce plan superficiel est irrigué par des branches de l'artère et de la veine superficielles, et innervé par le nerf axillaire qui chemine ensuite dans le propatagium ainsi que par le nerf radial.

Dans le plan profond, on trouve le muscle deltoïde mineur qui s'insère sur la tubérosité latérale de l'humérus et participe à la flexion de l'aile. Les deux muscles importants de cette zone sont le biceps brachial et le brachial. Le biceps est un puissant fléchisseur de l'avant-bras et s'insère dans sa partie distale sur l'ulna et sur le radius. Le muscle brachial est connecté à l'ulna et maintient l'avant-bras horizontal lors du vol (figure 6).

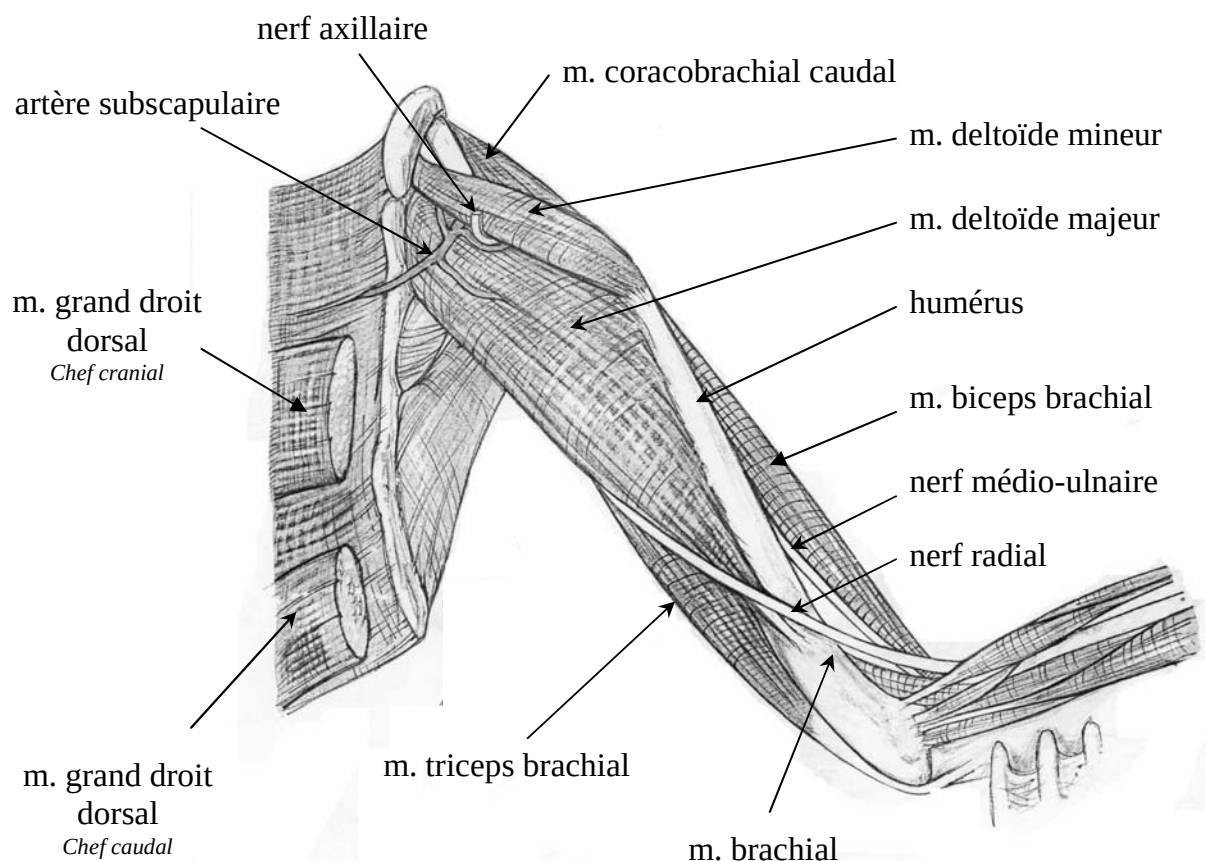


Figure 6 : Anatomie de l'aile des oiseaux. Vue dorsale, plan profond (d'après Orosz et coll., 1992). m. : muscle.

PLAN VENTRAL

Le plan superficiel est largement occupé par le muscle pectoral superficiel, très développé chez les oiseaux. De morphologie variable, il est associé au complexe propatagial. Il couvre la surface ventrale du sternum et est un acteur majeur du vol battu. Il modifie, en outre, le bord d'attaque de l'aile pour limiter les turbulences. On retrouve à ce niveau le chef distal du muscle biceps crânial qui s'insère sur le radius (figure 7).

De très gros vaisseaux passent à proximité de cette zone, entre le biceps et le triceps brachial, avec la veine basilicale d'abord, souvent utilisée chez les spécimens de taille suffisante pour les prélèvements sanguins et qui draine le sang de l'aile vers la veine axillaire. Ensuite, l'artère brachiale irrigue l'avant-bras et se scinde en plusieurs artères ulnaires qui s'anastomosent avec la veine basilicale, ce qui est une particularité des oiseaux et ce qui joue un rôle dans la thermorégulation. Enfin, les voies nerveuses concernent le nerf médio-ulnaire lui-même divisé en nerf médian et nerf ulnaire.

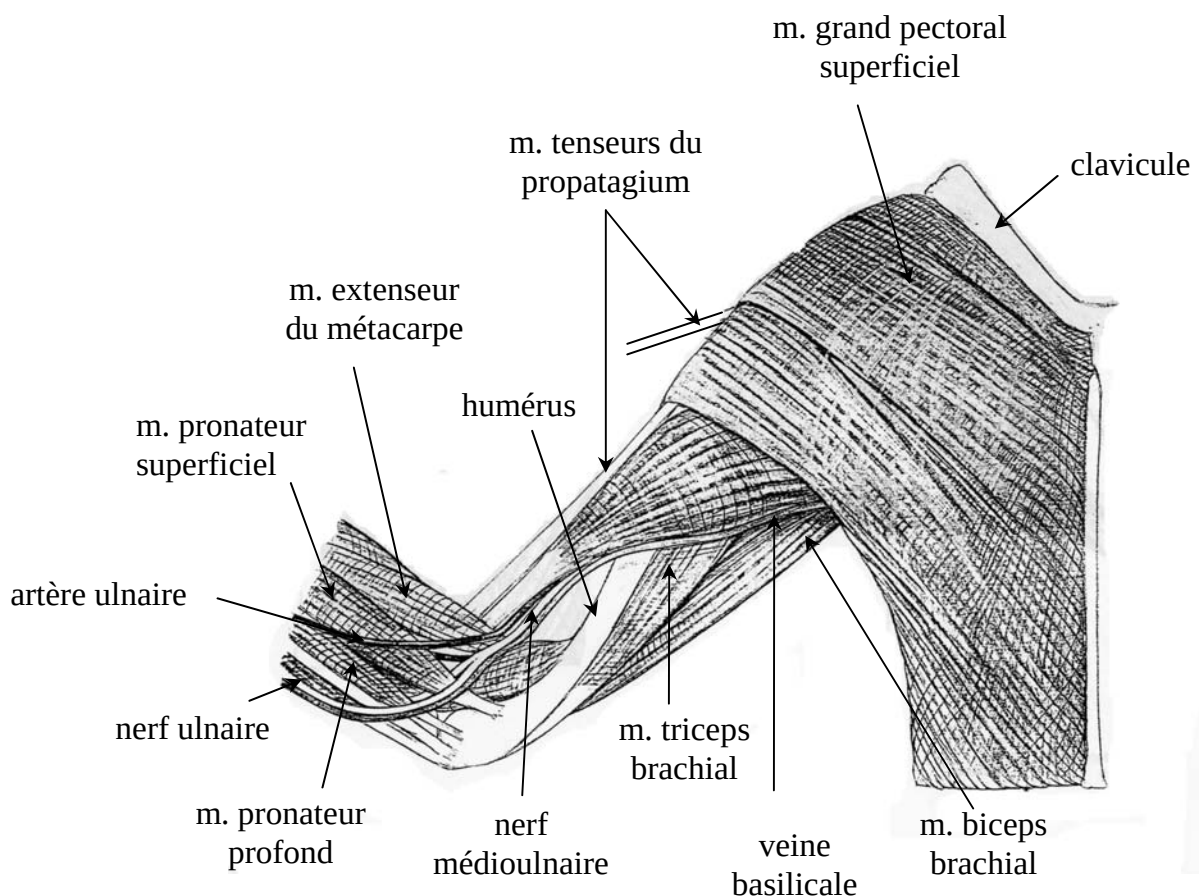


Figure 7 : Anatomie de l'aile des oiseaux. Vue ventrale (d'après Orosz et coll., 1992).

m. : muscle.

Dans le plan profond se trouve le muscle supra coracoïde qui chemine dans la gouttière formée (aussi nommée canal triosseux) par la clavicule, la scapula et l'os coracoïde et qui sert de poulie lors de la levée de l'aile, avec le muscle coracobrachial caudal qui s'insère sur la tubérosité ventrale de l'humérus. Le muscle coracobrachial crânial s'insère sur la tubérosité latérale de l'humérus et assure une rotation dorsale de l'humérus.

Cette zone est irriguée par les branches de l'artère et de la veine sous-clavières et est innervée par les branches musculaires du plexus brachial.

II.A.2 Le radius, l'ulna et la main

Au niveau distal, l'extenseur métacarpien radial, qui part de l'épicondyle de l'humérus et s'insère sur le premier os carpien, est donc un extenseur du carpe et un fléchisseur du coude. L'épicondyle de l'humérus est d'ailleurs une zone où s'insèrent, en effet, un grand nombre de muscles de cette partie de l'aile. Outre l'extenseur métacarpien radial, on y trouve l'extenseur commun des doigts dont le rôle est aussi d'aplatir l'alula contre le métacarpe pour stabiliser la position de l'aile. Du même épicondyle, part aussi le supinateur fléchisseur du coude et élévateur du bord crânial de l'aile (rotation dorsale).

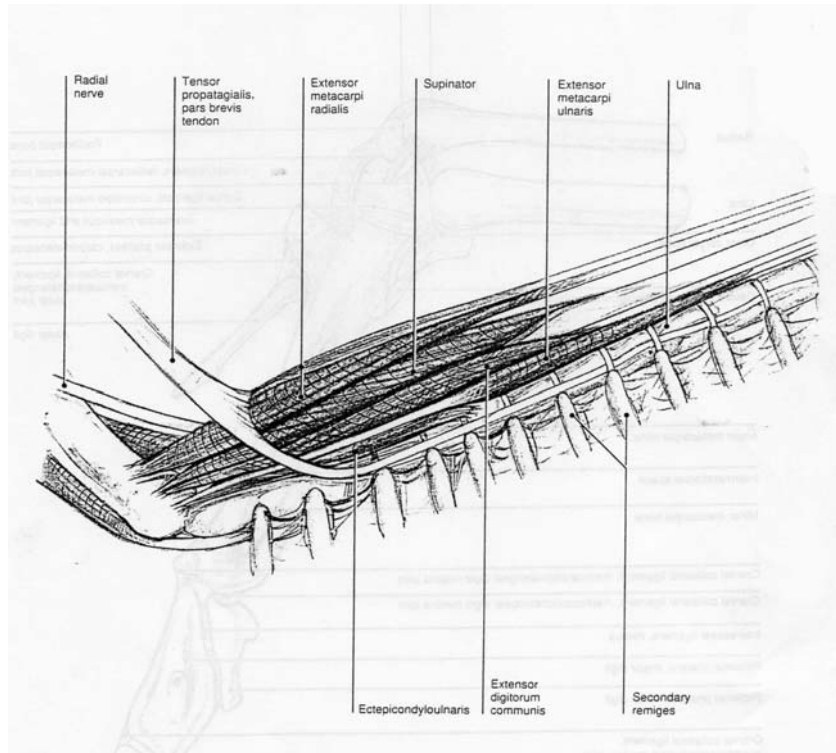


Figure 8 : Anatomie de l'avant-bras des oiseaux (d'après Orosz et coll., 1992).

L'extenseur du métacarpien ulnaire est aussi un muscle fléchisseur du coude mais est un des seuls muscles de l'aile à s'insérer directement sur l'ulna avec le muscle ectépicondylo-ulnaire, dont le rôle est très proche.

Le muscle ulnométacarpien dorsal est un petit muscle reliant la partie distale de l'ulna au métacarpe (figure 8). Avec les deux tendons, ulnométacarpien dorsal et fléchisseur carpien ulnaire, il assure une cohésion entre les rémiges primaires et secondaires annulant l'espace résidant entre la main et l'avant-bras (Orosz et coll., 1992).

La main de l'oiseau tient un rôle essentiel dans le vol ascensionnel et plané qui résulte de l'interaction d'un grand nombre de petits muscles coordonnant le mouvement des doigts (figure 9). En ce qui concerne l'alula il existe le petit extenseur alulaire, le fléchisseur, l'adducteur et l'abducteur alulaire; le doigt majeur est mobilisé par le grand extenseur et l'abducteur du doigt majeur. La flexion des doigts est assurée par quatre muscles différents : le muscle interosseux ventral, le fléchisseur du doigt mineur, les fléchisseurs superficiel et profond des doigts (Chavaren, 1990).

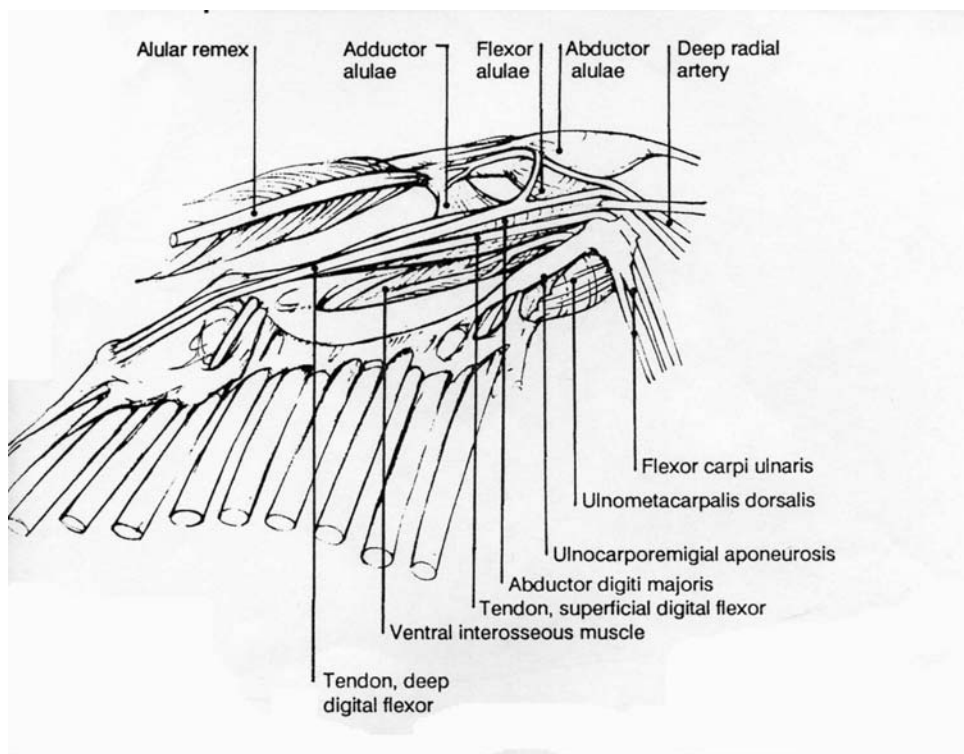


Figure 9 : Anatomie de la main des oiseaux, vascularisation de la main (d'après Orosz, 1994).

Les vaisseaux dans cette zone cheminent presque à découvert et apparaissent immédiatement sauf au niveau proximal où ils se faufilent entre les muscles. On y trouve une veine, la veine

ulnaire profonde et deux artères, l'artère radiale profonde et l'artère ulnaire superficielle ainsi que deux nerfs, le nerf médial et le nerf ulnaire.

Ce paragraphe montre que, chez les oiseaux, l'essentiel des muscles est concentré sur l'humérus et sur le métacarpe, le radius et l'ulna ayant surtout un rôle de transmission de forces de levier par l'intermédiaire de très nombreux tendons. Les rayons osseux de cette zone sont donc assez peu protégés, l'humérus proximal mis à part, par les masses musculaires. De même, les structures tendineuses et vasculaires cheminent directement au contact des os et de la peau, ce qui facilite le travail du chirurgien lors de l'abord de la fracture mais rend ces structures relativement vulnérables lors de traumatismes importants. De plus, certaines articulations, comme celles du carpe et du coude, sont très peu protégées et donc facilement lésées et/ou luxées. Pour le chirurgien, il sera donc nécessaire de trouver et de choisir des méthodes d'ostéosynthèse les plus stables et les moins délabrantes possibles.

II.B Fonctionnement de l'aile en mouvement

L'anatomie de l'aile est étroitement en lien avec l'évolution et l'adaptation au vol. Par exemple, le radius et l'ulna, très peu mobiles l'un par rapport à l'autre, sont incurvés de manière à contre carier les violentes forces de poussée s'appliquant durant le vol à cette partie du squelette. Cependant, c'est au niveau de la main que les remaniements sont les plus spectaculaires : sa structure s'est énormément simplifiée au fil de l'évolution notamment au niveau du carpe qui ne présente plus que deux os carpiens : le carpien ulnaire et le carpien radial, eux-mêmes soudés aux os métacarpiens en une palette sur laquelle vont s'insérer les rémiges primaires augmentant d'autant la surface portante de l'aile. Les doigts réduits au nombre de trois renforcent cette adaptation et ont un rôle de « palonniers » notamment grâce à l'ulna dotée de motilité propre visant à réduire les pertes d'altitude à faible vitesse.

Au repos, c'est à dire quand l'aile est repliée contre le corps, l'humérus est rabattu contre la cage thoracique. Lors de l'envol, il effectue une pronation, car l'articulation très particulière de l'épaule permet les mouvements dans les trois dimensions de l'espace. Les autres articulations de l'aile sont beaucoup moins mobiles, le coude ne permettant que des mouvements dans un plan et la main autorisant quelques mouvements tridimensionnels au niveau de l'alula.

Lors du vol battu, l'humérus commence par s'élever grâce aux muscles deltoïdes et aux muscles supra coracoïdes, puis les muscles pectoraux assurent principalement la descente de l'aile. La carène sternale, élastique, joue le rôle d'un ressort pour entretenir le mouvement. Chez les oiseaux planeurs, les pectoraux sont divisés en deux plans pour adapter le vol à la poussée des courants ascendants. Les mouvements de pronation et supination de l'humérus sont assurés par les muscles coracobrachial et scapulohuméral caudal.

Les mouvements du coude sont assez limités (les mouvements ne sont possibles que dans un seul plan) : la flexion et l'extension sont permises principalement par les muscles biceps (flexion) et triceps (extension). Lors de la flexion de l'aile, des muscles pronateurs et supinateurs autorisent une légère rotation de l'avant-bras.

C'est surtout au niveau du carpo-métacarpe qu'une variété de mouvements permet d'ajuster et d'affiner le vol. Un grand nombre de muscles s'insérant sur l'épaule et l'humérus voient leur prolongements tendineux ponter l'avant bras et s'insérer directement sur les os du carpo-métacarpe ; ce qui fait que les mouvements de l'humérus mobilisent l'aile tout entière. Aussi, les mouvements du carpe concernent la flexion et l'extension, ces dernières étant liées aux mouvements du coude lui-même : quand le coude est étendu, la main est en extension et inversement.

Les doigts peuvent se mouvoir les uns par rapport aux autres et c'est surtout l'alula qui est le plus mobile grâce à quatre petits muscles intrinsèques ayant des mouvements indépendants de ceux du coude et permettant l'extension, la flexion, l'élévation et l'abaissement de l'alula. Les deux autres doigts ont des mouvements concertés avec ceux du coude qui ont pour but l'extension ou la flexion des rémiges primaires (la flexion seule est initiée par deux petits muscles intrinsèques) (Chavaren, 1990).

On note que le nombre de muscles extenseurs est plus important que celui des fléchisseurs ; cela est dû au fait que, lorsque l'aile se replie, elle entraîne passivement la flexion de toutes les structures en aval de l'humérus par le jeu des poulies articulaires et des haubans tendineux. Ainsi, le doigt majeur doit ses mouvements à de petits muscles digitaux modifiant, par son élévation ou son abaissement, le bord d'attaque de l'aile par le jeu des rémiges primaires.

Le mécanisme du mouvement des rémiges est complexe (figure 10) et implique tous les muscles de la main ainsi que des structures de cohésion propres aux oiseaux comme le ligament interrémigial, capital dans sa fonction d'insertion et de cohésion des rémiges aux structures adjacentes (peau, os et muscles). En effet, les rémiges viennent s'insérer directement sur l'os en traversant la peau et sont maintenues dans cette position par le ligament interrémigial, ce long et solide ligament qui chemine sur toute la longueur de l'aile. Il est lui-même directement mobilisé par le muscle expenseur secondaire. Deux tendons interviennent directement sur les mouvements de rémiges : le tendon ulnométacarpien dorsal qui s'insère sur l'aponévrose ulnocarporémigiale et le tendon du fléchisseur carpien ulnaire qui renforce la cohésion des rémiges.

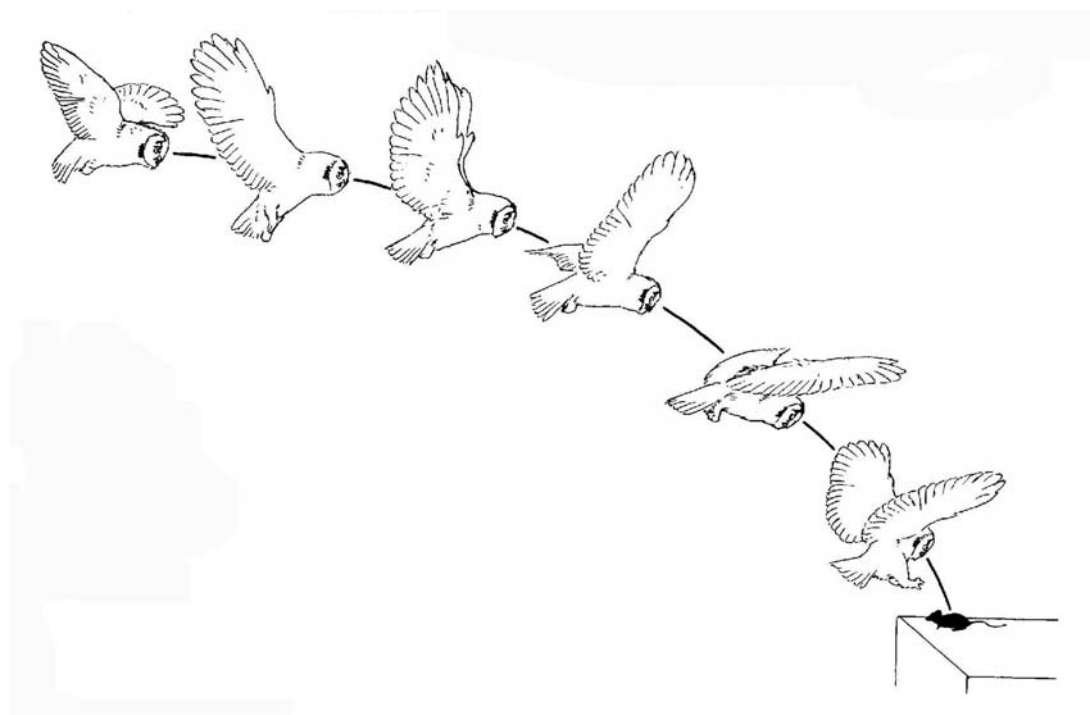


Figure 10 : Trajectoire d'attaque d'une Chouette de Tengmalm dans l'obscurité. Volant en aveugle, la chouette s'approche d'un lent battement d'ailes en incurvant sa trajectoire au fur et à mesure à l'ouïe (d'après Mebs et Scherzinger, 2006).

Lors de l'extension de l'aile, l'extension de l'humérus entraîne l'extension des doigts qui eux-mêmes induisent le déploiement des rémiges primaires entraînant à leur tour celui des rémiges secondaires grâce à la traction du ligament interrémigial. Ce déploiement est renforcé au niveau distal par l'aponévrose ulnocarporémigiale et le muscle ulnocarpien. Par ailleurs, le muscle expenseur secondaire contrebalance l'effet de la poussée latérale qui tendrait à déformer

les rémiges secondaires. Le repliement des rémiges lors de la flexion de l'aile est un mouvement quasiment passif. Grâce aux mouvements et à la souplesse des rémiges, l'oiseau réussit à créer au cours du vol une force ascensionnelle en canalisant l'air le long de ses rémiges et en le déviant vers le bas par la forme particulière de ses plumes.

L'énergie déployée pour le vol découle de l'intense activité métabolique aérobie des cellules des muscles de l'aile. Le fort pouvoir contractile des fibres rouges des muscles résulte du métabolisme oxydatif des graisses et du glucose. Ces fibres sont en effet très étroites et effilées ; elles ont une grande surface de contact rapportée à leur volume et cela favorise les échanges énergétiques.

L'aile apparaît donc comme une structure musculo-tendineuse extrêmement complexe permettant des mouvements très ajustés. Toute perte de motricité au niveau musculo-tendineux aura donc un effet très invalidant sur la capacité de vol ; la récupération fonctionnelle est donc une nécessité absolue et va orienter la cure chirurgicale.

II.C Propriétés de l'os des oiseaux

II.C.1 Rappels de la physiologie de l'os

Le tissu osseux est constitué de cellules différenciées et d'une matrice organique calcifiée, composée de fibres et d'une substance fondamentale imprégnée de sels de calcium. Les cellules du tissu osseux sont :

- les ostéoblastes qui génèrent le tissu osseux au sens strict,
- les ostéocytes, cellules de base de l'os, résultant de la différenciation des ostéoblastes,
- les ostéoclastes, responsables de la résorption du tissu osseux et de son remaniement.

En réalité, ces cellules proviennent toutes de cellules souches indifférenciées qui, par mitoses, évolueront soit vers des ostéoblastes, soit vers des ostéoclastes (figure 11). Les ostéoblastes deviennent des ostéocytes qui, comme les ostéoclastes et les ostéoblastes, ne se diviseront plus.

Toutes ces cellules évoluent au sein d'une matrice osseuse composée de sels minéraux et d'une phase organique. Les sels minéraux sont des cristaux d'hydroxyapatite et du phosphate de calcium amorphe.

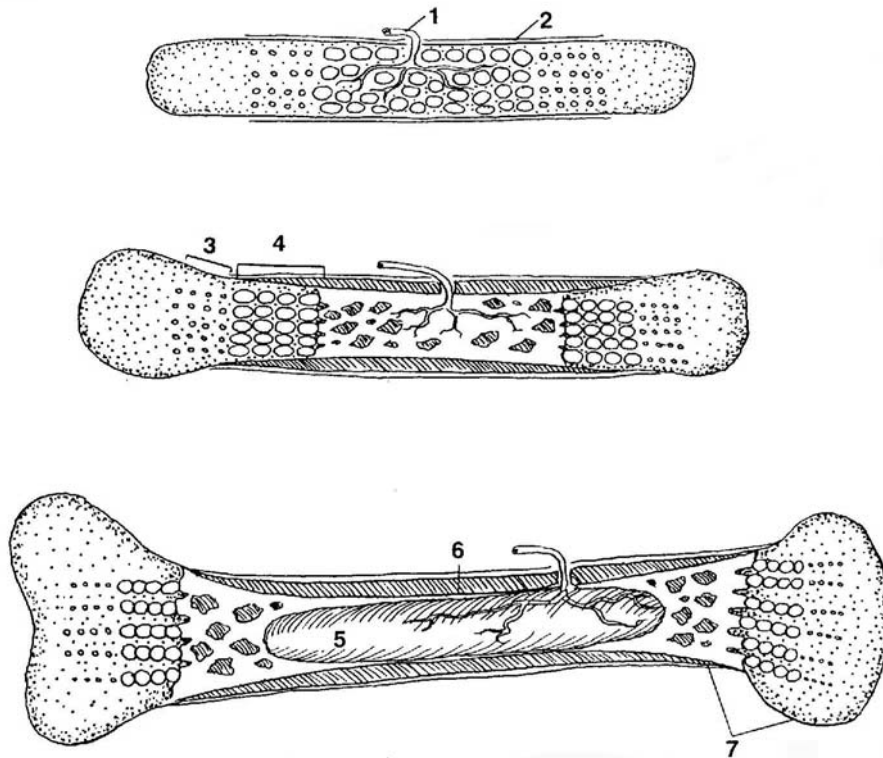


Figure 11 : Ossification des os longs des oiseaux entre le 9^{ème} et le 13^{ème} jour. Légende : 1, artère nourricière ; 2, périoste et plateau initial osseux ; 3, zone de prolifération ; 4, zone de maturation ; 5, cavité médullaire ; 6, cortex ; 7, épiphyse.

La matrice organique est constituée de fibres de collagène et d'une substance fondamentale composée de glycosaminoglycanes, d'électrolytes et de glycoprotéines. Elle est organisée en un système de petites cavités communiquant entre elles par des canalicules. Les cellules osseuses sont enchâssées dans ces cavités et émettent des prolongements cytoplasmiques dans les canalicules. Suivant l'architecture fine de la matrice osseuse elle-même, on distingue plusieurs types de tissu osseux : le tissu osseux non lamellaire dans lequel les fibres de collagène ont une disposition plus ou moins anarchique et le tissu osseux lamellaire où les fibres de collagène sont grossièrement parallèles. Le tissu lamellaire est plus solide que le précédent et est celui rencontré dans l'os adulte. Le tissu osseux non lamellaire se rencontre notamment lors des phases précoces de la cicatrisation des fractures.

Enfin, on distingue deux types histologiques de tissu osseux : l'os spongieux et l'os compact dont la répartition est différente suivant les types d'os considérés. Dans les os longs, ceux qui nous intéressent au premier chef, os spongieux et os compact sont présents simultanément. Dans l'os compact, les lamelles osseuses sont concentriques autour d'un canal, le canal de

Havers et sont orientées selon les contraintes mécaniques auxquelles l'os est soumis. Dans l'os spongieux, les systèmes de Havers sont plus courts et plus dilatés. La moelle osseuse est traversée de fin trabécules faisant office d'étayage de la structure.

L'os dans son ensemble est lui-même organisé en plusieurs parties au sein desquelles on trouve tel ou tel type de tissu osseux. Ainsi, s'ébauche une véritable « anatomie » de l'os long.

Dans les os longs, on distingue donc trois régions :

- la diaphyse, cylindre creux dont les parois appelées corticales sont constituées d'os très compact,
- l'épiphyse qui, chez les Mammifères, est constituée de tissu spongieux recouvert en ses extrémités de cartilage hyalin « articulaire »,
- la métaphyse, qui relie l'épiphyse à la diaphyse (Chancrin, 1992).

Le périoste est un tissu très important qui recouvre l'os tout entier sauf au niveau des cartilages articulaires. Il est constitué de deux couches, interne et externe. La couche interne possède des cellules conjonctives qui, dans certaines circonstances, peuvent se différencier en ostéoblastes et former de la substance osseuse ; cela est très important lors de la cicatrisation osseuse, notamment chez les oiseaux. La couche externe est constituée de fibres de collagène et de nombreux vaisseaux sanguins qui pénètrent dans le périoste et s'anastomosent aux canaux de Havers.

L'endoste est l'autre enveloppe, interne, de l'os. C'est un tissu conjonctif qui tapisse les parois de toutes les cavités de l'os. Il est constitué de cellules mésenchymateuses à potentialités ostéogénique et hématopoïétique.

L'os possède donc une puissante potentialité de régénération ; c'est ce qui se passe au cours du phénomène d'ossification, lors de la croissance ou lors d'une rupture de la solution de continuité de l'os, ou lorsqu'un tissu osseux apparaît dans un tissu non osseux dont il prend progressivement la place. L'os est un tissu très solide mais dynamique et en perpétuel remodelage (Autefage et coll., 1997).

II.C.2 Particularités de l'os des oiseaux

L'os des Oiseaux, tout en présentant une structure correspondant à celle décrite précédemment, possède des particularités intrinsèques uniques dans la classe des Vertébrés, en adéquation avec leur mode de vie.

La principale caractéristique de l'os des oiseaux consiste en la faible épaisseur des corticales. L'os en effet ne possède pratiquement pas de tissu spongieux et sa cavité médullaire est donc très importante. Celle-ci est occupée par de très nombreux trabécules concourant à renforcer la structure interne de l'os. La partie proximale de l'humérus est, chez de nombreux oiseaux, pneumatisée. Il s'agit en fait d'un diverticule du sac aérien scapulaire. Chez la chouette Effraie par exemple, les principales dimensions de l'humérus sont 8,5 cm de long, pour une épaisseur de 0,4 mm au centre de la diaphyse et un poids de 1,1 g, ce qui constitue une adaptation évidente au vol (Berges, 1999).

Malgré leur finesse, les corticales sont très solides. Les os de l'aile des oiseaux sont en effet soumis à des forces très importantes du fait de l'insertion des muscles du vol et des contraintes mécaniques appliquées lors de la locomotion. Cette résistance résulte de la structure et de la composition du tissu osseux chez les oiseaux. L'os est en effet fortement minéralisé ; ses proportions en divers sels minéraux n'est pas la même que chez les Mammifères.

De plus, l'os est un tissu très irrigué, et de manière différente selon l'origine des artères nourricières. La vascularisation de l'os au sens strict est assurée par un groupe d'artères anastomosées en position médullaire, qui, chez les oiseaux, drainent la majorité du sang. La vascularisation due aux vaisseaux métaphysaires et épiphysaires est plus anecdotique. La vascularisation d'origine corticale provient des artères des muscles s'insérant sur le périoste dont le rôle est capital pour l'élaboration du cal.

En ce qui concerne le système veineux, on distingue le système endomédullaire et le système périphérique traversant le périoste. Un implant fixé à la surface de l'os va donc toujours entraîner une ischémie et une nécrose en regard cet implant.

Il existe enfin un système capillaire au niveau de l'os cortical. Toute interruption de tissu osseux entraînera une nécrose, même limitée et ce, quelque soit le traitement chirurgical.

II. D La cicatrisation osseuse

Nous avons vu que l'os était un tissu de liaison particulièrement organisé, constitué d'une substance osseuse enserrée dans un lacis dense de fibres de collagène acquérant sa stabilité par stockage d'hydroxyapatite et de carbonate de calcium.

Les deux principales fonctions de l'os sont la mise en réserve des minéraux majeurs (P, Ca, Mg, Na, K) et une fonction de soutien. Les fractures apparaissent par dépassement de capacités mécaniques de l'os ; elles provoquent des réactions des tissus environnants.

La place singulière dévolue à la thérapie fracturaire s'explique, contrairement à d'autres processus de cicatrisation, par une récupération complète de l'état initial. Les phases de la réparation osseuse sont comparables à celles de la cicatrisation. Lors de la cicatrisation osseuse, en effet, on observe tout d'abord une prolifération du mésenchyme local et un développement d'un tissu cicatriciel appelé cal fracturaire. Ce processus débute avec la rupture de la paroi des vaisseaux qui conduisent à une hémorragie se déversant dans la brèche fracturaire. Ainsi, apparaît un hématome fracturaire dans la zone de fracture mais ce sont les fortes activités fibrinolytiques de l'hématome fracturaire qui ralentissent le processus de réparation de la fracture. Par l'utilisation d'inhibiteurs naturels des protéinases, on peut freiner ces activités.

Après l'occlusion des arborisations capillaires et de leurs extrudas, il se forme un tissu de granulation, sous l'effet des fibroblastes et des ostéoclastes. A l'intérieur du tissu de granulation se développe un nouveau tissu, le cal, constitué de substance interstitielle non solide. L'étape suivante est la constitution d'un tissu interstitiel fibrillaire, avec dépôt de cristaux d'hydroxyapatite sur les fibres de collagène. Puis les cellules mésenchymateuses indifférenciées se transforment en ostéoblastes qui produisent de l'ostéine, finalement minéralisée. Il se forme des travées de fibres osseuses sans dépôt d'ostéoblastes qui opèrent une liaison mécanique entre les abouts osseux (Grimm et Siebel, 1986).

Ce cal provisoire n'est pas encore stable, s'il est rompu ou maltraité, il peut conduire à une pseudarthrose. En règle générale, l'os fibreux est progressivement détruit et remplacé par de l'os lamelleux qui constitue le cal définitif. C'est ainsi que les deux abouts fracturaires sont progressivement réunis ; lors du déroulement de ce "pontage" et de la réunion des fragments, on observe une longue phase de destruction en profondeur du tissu osseux, le faisant passer d'un état fibreux à un état lamelleux à l'origine du cal osseux définitif.

La cicatrisation osseuse angiogène primaire, qui peut être assimilée à une cicatrisation de contact est, contrairement aux cicatrisations secondaires, spontanées ou indirectes, un processus au cours duquel les structures originelles des ostéons de l'os sont rétablies. Lorsque les bouts osseux sont maintenus dans une stabilité parfaite et comprimés l'un sur l'autre, de nouveaux ostéons forment un pontage au niveau du trait de fracture et réunissent les extrémités osseuses. L'évolution de la réparation osseuse dans ce cas se fait sans cicatrice apparente avec restitution *ad-integrum*. Il peut se produire néanmoins dans ce cas une réaction périostée, pas forcément localisée au trait de fracture mais, la plupart du temps, la conséquence du traumatisme initial ou d'une intervention chirurgicale. A l'endroit où les bouts se font face avec plus ou moins de distance, au niveau du foyer de fracture, il se construit selon le degré de stabilité, de l'os lamellaire primaire (figure 12).

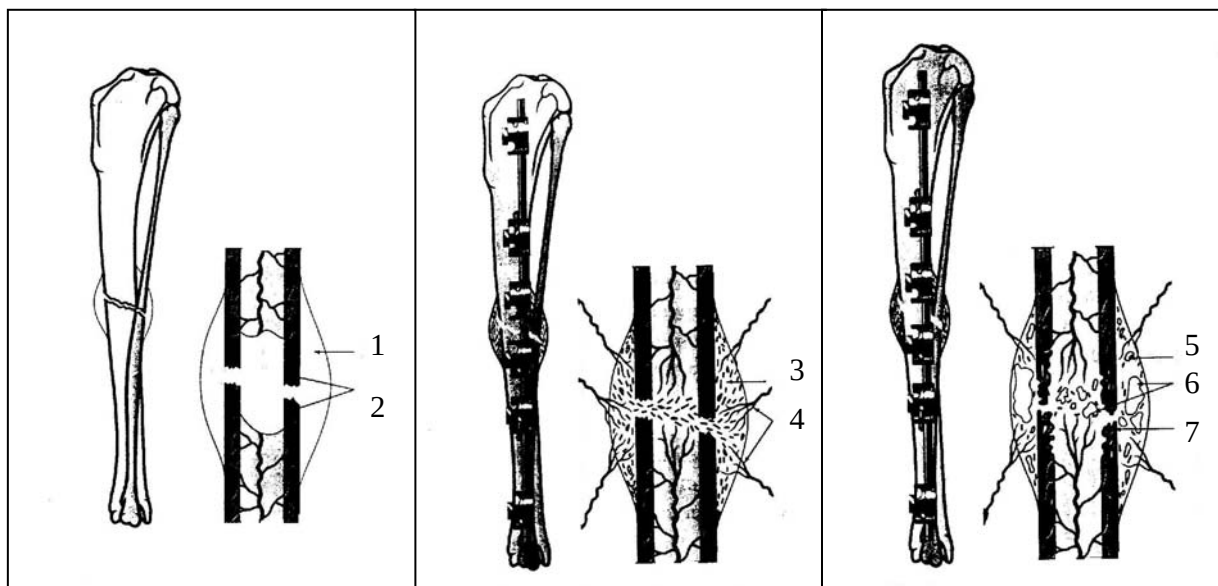


Figure 12 : Aspect de la zone fracturaire: à gauche, quelques heures après l'accident (1 : l'hématome fracturaire s'est constitué, il englobe les extrémités fracturaires, 2 : les bouts osseux ne sont plus vascularisés) ; au milieu, une à deux semaines après (3 : l'hématome a été remplacé par un tissu de granulation ; 4 : une intense vascularisation osseuse mise en place) ; à droite, quatre semaines après le traumatisme (5 : du tissu osseux immature s'est constitué à la périphérie des fragments osseux formant le début du cal osseux périphérique ; 6 : des îlots cartilagineux se sont développés au sein du foyer fracturaire ; 7 : l'os nécrosé des extrémités osseuses est en voie de résorption) (d'après Woodard et Riser, 1991).

L'édification de cet os lamellaire primaire ne suit pourtant pas forcément l'axe du fût osseux, mais l'axe du trait de fracture. Le remaniement interne de la structure osseuse originelle au sein du trait de fracture fait suite au processus primaire de comblement angiogène de l'os. Cette cicatrisation au niveau du trait de fracture recouvre deux niveaux de cicatrisation osseuse, d'abord, une ossification primaire et, ensuite, une restitution de la structure osseuse d'origine par remaniement.

La cicatrisation osseuse secondaire ou spontanée intervient seulement dans le cas où les abouts fracturaires ne sont pas absolument cohésifs : c'est le cas de la cicatrisation osseuse sans traitement conservateur, ou bien lors d'une angulation des abouts osseux à la suite d'une absence de solidification suffisante de la fracture. Les ostéosynthèses laissant à de petits fragments des mouvements appartiennent à cette catégorie.

En effet, la thérapie fracturaire primaire et sans cal suppose une immobilisation suffisante de la zone de fracture pendant toute la durée de la cicatrisation par l'intermédiaire d'ostéosynthèses rigides. La voie prioritaire prise par l'ossification dépend de la fracture elle-même, mais aussi de la manière de traiter cette fracture et surtout de son environnement biomécanique (Meyrueis et coll., 1983).

La biomécanique de la cicatrisation par seconde intention a été étudiée par Pauwels (1965) qui a montré qu'il existe des forces mécaniques exerçant une influence sur les directions que prennent les lignées de cellules pluripotentes en cours de différenciation, quel que soit le mode de cicatrisation, primaire ou secondaire. Il a distingué trois stades au cours de la cure chirurgicale :

- le 1^{er} stade : dès ce niveau, l'influence de facteurs externes au foyer de fracture concourent à une immobilisation des abouts mais les tensions musculaires entraînent, à l'inverse, plutôt une angulation des abouts. L'immobilisation est obtenue par diminution des contraintes mécaniques exercées par le biais de muscles antagonistes ainsi que par la formation d'un œdème au site du foyer de fracture. Ce nouvel état d'équilibre contribue à stabiliser les abouts osseux.

- le 2^{ème} stade où les abouts osseux sont reliés et, en quelque sorte, haubanés au niveau du trait de fracture par dilatation des fibres de collagène ou par néoformation de vaisseaux cicatriciels induits par la pression des abouts les uns sur les autres. Il apparaît ainsi une véritable charpente qui, toujours dans le cas d'une stricte immobilisation, conduit au 3^{ème} stade par comblement par du tissu osseux.

- lors du 3^{ème} stade, la mise en compression et les stimulations mécaniques vont déterminer le mode de cicatrisation, c'est-à-dire à la formation d'os ou de tissu conjonctif. La liaison osseuse à ce stade est, de par la trajectoire empruntée par les travées de fibres collagéniques, orientées dans l'espace. A l'inverse, au voisinage du foyer cicatriciel, les travées collagéniques ne sont pas orientées selon une direction précise car, à ce niveau, les tissus néoformés s'organisent en un lacs très dense.

- l'édification d'un cal provisoire et fonctionnel définit le 4^{ème} stade. A ce stade, dès l'apparition des premières travées osseuses, l'influence du tissu osseux sur la cicatrisation est déterminante sur le déroulement futur de la cure chirurgicale ainsi que sur la réussite fonctionnelle du cal (Latte et Meynard, 1997).

Lors de variations de l'état statique, par exemple, avec des poussées latérales ou de cisaillement sur le fût osseux, il arrive que l'on perturbe le bon déroulement de la cicatrisation. On aboutit alors à l'apparition d'une pseudarthrose, ainsi définie par Pauwels : « la pseudarthrose est une interruption mécanique de la cicatrisation osseuse au stade de l'élaboration du conjonctif ». D'autres facteurs peuvent induire l'apparition d'une pseudarthrose tel un déficit vasculaire résultant de la destruction des tissus conjonctifs, ou un phénomène septique localisé, d'où l'importance de conserver autant que possible l'intégrité des tissus jouxtant le foyer de fracture, à condition toutes fois que ceux-ci ne soient pas nécrosés.

Il apparaît donc que les premières conditions d'une cure chirurgicale correcte demeurent une immobilisation suffisante dans un environnement de tissu conjonctif aseptique.

IIème PARTIE : HOSPITALISATION DU PATIENT **TRAUMATISE ET LES DIFFERENTES OSTEOSYNTHESES**

I - Examen de l'animal

Bien des erreurs de diagnostic ou des manipulations intempestives pourraient être évitées si l'examen du patient était mené dans de bonnes conditions et avec logique. Cela est d'autant plus vrai pour les oiseaux sauvages qui sont souvent recueillis dans des états bien plus critiques que ne le seraient des animaux domestiques accidentés. Pourtant, le vétérinaire dispose d'un arsenal thérapeutique de gestion des traumatismes et quelques notions pratiques de médecine aviaire suffisent à venir à bout des cas les plus courants (Roush, 1980). Nous allons préciser cette démarche dans le cas d'oiseaux blessés.

I.A Examen clinique

I.A.1 Recueil des commémoratifs

Dans un premier temps, il est important de recueillir les commémoratifs susceptibles de fournir des informations judicieuses et d'orienter le diagnostic, car les traumatismes des oiseaux sont souvent multifactoriels. Les renseignements indispensables à collecter sont la date, l'heure, le lieu de la découverte ainsi que son environnement (lignes à haute tension par exemple), les éventuels soins prodigués par le découvreur, la durée du séjour chez celui-ci et les conditions de transport.

I.A.2 Observation à distance

Il faut ensuite déterminer si possible l'espèce de l'animal, son âge, son sexe s'il existe un dimorphisme sexuel dans l'espèce, comme chez les Falconiformes. En effet, certaines espèces sont plus sensibles que d'autres à des traitements, ou plus sujettes à un stress morbide et nécessiteront une manipulation plus « économe » ; comme par exemple des éperviers. Dans tous les cas, l'examen à distance doit être aussi discret que possible et l'on s'efforcera de ne pas être vu ni entendu de l'animal (Vienet, 2001).

L'examen des fèces fournit aussi une indication utile quant à l'état physiologique de l'animal : la présence de sang signe une hémorragie interne de sombre pronostic ; un aspect verdâtre et liquide trahit un jeûne prolongé ; la présence d'une phase pâteuse blanche et sèche révèle une déshydratation (Rault, 2005).

Puis l'habitus de l'oiseau, sa posture, ses mouvements seront observés. Un bec ouvert traduit une dyspnée, souvent en relation avec le stress de la captivité ou de la contention. Il faut particulièrement veiller au port de l'aile qui, en cas de fracture, est presque toujours anormal : une aile relevée distalement signe une atteinte de l'épaule ou de l'humérus proximal ; au contraire, une fracture médio diaphysaire peut n'engendrer aucune modification du port de l'aile (figure 13). Enfin, une aile pendante trahit une lésion au niveau de l'humérus distal ou du secteur radio ulnaire (Simpson, 1996).

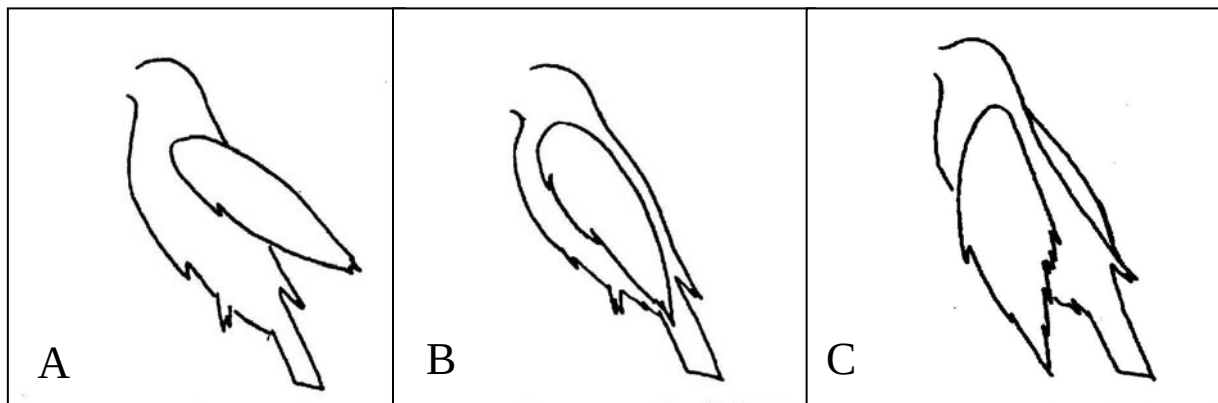


Figure 13 : Habitus de l'oiseau signant une fracture de l'épaule ou de l'humérus proximal; B, une fracture du milieu de l'humérus ou du milieu de la région radio-ulnaire; C, une fracture de la région moyenne ou distale radio-ulnaire (d'après Simpson, 1996).

I.A.3 Examen rapproché

L'examen rapproché sous-entend la contention de l'animal et son auscultation. Or, il est souvent difficile de tenir l'oiseau et de l'inspecter simultanément ; mieux vaut donc se faire aider. Souvent, une serviette permet de masquer la tête de l'oiseau et ainsi minimiser son stress. On a alors tout loisir pour vérifier son état d'embonpoint par palpation des muscles pectoraux qui sont un bon révélateur de l'état physiologique de l'animal. On distingue trois stades d'état corporel à la palpation des muscles pectoraux (figure 14).

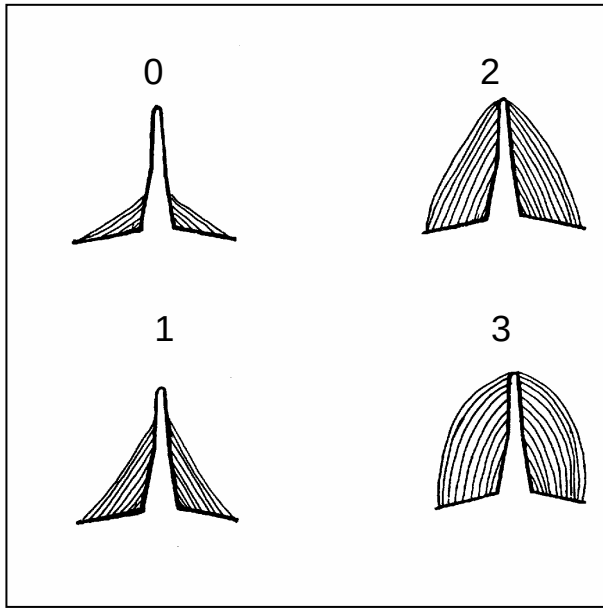


Figure 14 : Sections sagittales du sternum indiquant l'état d'entretien : 0 : très faible, 1 : faible, 2 : bon état général, 3 : gras (d'après Forbes et Lawton, 1996).

L'intégrité des organes sensoriels et la présence éventuelle d'écoulements sanguins au niveau de la cavité buccale ou des oreilles sera réalisé par auscultation de la tête. Un port anormal de tête peut être le signe de maladies intercurrentes ou de commotions cérébrales.

L'exploration de la cavité buccale fournit des renseignements sur l'état de déshydratation de l'animal : la présence de filaments muqueux signe une déshydratation légère, de pseudo-membranes blanchâtres révèlent une déshydratation plus sévère. L'évaluation du degré de déshydratation est en effet une étape importante de l'examen de l'animal et doit être systématique avant toute prise de décision chirurgicale. On estime que tout oiseau recueilli est déshydraté par défaut au minimum à 5 %. Entre 5 et 10 %, la peau est adhérente, à partir de 10 %, des membranes apparaissent dans la cavité buccale, les membres sont froids et les yeux secs ou parfois clos. Il faut dans ce cas envisager une réhydratation *per-os* ou, si l'oiseau est très faible, par voie parentérale avant tout autre intervention (Heidenreich, 1987).

L'auscultation des différentes parties du corps doit être complète et minutieuse afin de détecter d'éventuelles plaies ou hématomes, mais ce n'est pas toujours facile avec la couverture de plumes.

La mise en évidence d'un traumatisme au niveau des ailes se fait par palpation circonspecte des membres en prenant bien garde de ne pas aggraver les lésions existantes. Lors d'une fracture, les bouts osseux, vu la minceur des corticales, deviennent souvent coupants et pointus donc tout mouvement intempestif peut avoir de graves répercussions sur les tissus

mous avoisinants. En général, les fractures sont assez faciles à mettre en évidence : des craquements et des crépitations sont pathognomoniques. De plus, vu la minceur des tissus mous au voisinage des os de l'aile, l'hématome fracturaire est souvent immédiatement reconnaissable et sa couleur donne une indication sur l'ancienneté de la fracture.

Il est très utile de palper les deux ailes simultanément afin de discerner toute anomalie. Par exemple, certaines luxations ou des fractures du radius seul sont parfois difficiles à mettre en évidence. On peut aussi discerner tout désordre osseux ou ligamentaire en dépliant précautionneusement les deux ailes et contrôler la flexion qui est réflexe, chez les oiseaux. L'extension se vérifie en faisant levier sur le coude et l'humérus, l'aile doit se déplier dans un plan. Enfin, la motricité et la proprioception des ailes sont testées en maintenant l'oiseau par les pattes et en simulant une chute qui doit déclencher un vol battu (Berges, 1999).

Lorsque le bilan complet de l'état de l'oiseau est fait, on doit affiner le champ d'investigations diagnostiques par des examens complémentaires de deux types : via un prélèvement sanguin et grâce à une radiographie.

Les prélèvements sanguins se font, soit au niveau de la veine basilare accessible par la face ventrale de l'humérus, chez les oiseaux d'un poids supérieur à 300 g, soit au niveau de la veine jugulaire, chez les sujets de grande taille. Pour les oiseaux débilités, une analyse sanguine (numération, formule) permet de révéler les besoins en métabolites de l'animal ou une éventuelle maladie infectieuse (Rault, 2005). Lorsqu'on suspecte d'emblée un traumatisme osseux, il vaut mieux s'orienter vers un examen radiologique.

I.B Diagnostic radiologique

Le diagnostic radiologique en traumatologie osseuse aviaire revêt une importance capitale puisqu'il fournit un diagnostic de certitude et permet d'extrapoler la cure chirurgicale adéquate. Il permet aussi un suivi de la convalescence du patient et de la cicatrisation osseuse. Néanmoins, il faut toujours garder à l'esprit que l'« on n'opère pas une radio » et que la radiographie ne donne qu'une faible indication quant à la solidité du cal de fracture. En effet, dans le meilleur des cas, une fracture se stabilise en 2 à 3 semaines alors que l'image radiologique du cal n'apparaît qu'au bout de 3 à 6 semaines.

Nonobstant la particularité des repères anatomiques des oiseaux, il est toujours très utile lorsque l'on suspecte un problème sur un membre, de radiographier le membre controlatéral en vue de comparaison.

I.B.1 Constantes et matériels

Radiographier des oiseaux demande d'observer quelques recommandations qui tiennent compte à la fois de l'anatomie et de la physiologie.

Les corticales osseuses sont très fines et nécessitent donc des clichés à fort contraste. De plus, les clichés sont souvent faits sur animal vigile aux mouvements vifs et intempestifs ainsi qu'à la respiration rapide ; il convient donc de minimiser les temps d'exposition. Les temps les plus communément utilisés sont de l'ordre de 5 millisecondes pour 200 à 300 milliampères. Le voltage doit avoir des valeurs basses d'environ 50 kV pour obtenir des images contrastées. Des cassettes à émission verte ou aux terres rares sont recommandées pour une meilleure définition.

I.B.2 Contention et positionnement

Il est toujours préférable de se faire aider pour la contention d'un rapace sur la table de radiographie, surtout pour un animal vigile (figure 15). Certaines espèces très vives ou sujettes au stress nécessiteront une anesthésie préalable (faucons, éperviers).

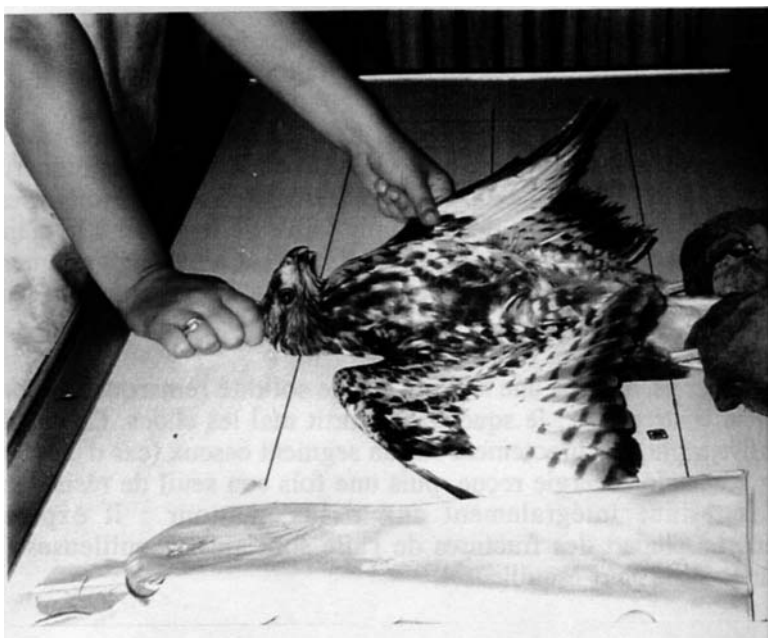


Figure 15: Position et contention d'un rapace pour la radiographie (d'après Berges, 1999).

L'incidence la plus communément employée est l'incidence dorsoventrale, les ailes déployées en semi-flexion et la tête maintenue bien droite. Les positions en décubitus dorsal et latéral

offrent la même perspective de l'aile ; seule la position crâniocaudale où l'oiseau est maintenu perpendiculaire à la table et l'aile étendue contre la plaque fournit une autre incidence.

Il faut remarquer que chez les femelles, il existe souvent une hyperostose physiologique en position médullaire, caractéristique de la production de matériaux minéraux précurseurs de la coquille des œufs ; cette image ne doit en aucun cas être interprétée comme un processus pathologique.

La radiographie est classiquement un examen de choix pour déterminer le résultat d'une ostéosynthèse et le bon déroulement de la cicatrisation osseuse par l'apparition de l'image du cal. Bien que, dans de nombreux cas, une extrapolation sur la solidité du cal doive faire l'objet de beaucoup de prudence, le diagnostic radiologique offre une très fidèle évaluation des éventuelles complications rencontrées lors de la convalescence : arthrites, ostéolyse ostéomyélites au voisinage des implants.

En général, le cal apparaît radiodense aux environs du 21^{ème} jour et les propriétés biomécaniques sont rétablies aux environs du 35^{ème} jour, mais on observe couramment des fractures solidifiées après la 4^{ème} semaine dans les meilleures conditions.

Les clichés radiographiques fournissent d'autre part un diagnostic irréfutable d'un acte de chasse par la présence des plombs radio-opaques et il est souvent utile de radiographier l'animal en totalité et sous plusieurs incidences pour établir un bilan d'extension, localiser avec précision les plombs et déceler d'éventuels traumatismes supplémentaires occasionnés par les projectiles.

I.C Traitement conservateur

Le traitement conservateur concerne avant tout le traitement orthopédique, c'est à dire l'application d'un pansement contentif dont le rôle est multiple :

- il procure une immobilisation relative du membre de l'oiseau dans l'attente d'une intervention chirurgicale ultérieure, notamment dans le cas d'une fracture ouverte pour laquelle le traitement de la plaie est primordial.
- il immobilise l'aile après une opération de chirurgie.
- il constitue malheureusement parfois le seul traitement dont peut disposer le praticien dans certains cas de fractures non réductibles ou lors de luxations coercibles sur des sujets de petite taille. Le patient doit alors supporter une convalescence longue et une contention prolongée

en milieu confiné car la cicatrisation osseuse est d'autant ralentie que la stabilisation de la fracture est imparfaite avec le risque majeur d'apparition de pseudarthrose.

Dans tous les cas il importe d'empêcher les mouvements intempestifs de l'animal qui aggraverait les lésions internes, les abouts osseux agissant souvent comme de véritables hachoirs vis à vis des tissus mous adjacents. Or, l'intégrité des tissus conjonctivo-musculaires est capitale pour la phase de cicatrisation de la fracture. Fort heureusement, la forme aérodynamique de l'oiseau épouse le creux de l'aile de sorte que le maintien de l'aile en flexion près du corps opère une réduction approximative de l'humérus. Il sera donc toujours plus facile de faire un bandage de l'aile en flexion qu'en extension ou en semi-flexion. De plus, les pansements sur des segments distaux sont plus difficiles à réaliser que sur les segments proximaux, d'autant plus que l'animal a plus tendance à s'arracher les pansements réalisés sur une aile pendante que sur une aile plaquée le long du corps (Mac Coy, 1996).

Ce pansement contentif n'est efficace que s'il est suffisamment étendu, condition parfois difficile à concilier avec le devoir de minimiser le stress dû à une contention volumineuse, chez les oiseaux. Cependant, une fracture ne peut être immobilisée que si les deux articulations adjacentes sont elles-mêmes immobilisées. Par exemple, pour une fracture de l'humérus, il faut réaliser un pansement du coude à l'épaule, ce qui est assez difficile à réaliser en pratique, compte tenu de l'anatomie de l'aile.

Ensuite, le pansement doit être d'application rapide et commode, permettre la surveillance de la zone blessée et de la vascularisation du membre.

Le pansement est le plus souvent de type rembourré, formé de coton ou de compresses et de bandes type Velpau et collantes. Le bandage à l'aide de bandes cohésives type VetrapND est très utile pour l'obtention de pansements non vulnérants, car il permet une contention correcte sans avoir besoin de coller le pansement directement sur le plumage, ce qui peut être parfois extrêmement dommageable pour des plumes importantes comme les rémiges et compromettre la récupération fonctionnelle totale du vol.

Il faut prendre garde néanmoins de ne pas utiliser la couleur rouge ou des couleurs vives qui, chez les rapaces, provoquent un stress dont la conséquence est invariablement l'arrachage du pansement.

Les deux grands types de pansements contentifs, pansement maintenant l'aile en flexion ou en semi-flexion sont présentés successivement.

I.C.1 Pansement maintenant l'aile en flexion

Pour contenir une fracture non encore réduite ou non réductible, l'aile est maintenue plaquée le long du corps à l'aide de bandes élastiques ou d'une chaussette type jersey, enveloppant le corps entier mais ne laissant libre que l'aile saine et les pattes.

Le pansement maintenant l'aile en flexion peut être appliqué selon deux modalités : soit en bandoulière résultant de l'application de deux bandes qui se croisent sur le thorax et sur le dos, soit en baudrier où l'une des deux bandes est appliquée au niveau de la ceinture scapulaire et l'autre au niveau de la ceinture pelvienne, le tout étant assemblé par une bandelette en position ventrale et dorsale (figure 16). Ce type de pansement est surtout préconisé lors de traumatismes de l'humérus.

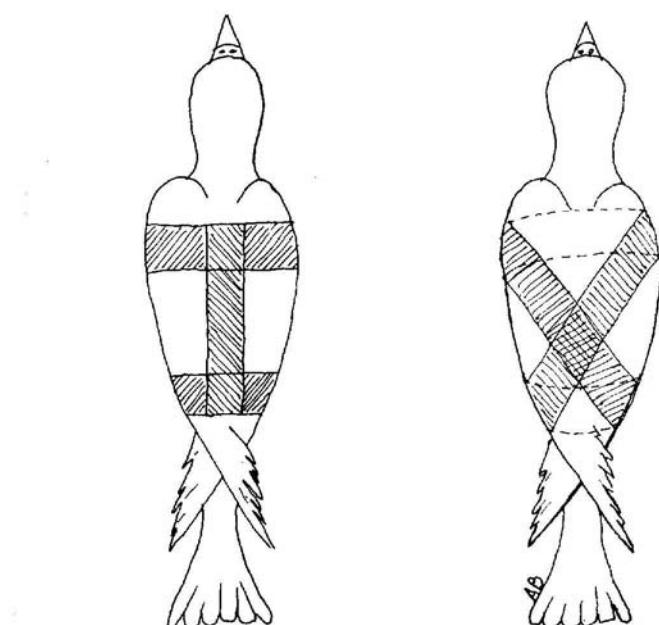


Figure 16: Deux manières de maintenir l'aile en flexion, en baudrier à gauche et en bandoulière à droite (d'après Bennett et Kuzma, 1992).

I.C.2 Pansement maintenant l'aile en semi-flexion

Le pansement maintenant l'aile en demi-flexion présente l'inconvénient d'être plus délicat à réaliser et d'offrir une contention moins forte que le précédent, bien qu'il permette de se rapprocher de la position physiologique. C'est le pansement à choisir en postopératoire. Il peut se réaliser de plusieurs manières :

- le pansement en 8, dit d'Ehmer (figure 17), se présente sous la forme d'un 8 qui entoure les articulations du coude et de la main (il est quasiment impossible à réaliser sur l'humérus), la branche diagonale du huit passant entre les rémiges 6 et 7 de l'avant-bras.

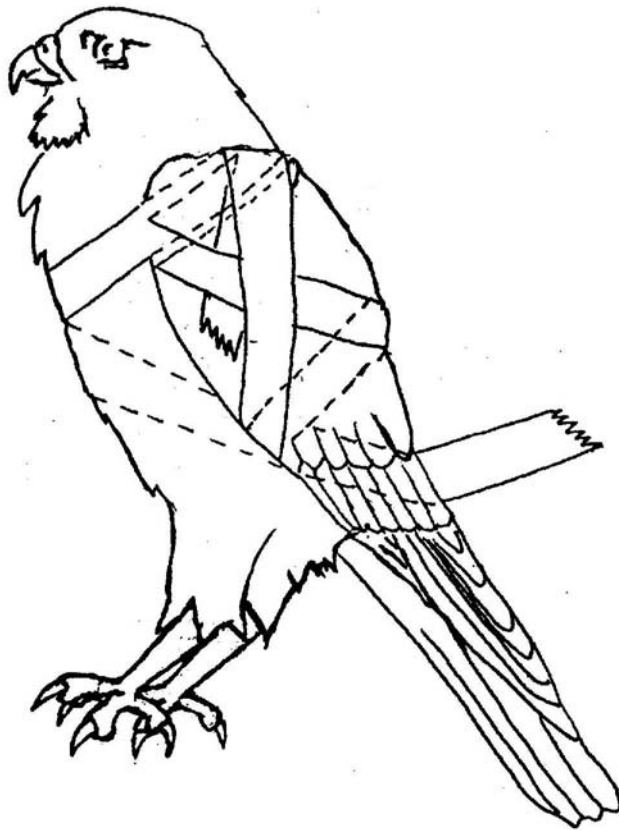


Figure 17 : Pansement en 8 non adhésif, permettant d'immobiliser l'aile contre le corps (d'après Beynon et coll., 1996a).

- le pansement de type « boîtage » où l'avant-bras est maintenu par des compresses solidarisiées par des bandes collantes type élastoplasteND (figure18). Pour une meilleure contention, on peut englober quelques rémiges de la main et du bras. Une bride entre les rémiges 10 et 11 maintient la cohésion de l'ensemble. Ce pansement s'applique aussi à la main et peut être amélioré par l'adjonction d'une attelle en aluminium léger rembourrée sur sa face interne.

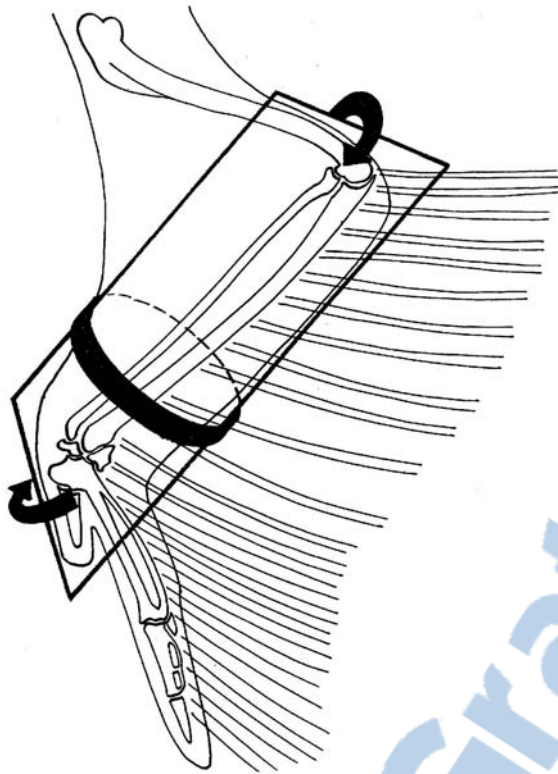


Figure 18 : Technique de pansement sur l'avant-bras avec une bride de renforcement qui ne passe qu'une fois entre les rémiges secondaire (d'après Berges, 1999).

- le pansement en « V » utilisé pour immobiliser l'avant-bras. On utilisera préférentiellement une bande cohésive type VetrapND (figure 19) ; pour assurer un point d'ancrage sur l'aile, on solidariser les premières rémiges ensemble qui joueront le rôle d'attelles le long de l'avant bras.

D'autres types de pansements peuvent intervenir au cours de la cure chirurgicale et leur choix dépend du type d'ostéosynthèse envisagée. Par exemple, la pose d'un système de fixation externe nécessite un nursing quotidien voir biquotidien, avec des pansements antiseptiques au contact de l'interface peau-broches afin de maintenir un environnement stérile au niveau du fixateur.

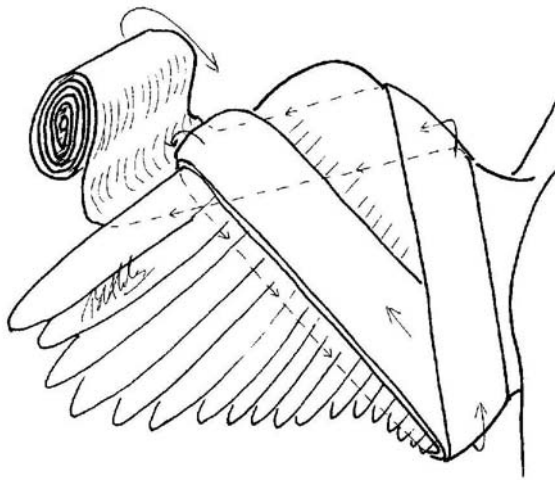


Figure 19 : Principe de bandage de l'aile avec un pansement type VetrapND. Les flèches indiquent le sens d'application de la bande (d'après Coles, 1996).

Coles (1996b) a proposé un dispositif original d'attelle constituée par une plaque en matière plastique ajourée et thermoformable que l'on fixe sur l'aile à plat à l'aide de sutures prenant appui sur la base des rémiges secondaires directement au contact de l'ulna en prenant bien garde de ne pas blesser la veine et l'artère ulnaire (figure 20).

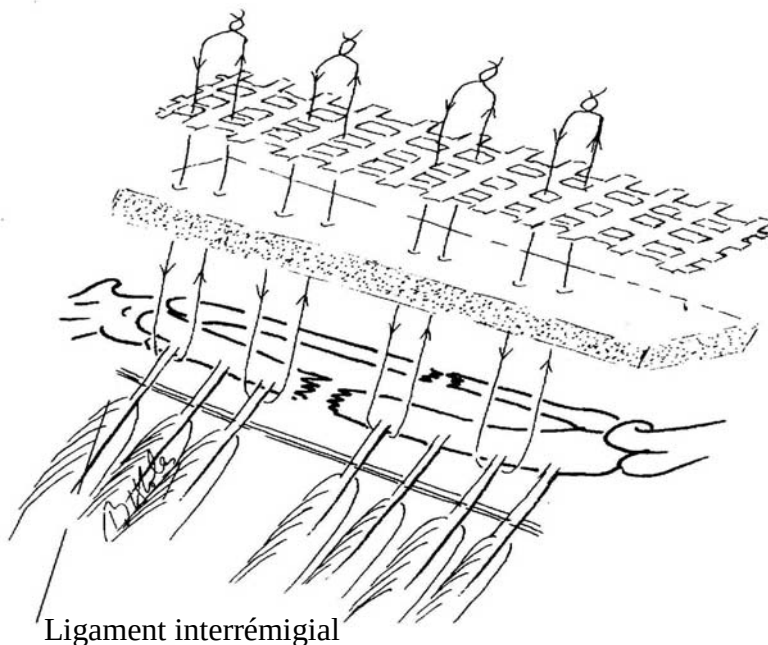


Figure 20 : Diagramme pour illustrer comment placer une attelle externe quand l'ulna et le radius sont fractures (d'après Coles, 1996).

L'avantage de la contention orthopédique est sa simplicité de mise en œuvre, son coût modeste et l'utilisation de peu de matériel ni de techniques spécialisées ainsi qu'un risque septique tout à fait mineur. Elle ne nécessite en général qu'une anesthésie de courte durée voire pas d'anesthésie du tout. Cependant, les inconvénients sont aussi nombreux. Une immobilisation prolongée favorise les pseudarthroses atrophiques ou hypertrophiques, les atrophies musculaires, les fibroses tendineuses et les ankyloses articulaires, qui dans de nombreux cas, prédisposent le patient à des affections intercurrentes regroupées sous le vocable de « maladie fracturaire » (figure 21).

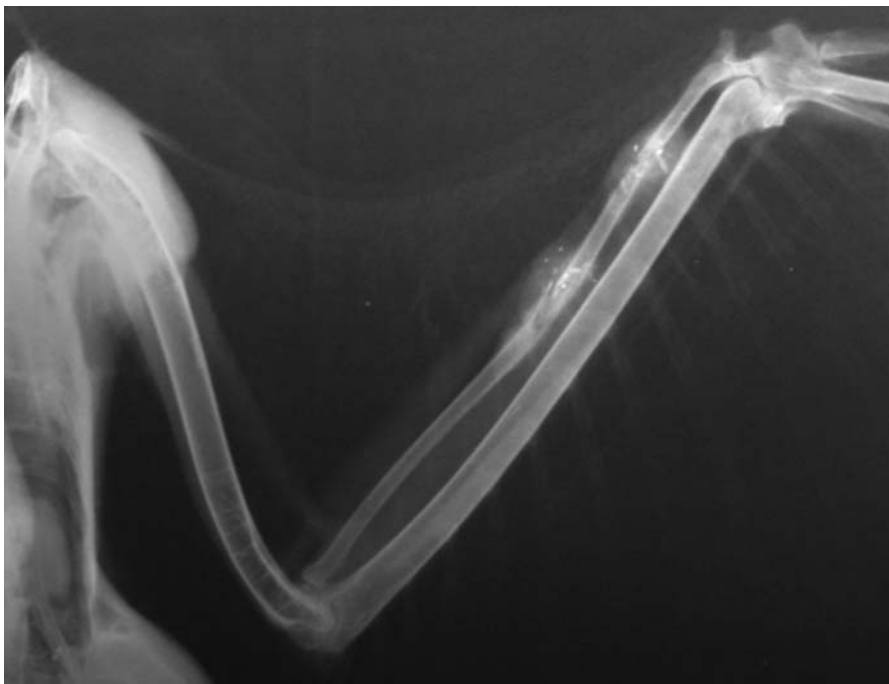


Figure 21: Double fracture du radius non traitée et consolidée avec des cals exubérants verrouillant les deux rayons osseux, le vol ne sera pas récupéré.

I.D Premiers soins

L'établissement d'un bilan pathologique de l'oiseau à son arrivée dans la structure de soins est une étape capitale qui doit être conduite avec rigueur et méthode. Il arrive assez souvent que, au vu de la gravité des lésions de l'animal ou de son état général, il faille maintenir ou rétablir le patient dans un état compatible avec une anesthésie générale, avant tout traitement chirurgical. En effet, une anesthésie générale n'est jamais un acte banal, même avec des

produits dont la sécurité thérapeutique est éprouvée; un déséquilibre initial des paramètres biologiques de l'animal sera toujours aggravé par l'anesthésie quelle qu'elle soit.

Lorsque l'oiseau est en état de choc, cachectique et/ou déshydraté, il faudra au préalable à sa réalisation, administrer des soins.

I.D.1 L'oiseau en état de choc

La majorité des patients ayant subi un traumatisme osseux présente un état de choc, renforcé par le stress occasionné par la blessure et par la prise en charge par l'homme.

La conduite de l'examen d'un oiseau en état de choc et l'établissement du bilan général sont les mêmes que pour les Mammifères.

Lorsque la cause du traumatisme est une collision, la proportion de traumatismes crâniens est importante et parfois sans signes pathognomoniques, les animaux sauvages n'extériorisant souvent que très peu de symptômes. Lors de suspicion de traumatisme crânien, il faut rechercher des troubles de l'équilibre, un port de tête anormal, une ataxie, une amaurose et une modification des réflexes pupillaires.

Si l'animal présente des symptômes convulsifs ou une détresse respiratoire, on administrera du valium à la dose de 0,5 mg/kg.

Lorsque l'on suspecte un état de choc ou un traumatisme crânien, il est vital de mettre en place une corticothérapie par voie parentérale, intraveineuse ou intramusculaire. On utilisera de la méthylprednisolone à la dose antichoc de 30 mg/kg ou de la dexaméthasone à la dose de 4 mg/kg. Le traitement sera poursuivi à dose anti inflammatoire par de la prednisolone à 2 mg/kg *per-os* deux fois par jour. Il faut noter que l'effet positif de la corticothérapie est double : déchoquant et stimulant sur le métabolisme.

Afin de stabiliser l'animal, on pourra administrer, en complément d'une thérapie liquidienne, de la vitamine B₁ (thiamine) à 10 mg/kg en IM (Redig, 1992).

En sus, une antibiothérapie à large spectre est toujours conseillée en raison de l'immunodépression induite par l'état de choc et par le traitement stéroïdien. On utilise de préférence de l'enrofloxacin buvable à la dose de 15 mg/kg biquotidienne ou de la marbofloxacin par voie intramusculaire à la même dose. Le traitement sera poursuivi pendant une semaine.

En outre, il est souvent très utile d'administrer aux patients un vermifuge lorsqu'ils paraissent affaiblis car les parasites prolifèrent chez un animal débilité et peuvent occasionner de redoutables entérites. On utilise de préférence de l'oxfendazole (DolthèneND) à la dose de 11,3

mg/kg pendant 5 jours. On peut aussi employer de l'ivermectine par voie transcutané (ou transalaire) (Berges, 1999).

I.D.2 L'oiseau déshydraté

Apprécier la déshydratation d'un animal affaibli est très important. Le déficit hydrique s'estime par le produit du pourcentage de déshydratation par le poids de l'animal. La voie préférentielle d'administration est la voie intraveineuse via la veine jugulaire droite ou via la veine basilaire. Les solutions sont administrées en bolus de 10 à 25 ml/kg en 5 minutes. Les quantités conseillées sont de l'ordre de 40 ml/kg/jour. Le fluide le plus utilisé est le mélange Ringer lactateND (Powers, 1997). Lors d'une déshydratation modérée, on peut réhydrater par voie sous-cutanée en région inguinale ou axillaire à raison de 5 à 10 ml/kg et par point d'injection.

Le glucose ne s'administre que *per-os* lors de déshydratation modérée à la dose maximale de 50 ml/kg. On dispose actuellement de produits plus complets et élaborés comme le Waltham Electrolyte Instant FluidND en bolus de 15 ml/kg toutes les 2 heures. Pour les animaux très débilités on peut administrer l'équivalent d'un volume sanguin en une heure soit 90 ml/kg.

I.D.3 L'oiseau cachectique

Un rapace blessé peut être découvert et ramassé plusieurs jours après l'origine du traumatisme. Or, ces animaux ayant un métabolisme basal très élevé, présentent une amyotrophie très rapide conduisant rapidement à un état de détresse, en l'absence de nourriture. La dénutrition accroît, en outre, leur sensibilité au parasitisme en diminuant leurs défenses immunitaires ; aussi, une diarrhée profuse complète souvent le tableau clinique. Pour ces patients, il convient de différer la cure chirurgicale et d'entamer une réhydratation puis une réalimentation à la sonde œsophagienne à raison de 15 ml/kg toutes les 4 heures pendant 48 heures.

Les aliments employés sont ceux employés pour les carnivores domestiques type FortolND ou RéanimylND (Pollock, 1997). Ces cas présentent aussi une bonne indication pour la corticothérapie (effet orexigène).

II Anesthésie

Nous avons vu que le recueil des commémoratifs et l'examen de l'oiseau étaient des phases capitales de l'hospitalisation des rapaces. Néanmoins, certains examens comme un prélèvement sanguin ou, pour des sujets particulièrement sensibles au stress, un examen radiographique ou un traitement de plaie peuvent nécessiter dès cette étape une anesthésie à condition d'être supportée sans risque d'aggravation de l'état de l'oiseau.

Un rapide examen cardio-respiratoire est conseillé. Si les paramètres biologiques ne sont pas stables il faut tenter d'y remédier avant ou, le cas échéant, immédiatement après l'induction de l'anesthésie.

Il faut éviter de prémédiquer les oiseaux car les effets secondaires des spécialités couramment employées chez les Mammifères ne sont pas négligeables et perturbent le bon déroulement de l'anesthésie et du réveil. Par exemple, la procaine est toxique, ce qui limite l'emploi d'anesthésiques locaux, aussi l'anesthésie locale est très peu utilisée en chirurgie orthopédique, chez les oiseaux.

Enfin, l'appareil cardio-respiratoire des oiseaux très particulier complique les modalités de l'anesthésie. La présence de sacs aériens a une incidence sur le type d'anesthésique employé, car ils constituent à la fois des réserves d'air mais aussi des espaces morts du système vasculaire.

II.A Analgésie

L'évaluation de la douleur chez un oiseau sauvage est difficile tant les réactions dues au stress des manipulations peuvent se confondre avec les comportements d'extériorisation algique.

Souvent la douleur chez ces animaux se caractérise par un raidissement général, une immobilité ou une prostration.

Néanmoins, lors d'une intervention chirurgicale, il peut paraître opportun de prévenir la douleur d'autant que certains produits, outre une bonne analgésie, offrent une bonne myorésolution et renforcent le confort de l'opération elle-même.

Or, tout animal ayant subi un traumatisme peut recevoir des stéroïdes (à dose anti choc) qui ont une forte action anti-inflammatoire. Sur un animal ne présentant pas de symptômes de choc et dans le cas d'une intervention chirurgicale légèrement différée, on peut employer de l'acide tolfénamique à la dose de 4 mg/kg ou du kétoprofène à la dose de 1 mg/kg par voie intra musculaire.

De plus, avant toute opération, l'analgésique de choix est le chlorhydrate de morphine et le butorphanol car :

- leur action analgésique est puissante car ils agissent directement au niveau du système nerveux central (récepteurs mu et kappa),
- ils ont un effet potentialisateur dose-dépendante de la narcose notamment avec les gaz halogénés donc ils permettent de diminuer la concentration,
- ils ont un effet myorelaxant et permettent des manipulations orthopédiques lors de réduction des fractures où les muscles sont souvent fortement contractés,
- bien tolérés, ils sont rapidement métabolisés,
- leur effet dépresseur sur le système cardio-respiratoire n'est pas très marqué chez les oiseaux aux doses employées (Verwaerde et Estrade, 2005).

Le butorphanol est employé préférentiellement, car il agit surtout sur les récepteurs kappa, nombreux chez les oiseaux. Les posologies sont de 0,1 mg/kg pour le chlorhydrate de morphine et 2-4 mg/kg pour le butorphanol, par voie parentérale sous-cutanée (Paul-Murphy, 1997).

Le butorphanol possède une demi-vie assez courte et peut nécessiter un renouvellement des injections à 2 à 4 heures d'intervalle (Clyde & Paule-Murphy, 2000).

Le fentanylND, d'usage courant en médecine vétérinaire ne présente pas de grand intérêt chez les oiseaux (Hoppes, 1997).

Les anti-inflammatoires non stéroïdiens actifs sont la flunixin méglumine à la dose de 1 à 10 mg par kilo en intramusculaire toutes les 24 heures ainsi que le kétoprofenND ou le carprofenND à la dose de 2 mg par kilo (Clyde & Paule-Murphy, 2000).

II.B Anesthésie fixe

L'anesthésie fixe présente plus de risque que l'anesthésie gazeuse. Elle est utilisable pour les courtes interventions ou dans des structures ne possédant pas d'appareil d'anesthésie gazeuse. Elle nécessite une très bonne évaluation du poids de l'animal eu égard aux dangers du surdosage, chez des patients de petite taille.

Les produits utilisés sont sensiblement les mêmes que ceux utilisés chez les Mammifères, à savoir:

- le propofol induit rapidement une bonne myorelaxation et une bonne analgésie à la dose de 14 mg/kg ; il est très rapidement métabolisé après son administration par voie intraveineuse.

Néanmoins, il provoque une sévère dépression cardio-respiratoire, ce qui diminue fortement son index thérapeutique et le destine à des sujets en bonne santé.

- l'association diazepam-kétamine permet une bonne myorelaxation mais provoque des réactions convulsives, une narcose légère, et une mauvaise analgésie (diazepam : 1-1,5 mg/kg et kétamine : 15-20 mg/kg).
- l'association xylazine-kétamine peut aussi être employée mais engendre des effets secondaires déprimeurs. La voie d'administration est intramusculaire à la dose de 2,2 mg/kg et 4.4 mg/kg pour la xylazine et la kétamine, respectivement.
- pour une narcose plus confortable, on préférera l'association kétamine-médétomidine, antagonisable par l'atipamézole. La voie d'administration est intramusculaire à la dose de 5-10 mg/kg et 0,15-0,35 mg/kg pour la kétamine et la médétomidine, respectivement (Verwaerde et Estrade, 2005).

L'anesthésie fixe est très délicate chez les rapaces si l'on considère ses effets sur la fonction respiratoire, la difficulté de poser une voie veineuse, véritable « ligne de vie » du patient anesthésié, et la difficulté d'utiliser une dose adéquate par voie intramusculaire, souvent variable selon les espèces et l'état des patients dont le poids n'excède souvent pas 800 g. On lui préférera toujours l'anesthésie volatile dès que cela est possible (Heard, 1997).

II.C Anesthésie gazeuse

Les oiseaux possèdent les systèmes d'échanges de gaz respiratoires les plus performants de tous les Vertébrés ; les échanges de gaz anesthésiques seront donc bien plus rapides que chez les mammifères mais les risques de surdosages seront plus grands, ceci résultant du volume important des sacs aériens qui vont pouvoir relarguer de fortes doses d'anesthésique.

Il y a deux types de gaz pouvant être utilisés chez les oiseaux : le protoxyde d'azote et les gaz halogénés. Parmi ceux-ci, seul l'isoflurane sera étudié étant donné sa facilité d'emploi.

On utilise couramment l'oxygène comme gaz vecteur. L'utilisation du protoxyde d'azote est d'une utilisation controversée. Certains auteurs ne le considèrent pas comme un anesthésique, d'autres soulignent son effet déprimeur sur la fonction cardio-vasculaire; c'est néanmoins un bon analgésique qui est très rapidement métabolisé mais nécessite de fortes concentrations (50-60 %), ce qui diminue d'autant la proportion d'oxygène mais est donc déconseillé chez des sujets débilités. Le plus souvent, le protoxyde d'azote est associé à l'oxygène comme gaz vecteur pour potentialiser l'action de l'isoflurane mais son emploi est discuté.

L'isoflurane est l'agent anesthésique volatil à préférer, car il offre une induction rapide et douce et un réveil très correct. Il a peu d'incidence sur le système cardio-vasculaire et ne présente pas d'hépatotoxicité. La myorelaxation est acceptable et la narcose suffisante pour les manœuvres chirurgicales (anesthésie de stade III voire IV). Son principal inconvénient consiste en une dépression respiratoire et une baisse de la pression artérielle ainsi qu'une tendance à l'hypothermie. L'induction de l'anesthésie se fait à 3 % et l'usage d'un masque est souvent la solution retenue, car beaucoup moins traumatisant que l'intubation trachéale. Il faut néanmoins prendre garde qu'il n'y ait pas de fuites importantes au niveau du masque. L'entretien de la narcose se fait à 1,5-2 % en prenant garde de surveiller la température de l'animal afin de lutter contre l'hypothermie qui survient dès les premières minutes de l'anesthésie (Greenacre et Quandt, 1997). Le gros avantage de cette anesthésie est que les gaz sont rapidement métabolisés, permettant ainsi de prolonger l'anesthésie en flux continu sans gros risque d'atteindre des doses toxiques (Phalen et coll., 1997).

L'hypothermie est en effet une cause majeure d'accident lors d'une anesthésie gazeuse car, outre l'effet hypothermisant du gaz, l'animal ne peut plus réguler sa propre température, à quoi s'ajoutent les pertes au sein du site opératoire même, notamment lors de l'irrigation des plaies. Or, la température des oiseaux est beaucoup plus élevée que celle des mammifères, fruit d'un métabolisme basal intense. De plus, les pertes de chaleur se font par convection et celles-ci sont d'autant plus importantes que le rapport surface sur volume est plus grand, ce qui est le cas chez des patients de taille modeste. L'hypothermie va de pair avec l'installation d'une acidose par augmentation du phosphore inorganique dans le sang. Tout doit donc être mis en œuvre pour lutter contre le refroidissement de l'oiseau opéré : l'utilisation de matelas chauffants, de gaz anesthésiques préchauffés et humidifiés, d'un thermomètre électronique cloacal et, si possible, d'une fluidothérapie devrait être systématique (Dressen et coll., 1999).

II.D « Monitoring »

Surveiller l'anesthésie d'un oiseau est une tâche délicate car les mouvements respiratoires sont très ténus. Un assistant est indispensable pour contrôler les mouvements respiratoires ou les réflexes cornéaux ; à défaut, on peut s'aider de matériel spécifique. Il faut, si possible, contrôler la nature des gaz expirés ainsi que la pression artérielle durant l'anesthésie. Un

capnographe ou un électrocardiographe sont des bons moyens de détecter une éventuelle apnée ou un arrêt cardiaque de l'animal (Rupley, 1997).

Le réveil après une anesthésie volatile chez les oiseaux doit faire l'objet d'une grande attention car il survient de manière brutale sans signes avant-coureurs et se traduit par une agitation et de violents battements d'ailes ; il faudra donc veiller à contenir l'oiseau afin d'éviter toute blessure intempestive.

Pour toute intervention chirurgicale et quelle qu'en soit la durée il est capital de prévenir l'hypothermie systématique chez les oiseaux par une surveillance constante de la température et l'emploi de tapis chauffants.

III. Consolidation osseuse et ostéosynthèses

Un élément capital dans la cure chirurgicale des fractures des oiseaux est de choisir la bonne technique. Aujourd'hui, plusieurs techniques peuvent être utilisées avec succès même chez des sujets présentant de graves traumatismes, mais ce choix ne doit jamais résulter du hasard ou de la préférence du chirurgien, car la fenêtre thérapeutique est très étroite chez les oiseaux. Ainsi, à chaque cas de fracture peut être associée une technique chirurgicale et une seule ; le bon choix dépend des connaissances du chirurgien sur la biomécanique de l'os fracturé, d'une part, et de l'évaluation des dégâts des tissus mous adjacents, d'autre part (White et Morzenti, 1997).

Un autre élément capital de la cure chirurgicale est l'importance accordée aux soins postopératoires et à la rééducation post-traumatique qui permettent de réduire les handicaps articulaires après le ou les ostéosynthèses.

Les sutures utilisées sont des sutures de décimale 2. Lorsque la tension sur la peau le permet, on pourra utiliser des points en U qui opèrent une bonne cohésion sans trop léser la peau très fine des oiseaux ; dans ces conditions, la cicatrisation est très rapide (deux jours environ) et corrélée au très haut métabolisme basal des oiseaux.

Un pansement simple sera ensuite appliqué sur l'aile en flexion et laissé en place pas plus de trois jours avant d'être renouvelé.

Par la suite, l'aspect biomécanique des différents modes de consolidation osseuse et leur incidence sur le choix des implants seront développés avant d'énumérer en détail les différentes techniques disponibles. Comment doit-on traiter une fracture chez un oiseau ? Par quelle technique ? Doit-on s'attacher à obtenir une stabilité absolue de la fracture ou doit-on privilégier la dynamique de la cicatrisation et l'intégrité de l'environnement tissulaire ?

Ces questions légitimes doivent être éclairées au préalable par une connaissance approfondie de la réparation osseuse afin de déterminer les priorités absolues à mettre en œuvre lors de l'opération.

III.A Quelques éléments sur la consolidation osseuse et sur les nécessités des ostéosynthèses.

L'os est un tissu remarquable dans le sens où il est le seul de l'organisme à assurer une cicatrisation et une restitution anatomique intégrale de l'état d'origine. Nous avons vu dans la première partie les phénomènes cellulaires qui présidaient à la cicatrisation de l'os. Pratiquement, il est essentiel de savoir comment se forme le cal et quels sont les éléments susceptibles d'interagir avec son évolution.

L'os se régénère par trois couches tissulaires distinctes : le périoste, l'endoste et la corticale. Le périoste forme rapidement un cal volumineux, parfois hypertrophique qui semble stimulé par les petits mouvements au sein du foyer de fracture. Ce cal peut combler de larges pertes de substance à condition que les tissus adjacents et la vascularisation soient respectés. Une immobilité absolue provoque une inhibition de la formation de ce cal.

L'endoste forme plus lentement un cal apte à combler de grandes pertes de substances. Inhibé par la mobilité du foyer de fracture il supporte mal une destruction de la vascularisation endostée.

Le cal cortical est le plus long à se former mais est aussi le plus solide. Dès l'occurrence de la fracture, les abouts osseux se nécrosent et l'os cortical se remodèle par destruction/néoformation des canaux de Havers. Si les abouts sont proches et stables, les canaux se rejoignent et se comportent comme autant de petites « chevilles » osseuses arrimant solidement les deux abouts osseux entre eux.

L'ostéogénèse apparaît donc déterminée par des conditions biologiques et mécaniques locales. Par exemple, une mauvaise vascularisation induira la formation d'un tissu cartilagineux plutôt qu'un tissu osseux. Ainsi se dessine une véritable cinétique de la cicatrisation osseuse : dès l'immobilisation même imparfaite de la fracture apparaît un volumineux cal périosté qui stabilise progressivement le foyer, ce qui permet au cal endosté de compléter la consolidation. Le périoste intervient alors et remodèle fermement les corticales (Degernes et Roe, 1997).

Ces phénomènes sont modulés par la nature de la fracture : dans le cas d'une fracture diaphysaire à foyer fermé et sans déplacement, les conditions biologiques sont optimales et l'enchaînement des opérations se fera comme décrit ci-dessus et une immobilisation stricte du foyer ne sera pas indispensable. Dans le cas d'une fracture à foyer ouvert, l'hématome à été

évacué et le périoste ruginé, ce qui inhibe de fait l'apparition du cal périosté. Dans ce cas, il faut réaliser une ostéosynthèse rigide pour permettre la formation d'un cal cortical et endosté. Cette rigidité dépend de la nature, de la forme, de la situation et du matériau utilisé pour l'implant qui sera choisi en fonction des contraintes qu'il sera amené à supporter.

En fait, le problème de l'immobilisation des fractures est modulé par deux facteurs : la quantité et la qualité des mouvements. Un excès et une trop grande amplitude dans les mouvements nuisent à l'ostéogénèse, mais une immobilisation stricte est aussi néfaste, l'activité fonctionnelle étant nécessaire à la cinétique de la cicatrisation.

Les mouvements tolérables dans le foyer de fracture sont les mouvements dans le plan frontal (chevauchements). Ceux-ci sont assez bien tolérés et stimulent la formation du cal, mais moins que les mouvements linéaires de télescopage ou d'impaction, absolument nécessaires à la consolidation. Par contre, les mouvements de rotation axiale sont les moins bien tolérés de tous car ils suppriment les surfaces de recouvrement des corticales osseuses. Cela résulte des propriétés mêmes de l'os qui n'a pas la même résistance dans toutes les directions de l'espace ; phénomène appelé anisotropie (Latte et Meynard, 1997).

A l'inverse, en l'absence de toute sollicitation mécanique, les corticales remodelées s'amincissent et le cal semble inexistant à l'observation radiographique. Cette situation dangereuse est assez peu rencontrée chez les oiseaux et n'apparaît guère que dans le cas d'ostéosyntheses par plaque vissée après élimination de l'hématome fracturaire. En effet, l'hématome joue un rôle déterminant dans la cicatrisation car il procure à l'os à partir des vaisseaux périfracturaires un échafaudage fibrocartilagineux qui s'ossifiera secondairement. Il faut donc toujours garder à l'esprit la nécessité de conserver au mieux l'hématome fracturaire (Savournin et Labourel, 1982).

Ainsi, si la consolidation d'une fracture est une propriété naturelle de l'os, le respect de la vascularisation au voisinage de l'os est une condition indispensable d'une bonne cicatrisation ; sans vascularisation suffisante, il y a non consolidation et apparition d'une pseudarthrose atrophique. L'immobilité relative du foyer de fracture constitue l'autre condition indiscutable de l'apparition du cal. Sans immobilisation suffisante, il y a non consolidation et apparition d'une pseudarthrose hypertrophique.

Aussi, il sera préférable de mettre en place une thérapie chirurgicale permettant une cicatrisation osseuse de type primaire. Néanmoins, lors d'interventions avec immobilisation stricte, il peut exister un retard de consolidation induit par une diminution de la vascularisation liée à la réaction périostée même modeste.

Une bonne évaluation de l'évolution du cal est fournie par palpation : le cal périosté est en général chaud et volumineux à la palpation tandis que le cal cortical qui se forme dans la phase terminale de la cicatrisation est moins volumineux et froid. Ce cal est solide et stabilise convenablement la fracture ; à ce stade, on peut décider le retrait des implants osseux.

III.B Ostéosynthèse par vis et plaques

III.B.1 La mécanique de l'ostéosynthèse par plaque vissée

La plaque d'ostéosynthèse est un implant qui vient au contact de cicatrisation optimale de la fracture. Suivant son mode d'application, elle peut avoir plusieurs rôles: simple attelle ou élément de compression dynamique, elle peut également soutenir l'os et a pour but de placer les fragments osseux dans une position adéquate pour permettre une bonne cicatrisation par première intention ou ponter un fracas osseux.

Utilisée comme attelle, elle dérive et absorbe les forces qui s'exercent au contact de l'os. Elle doit donc être extrêmement rigide et indéformable. Malgré cela, ce type de plaque ne pourra stabiliser complètement la fracture et cela nécessite un renforcement par des vis appelées vis de traction. De plus, en absorbant les contraintes de l'os, la plaque diminue la charge fonctionnelle de l'os et, donc, les corticales vont s'amincir en regard de la plaque. Ce phénomène est très important et peut aboutir à une mauvaise cicatrisation et à l'apparition de nouvelles fractures spontanées.

Pour ces raisons, on préfère utiliser la plaque à la manière d'un hauban afin de transmettre à l'os une force dynamique qui stimule l'ostéogénèse et supprime les mouvements de flexion. Pour ce faire, la plaque est montée sur la face de l'os qui, par les jeux musculaires, est habituellement en traction. Elle sera coudée pour lui imprimer un effet de ressort, verrouillant les mouvements parasites transmis à l'os (Müller et coll., 1970)

Bien qu'en définitive assez peu utilisées pour la stabilisation des fractures des ailes des oiseaux en raison de la fragilité de l'os cortical et uniquement destinées à des individus de grande taille, il importe de connaître d'autant plus leur champ d'application que leur pose est délicate pour le chirurgien.

Nous avons vu que les rôles des plaques ne sont pas tous les mêmes et dépendent en priorité du type de fracture rencontré. Nous allons présenter les différents types de plaque et leurs champs d'application.

III.B.2 La plaque de neutralisation

La plaque de neutralisation est appelée ainsi car elle neutralise les forces de flexion, de compression et de traction. Employée lors de fractures médio-diaphysaires, obliques, c'est une application directe de la notion de plaque « attelle », car elle ne fait que maintenir les deux abouts fracturaires fermement en position physiologique. Elle est souvent associée à une vis de traction, extérieure à la plaque. Le rôle de cette vis est double : elle permet de réduire la fracture avant la pose de la plaque et elle verrouille le montage une fois la plaque posée. Néanmoins, au vu des sollicitations imposées aux corticales traversées par des vis dans deux plans différents de l'espace et des caractéristiques de l'os des oiseaux (les corticales ont une fâcheuse tendance à l'éclatement ou à l'apparition de traits de refends), ce montage est réservé à des spécimens de très grande taille.

La plaque doit envelopper intimement à l'os, ce qui impose un précoudage pour épouser l'incurvation osseuse. L'ordre de pose des vis n'est pas aléatoire et doit assurer une bonne compression des fragments entre eux. On commence par fixer les vis aux extrémités de la plaque alternativement à droite et à gauche, puis on poursuit par celles immédiatement au voisinage du foyer de fracture, enfin on complète les autres trous alternativement d'un côté et de l'autre.

Suivant la nature du trait de fracture (fractures spiroïdes), on peut placer directement la vis de traction dans la plaque ou utiliser cette vis de traction pour fixer une esquille sur la face opposée à la plaque.

III.B.3 La plaque à compression dynamique

Indiquée lors de fractures simples transverses et médiodyaphysaires, le rôle de la plaque à compression dynamique est de bloquer l'os dans toutes les directions de l'espace. Elle doit donc assurer une compression très forte des deux fragments entre eux. Ceci est réalisé lors de la mise en place des vis. Dans un premier temps, la plaque doit être coudée à l'aide d'outils appelés clés à cintrer, dans la direction opposée à la courbure naturelle de l'os, afin d'opérer une compression « réactive » lors du serrage des vis, à la manière d'une lame de ressort. De plus, les trous de la plaque sont de section ovale, ce qui permet un certain glissement lors du serrage des vis. En pratique, la plaque est d'abord vissée fermement sur l'un des abouts osseux. Puis, de l'autre côté, on perce l'os à travers le trou de la plaque mais de manière excentrique en prenant appui sur le bord externe du trou afin d'impacter le deuxième about

lors du serrage des vis, la compression s'exerçant d'abord sur la corticale opposée à la plaque, puis, en fin de serrage, sur celle directement sous la plaque.

III.B.4 La plaque de soutien

La plaque de soutien est indiquée lors de fractures médio-diaphysaires avec perte de substance, par exemple, lorsqu'une esquille dévascularisée a dû être ôtée.

On emploie une plaque de grandes dimensions, large et plus longue que les précédentes avec un plus grand nombre de trous ; c'est une variante de la plaque de neutralisation mais renforcée. Sa pose est classique et sans compression des abouts osseux. L'ordre de pose des vis est différent de celui des deux cas précédents puisqu'on n'a pas d'obligation de compression. Toutes les vis jouent le même rôle de maintien de la plaque « attelle » et sont posées alternativement de la périphérie vers le centre, autour du foyer de fracture.

Une variante de ce style de plaque est la plaque à ostéosynthèse biologique.

III.B.5 La plaque à ostéosynthèse biologique

Lors de fractures comminutives, il est très difficile d'obtenir une réduction anatomique par une ostéosynthèse classique et stable. Or, la cicatrisation osseuse dépend en grande partie de l'hématome fracturaire et de la vascularisation périphérique, et c'est d'abord à partir de l'hématome que se forme un cal fibrocartilagineux, progressivement remplacé par du tissu osseux. Dans le cas de fractures complexes, la cicatrisation se fait donc par seconde intention, d'où l'intérêt de ne pas toucher au foyer fracturaire et notamment aux esquilles afin de sauvegarder leur vascularisation résiduelle.

Lorsque l'on recherche ce type de cicatrisation, l'ostéosynthèse a pour but de limiter les dommages vasculaires afin d'accélérer l'apparition du cal. La présence d'un cal révèle que la fracture est relativement stabilisée et ne présente plus que des micro déformations, indispensables pour stimuler la formation du cal.

Lors d'une telle ostéosynthèse, les moyens de contention de l'os sont intégralement supportés par l'implant. Or, une plaque d'ostéosynthèse ne constitue pas un tuteur très rigide, les ruptures de fatigue de l'implant sont courantes. Il faut renforcer l'implant par des greffes osseuses ou par une fixation externe, et limiter le nombre de vis à proximité du foyer de fracture. La plaque agit alors comme un véritable pontage de la fracture (Forterre, 1993).

L'intérêt de la greffe osseuse est de combler le déficit en cellules mésenchymateuses par l'apport de protéines qui vont recruter des cellules mésenchymateuses qui se différencieront en chondroblastes ou en ostéoblastes. Mais, chez les oiseaux, les autogreffes d'os spongieux sont beaucoup plus difficiles à mettre en œuvre que chez les mammifères et sont donc beaucoup moins usitées. Les lieux de prélèvement de greffons sont limités aux dernières côtes ou à la carène sternale qui offre une large zone de prélèvement. Dans ce cas, les muscles pectoraux sont réclinés sur une portion réduite de chaque côté du bréchet pour permettre le prélèvement sternal puis les muscles sont suturés au sternum. Le greffon est émiétté dans la zone de fracture (Altman et coll., 1997).

Pour remédier à l'inconvénient que représentent les os des oiseaux à fines corticales friables et la technique un peu lourde de la greffe osseuse, on peut utiliser une technique complémentaire à la pose de la plaque qui consiste à remplir la cavité médullaire de l'os fracturé par un ciment orthopédique du type de celui utilisé en chirurgie dentaire. Ce ciment, relativement bien toléré par l'organisme, agit comme une cheville rigide dans laquelle viendront s'implanter solidement les vis de la plaque, prévenant à la fois les risques d'éclatement de la corticale opposée à la plaque et ceux liés à un mauvais ancrage de la vis elle-même. Bien sûr, cette technique lèse la vascularisation endostée mais toutes les techniques utilisables dans ce cas chez les oiseaux présente des inconvénients. De plus, en ce qui concerne l'ostéosynthèse par plaque, c'est surtout la formation du cal cortical qui est stimulée lors d'une cicatrisation par première intention. Pratiquement, on remplit la cavité médullaire uniquement sur la portion recouverte par la plaque ou légèrement supérieure à celle-ci, de manière à limiter le caractère invasif de cette technique.

III.B.6 Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour les différents types de vis, de plaques et le matériel ancillaire a été décrit pour l'association pour l'ostéosynthèse (Müller & coll., 1970).

Les vis sont des vis filetées sur toute leur longueur dites « vis à corticale ». Elles se caractérisent par leur diamètre et leur longueur : les diamètres les plus utilisés pour les cas rencontrés sont 1,5 et 2 mm, les autres diamètres rencontrés sont 2,7, 3,5, 4 et 4,5 mm. La longueur est déterminée par la profondeur de l'os entre les deux corticales, mesurée *in situ*. Elle est comprise entre 6 et 30 mm.

Les plaques utilisées sont des plaques auto-compressives en acier avec des trous dont le diamètre est déterminé par celui des vis. Pour chaque diamètre de vis, les plaques existent en

différentes longueurs (et présentent donc différents nombres de trous) suivant la dimension de l'os ou de la surface à ponter (de 14 à 100 mm). La plaque utilisée est, en général, de grande taille et s'insère sur l'ensemble du fût de l'os ; un matériel intéressant pour le praticien aviaire est la « Veterinary Cuttable Plate » (VCP) qui existe aussi en petit format, formatable à l'incurvation de l'os, disponible en grande longueur et qui peut être coupée selon les besoins (15 cm de long pour une cinquantaine de trous). Deux dimensions sont utiles pour les cas rencontrés : une utilisable avec des vis de 1.5 à 2 mm et une utilisable avec des vis de 2.0 à 2.3 mm. La plaque est fixée à ces extrémités par 2 ou 3 paires de vis. Le montage n'est malheureusement pas toujours très stable et nécessite parfois l'adjonction d'une broche en matériaux composite comme le méthyl méthacrylate ou d'un fixateur externe (Forterre, 1993). Ceci pose d'autres problèmes au chirurgien, car l'os déjà sollicité par la plaque doit encore supporter l'adjonction d'un fixateur externe rendant cette ostéosynthèse d'autant plus hasardeuse. Néanmoins, on peut très bien envisager de soulager un montage en remplaçant la plaque par un fixateur externe, pour éviter les risques de re-fractures après le retrait du matériel d'ostéosynthèse. Pour une ostéosynthèse biologique, il est préférable d'employer d'entrée une fixation externe plutôt qu'une plaque, toujours assez mal supportée par l'os.

L'ostéosynthèse par plaque nécessite un jeu de matériel ancillaire important dont la dimension est déterminée par celle des vis. Les outils les plus indispensables sont :

- des tournevis hexagonaux pour vis de 1.5 et 2 mm,
- des forêts et des guides forêts, neutres ou à tension suivant que les vis sont placées en position neutre ou en compression (les forêts à tension sont excentrés de manière à ce que la vis vienne en butée contre l'extrémité supérieure du trou de glissement de la plaque),
- des tarauds à main pour renforcer l'ancrage de la vis dans les corticales osseuses,
- une jauge de profondeur pour mesurer la longueur des vis requises,
- une douille protectrice des tissus mous lors du forage des trous de vis,
- des fers à cintrer les plaques,
- des viseurs à pointes (Müller et coll., 1970),
- du ciment orthopédique...

A ces instruments spécifiques, il convient d'ajouter tous les instruments de la chirurgie classique des tissus durs : pinces, daviere, écarteurs...

Cette technique en définitive assez peu utilisée chez les oiseaux donne parfois de bons résultats chez des sujets de taille suffisante mais elle présente un gros défaut car il arrive

parfois que la destruction vasculaire et la compression des vaisseaux sous la plaque d'ostéosynthèse ralentissent le processus de cicatrisation et l'acquisition d'une rigidité satisfaisante à tous les stades de la cure chirurgicale, chez le chien.

III.C Enclouage centromédullaire

L'enclouage centromédullaire est une des méthodes les plus anciennes pour le traitement de l'aile fracturée et reste l'ostéosynthèse de prédilection de la majorité des praticiens en raison de son coût très modeste et de sa mise en œuvre assez simple.

Si elle assure un alignement correct des fragments osseux, elle est très insuffisante en ce qui concerne l'immobilisation de la fracture et conduit souvent à un retard de consolidation et à des cals hypertrophiés. Cette technique est contre-indiquée lors de fractures ouverte et de comminution; malheureusement, pour des animaux de taille modeste et pour des fractures épiphysaires, on ne peut guère envisager d'autre mode opératoire. Néanmoins, avec l'évolution des matériaux et celle des gestes vétérinaires, elle cède peu à peu le pas à des techniques moins invasives et plus performantes. L'association de plusieurs techniques d'ostéosynthèse permet de pallier les inconvénients de l'enclouage simple.

III.C.1 Une technique simple mais aux bénéfices biomécaniques discutables.

Dans le cas de l'ostéosynthèse par plaque, nous avons vu qu'il était indispensable de comprimer le foyer par vissage pour stabiliser la fracture, la plaque n'intervenant que pour neutraliser les contraintes qui s'exercent sur les vis lors des contractions musculaires; la majorité des contraintes passe alors dans l'os.

Le clou, de par sa situation sur l'axe central du fût osseux permet deux fois moins de mouvements angulaires que la plaque et sa rigidité est très importante en flexion. Par contre, il ne bloque aucun mouvement de rotation, mouvement très mal toléré par l'os lors de sa cicatrisation (figure 22). De plus, la vascularisation endostée est momentanément détruite ce qui retarde l'apparition d'un cal rigide. Il faut donc par tous les moyens rechercher une stabilisation du clou par des systèmes anti-rotatoires et une mise en compression des abouts fracturaires.



Figure 22: Ce qu'il ne faut pas faire ! ... A gauche, une fracture transverse de l'humérus avant traitement ; à droite, la même fracture non suffisamment fixée par une broche de trop petit diamètre et qui ne permet aucune stabilisation en rotation.

Pour acquérir une stabilité axiale, le clou doit fermement adhérer aux corticales au niveau des points de pénétration proximal et distal, et doit bénéficier d'un contact étroit avec les corticales dans la zone du trait de fracture. Pour obtenir une stabilité en rotation, il faut rechercher un engrenement des corticales, plus facile à réaliser quand le trait de fracture est oblique, en spirale ou en dent de scie. On cherche notamment à bloquer la cavité médullaire de l'os par un diamètre important du clou. Des techniques complémentaires ne sont pas à négliger pour augmenter la rigidité du montage.

III.C.2 Différentes techniques d'enclouage

Les différentes techniques d'enclouage sont l'enclouage simple et l'enclouage fasciculé et ses dérivés. Nous allons les présenter successivement.

L'enclouage simple peut être effectué selon deux modes opératoires, soit par enclouage direct, soit par enclouage indirect. L'enclouage direct est la méthode la plus évidente et la plus respectueuse aussi du foyer de fracture : le clou pénètre dans l'os en position juxta-articulaire proximal pour ressortir en position distale (cas de l'humérus et du radius). Pour l'ulna, le clou pénètre distalement. Idéalement, ces manipulations sont faites à foyer fermé, la fracture étant réduite par taxis externe, et la cicatrisation est bonne et rapide, ce qui est malheureusement rare mais quoiqu'il en soit il convient de perturber le moins possible la zone de fracture

(Berges, 1999). Ce type d'ostéosynthèse fait voisiner l'implant aux zones articulaires proximale et distale et cause donc très souvent une inflammation juxta-articulaire, toujours néfaste pour la récupération ultérieure de la fonction locomotrice. Pour cette raison, on limite au maximum la durée de présence de l'implant, en se limitant à la durée nécessaire à l'apparition du cal fibrocartilagineux. Dans le cas du radius, du fait de la forte incurvation de l'os, cette technique risque moins de léser l'articulation, le clou pénétrant tangentiellement à la crête humérale et ressortant dans la fosse olécrânienne. Cette technique d'implantation des clous centromédullaires reste toujours hasardeuse sans guidage radioscopique du fait du risque qu'elle présente de faire ressortir le clou dans la cavité articulaire opposée au site de pénétration. On lui préfère souvent la méthode d'enclouage indirect.

L'enclouage indirect est beaucoup plus « sûr » d'emploi que la méthode précédente mais présente l'inconvénient d'intervenir au site du foyer de fracture en détruisant une partie de l'hématome fracturaire. Le mode opératoire est le suivant : on fait pénétrer la broche dans le canal médullaire d'un des abouts osseux vers l'articulation. La broche, ressortie par l'articulation, est ensuite réintroduite dans le sens inverse et on la fait pénétrer dans le canal médullaire de l'autre about jusqu'à ce que son extrémité morde dans la corticale opposée. Enfin, la broche est coupée à la bonne longueur et, dans le cas du radius, son extrémité est recourbée car, du fait de la nature rectiligne de cet os, les broches ont tendance à ressortir par le point de pénétration. Suivant l'os concerné, on opère différemment : pour l'humérus et l'ulna, la broche pénètre en position distale en direction de l'articulation proximale, et, pour le radius, la broche introduite en position proximale chemine en direction distale.

Le choix du diamètre de la broche est un élément crucial de cette technique d'enclouage: il faut choisir une broche ni trop mince car la stabilité sera inexistante, ni de trop fort diamètre qui risquerait de provoquer l'éclatement de l'os ou de retarder fortement le délai de cicatrisation. Classiquement, on préconise un implant comblant à peu près 60 % de la cavité médullaire (Gylstorff et Grimm, 1987).

Les fractures obliques ou spiroïdes peuvent être stabilisées par la pose de cerclages à rôle anti-rotatoire dont la pose est la même que chez les Mammifères mais il faut garder en mémoire que le cerclage n'est en général qu'un « pis-aller » car il provoque une ischémie au niveau de la corticale de l'os et retarde l'apparition d'un cal cortical.

Malgré les précautions observées, il arrive souvent qu'un enclouage simple n'immobilise pas suffisamment la fracture ; il faut alors recourir à des techniques complémentaires stabilisantes (Spink, 1978).

Le développement de l'enclouage fasciculé résulte du fait que même un clou de gros diamètre est impuissant à bloquer totalement les fractures simples transverses ou les fractures esquilleuses. Le principe est de placer dans la cavité médullaire le plus grand nombre de fines broches possible afin de bloquer les mouvements des bouts entre eux. On procède par enclouage direct, les broches étant toutes enfoncées en même temps, et une dernière broche verrouille le montage. Cette technique est utilisable sur l'ulna mais le nombre de broches au regard de la taille des os des oiseaux est limité. Cette technique, très invasive, engendre de gros risques d'éclatement de la cavité médullaire et est donc à employer avec circonspection. On lui préférera une variante classiquement connue sous le nom d'enclouage d'Ender. C'est un enclouage fasciculé à deux broches souples ou clous de Rush que l'on fait pénétrer avec une légère angulation au niveau de la corticale, ce qui provoque un cintrage du clou en position intra médullaire, la broche venant en butée sur la corticale en position médio diaphysaire et repartant dans l'autre direction avant de s'insérer sur la corticale distale opposée, bloquant ainsi les fragments osseux en tension à la manière d'une plaque (figure 23). Les deux clous verrouillent les fragments en tension dans deux directions opposées et suppriment ainsi tout mouvement rotatoire. Néanmoins, la compression est médiocre. Cette technique est particulièrement indiquée pour traiter les fractures épiphysaires non réductibles par fixation externe.



Figure 23: Radiographies illustrant l'enclouage fasciculé à deux broches souples de Rush sur une fracture médio-diaphysaire de l'humérus.

Une amélioration est apportée par la possibilité de tendre entre les deux extrémités des broches qui, dans ce cas, dépassent largement de la corticale distale et proximale un lien élastique assurant une compression au niveau de la peau. Cette technique est appelée technique de Doyle (Bennett, 1997).

Une autre variation de cette méthode consiste à effectuer un enclouage normal puis à recourber l'extrémité de la broche parallèle à l'axe de l'os et de la stabiliser avec une fixation externe à l'aide de ciment orthopédique de type APEF (Acrylic Pin External Fixator). La partie externe de la broche est alors enfilée dans une tubulure elle-même remplie de résine acrylique durcissable, puis deux broches sont insérées perpendiculairement au fût de l'os et traversent la tubulure. Les deux ostéosynthèses, l'enclouage centromédullaire et le fixateur externe sont donc rendus solidaires et les mouvements de rotation sont complètement annulés ; les mouvements de télescopages rencontrés lors de fixation interne de fractures comminutives ainsi que les problèmes de remontée du clou sont résolus par ce procédé appelé « tie-in », véritable enclouage « verrouillé ».

III.C.3 Matériel utilisé

Classiquement, le clou est choisi en fonction de la taille de l'os estimée par observation de la radiographie en tenant compte de l'agrandissement optique. On choisit en général un clou dont le diamètre occupe les deux tiers de la cavité médullaire. Pratiquement, on recherche le plus gros clou possible susceptible de pénétrer dans les corticales sans les faire éclater. Un clou occupant 60 à 70 % de la cavité de l'os est en général choisi.

Les clous les plus employés sont des broches de Kirchner de diamètre 1, 2 ou 3 mm.

Les matériaux composites, de par leur légèreté et leur absence d'interaction avec le vivant, sont assez employés en chirurgie aviaire en association avec d'autres techniques. Par exemple, des broches en polypropylène ou en méthyl méthacrylate n'offrent pas de rigidité suffisante pour la réalisation d'un enclouage centromédullaire simple mais peuvent être employées avec des vis ou des cerclages. Dans ce cas, elles sont insérées par le foyer de fracture et transfixées par une vis de traction. Elles se comportent alors comme des tuteurs bloquant les mouvements de rotation lors de fracture simple.

Une autre méthode, dite du « bilboquet », consiste à insérer un fil dans le fût de la broche plastique. Ce fil transfixe les fragments osseux une fois la broche en place, en bloquant les mouvements de navette de celle-ci. Ces montages ne sont néanmoins jamais totalement stables et leur emploi est souvent limité à des fractures simples sans déplacement et sans dégâts tissulaires connexes.

III.D Fixation externe

L'idée de fixer les fractures par un appareillage externe est très ancienne. Très employée chez les Mammifères cette technique l'est beaucoup moins chez les oiseaux, du fait des propriétés intrinsèques de leurs os et de la lourdeur des montages. Néanmoins, l'évolution des techniques et des matériels offrent de nouvelles perspectives en chirurgie aviaire.

Néanmoins, la fixation externe offre l'avantage d'être moins vulnérante que l'enclouage centromédullaire notamment en ce qui concerne des os pneumatisés comme l'humérus (Bush, 1980).

III.D.1 Historique et principes

Le précurseur des fixateurs externes, un modèle très rudimentaire, a été décrit pour la première fois par Malgaigne en 1853. Il fut ensuite amélioré par Lambotte qui l'utilisait exclusivement. Cordivilla (1904) a été le premier à utiliser un cadre complet, mais ce furent des vétérinaires, Stader aux Etats-Unis et Hoffmann en Europe qui apportèrent de notables améliorations. En effet, Hoffmann inventa un modèle percutané à l'aide de coapteurs dont le principe est toujours utilisé aujourd'hui. Il parlait alors d'Ostéotaxie et sa technique était basée sur 5 grands principes :

1 – Avant toute réduction manuelle, les abouts osseux doivent être fixés solidement à des broches, si possible en dehors de l'hématome fracturaire.

2 – Ces broches permettent de manipuler les rayons osseux de l'extérieur, y compris sous radioscopie, sans intervenir directement dans le foyer pour réduire la fracture.

3 – Lorsque la réduction par ostéotaxie est correcte, les broches sont solidarisées par des coapteurs reliés par des barres de fixation.

4 – La position du cadre ainsi formé peut être corrigée à tout moment en modifiant le réglage des coapteurs, même en cours de cicatrisation.

5 – Le contrôle de la consolidation se fait en intervenant sur les coapteurs. En effet, la cicatrisation osseuse complète requiert une mise en charge précoce de l'os ce qui stimule la croissance de l'os néoformé. Ainsi le cadre peut-il être dérigidifié par ablation progressive d'une ou plusieurs broches. C'est ce que l'on appelle la dynamisation.

Becker (1959) a perfectionné le système en utilisant des coapteurs plus modernes et surtout des tiges de liaison en matière plastique à la place de l'acier traditionnellement utilisé.

L'avantage de ce fixateur tient, tout d'abord, en la facilité de correction de l'azimutage du montage (puisque le cadre est rendu plus ou moins plastique) et, ensuite, par sa légèreté, qualité primordiale pour l'utilisation sur des animaux et notamment sur les oiseaux. L'inconvénient de cette méthode consiste en la relative difficulté d'obtenir une immobilisation du montage aussi forte que celle obtenue avec une ostéosynthèse traditionnelle avec des implants en acier.

Près de trente ans plus tard, les avantages de la technique d'Hoffmann apparaissent incontournables dans les cas suivants, lors :

- de fracture ouverte et infectée,
- de fracture comminutive avec des lésions tissulaires,
- de pseudarthrose,
- de fracture avec perte de substance,
- d'ostéotomie correctrice au niveau diaphysaire,
- d'arthrodèse.

Ces indications thérapeutiques ont été reconnues par l'Association pour l'Ostéosynthèse, aussi la technique d'ostéosynthèse par fixation externe a vu son champ d'application s'améliorer notablement (Grimm et Siebel, 1986).

L'intérêt de la fixation externe relève de la possibilité de traiter une fracture par une multiplicité de montages différents et d'adapter les montages aux conditions de la cicatrisation.

En premier lieu, la multiplication des possibilités de montages permet d'adapter les modalités de la réduction de la fracture au respect de la vascularisation, condition d'une bonne cicatrisation. En effet, nous avons vu que des fractures comminutives, difficilement réductibles, ne nécessitent pas nécessairement de réduction anatomique, les principes classiques de réduction « chirurgicale » pouvant même s'avérer néfastes à l'apparition d'un cal solide par la dévitalisation qu'elles impliquent au niveau du site opératoire. Il est communément admis qu'un affrontement des fragments correspondant à 50 % du diamètre de la cavité médullaire permet d'obtenir un cal suffisamment stable pour une bonne récupération fonctionnelle.

De plus, au niveau de la stabilité du montage, nous avons également vu que plus une fracture est comminutive, plus elle tolère une instabilité en son sein, l'effet des petits mouvements étant démultiplié par le nombre de fragments osseux et renforçant d'autant l'afflux d'éléments cellulaires ostéogéniques. Néanmoins, la stabilité du montage avec une fixation externe n'est

pas absolue et doit être recherchée dans tous les cas car elle reste la garante d'une bonne cicatrisation.

Il importe donc de connaître et comparer les différents montages pour pouvoir les adapter aux différents cas de fracture rencontrés (Groupe d'Etude pour la Chirurgie Orthopédique Vétérinaire (GECOV), 1999). La taille des oiseaux limite fortement l'emploi de certains fixateurs et, notamment, les combinaisons de montages.

III.D.2 Les différents montages et matériels

Vidal (1983) a été le premier à engager des recherches biomécaniques sur la stabilité en comparant les différents montages possibles de cette méthode c'est à dire l'hémicadre, le cadre transfixant, le double cadre transfixant, le cadre circulaire, et toutes les combinaisons de ces montages.

La spatialisation du montage vise à neutraliser les moments de torsion. La rigidité souhaitée peut ainsi être obtenue tout en limitant les éléments métalliques vulnérants traversant les corticales osseuses. Les avantages de ces montages complexes sont :

- l'ancrage des implants le plus loin possible du foyer de fracture,
- la possibilité de compression, de distraction, de neutralisation des fragments sans ré-intervention ultérieure,
- la limitation des plaies opératoires,
- la conduite facile de plusieurs thérapeutiques simultanément (bandages, irrigations, greffes...).

Cependant, en complexifiant les montages, on perd vite l'avantage lié à la rigidité par des complications inhérentes à la lourdeur des appareillages et cela, surtout chez les oiseaux communément rencontrés, très sensibles au stress de la contention et à l'ankylose de leurs articulations.

Le choix d'un montage particulier résulte donc d'un compromis entre la rigidité du montage et la légèreté de l'appareillage, chez les oiseaux. Aussi, les montages autorisés sont-ils relativement limités.

Les fixateurs les plus couramment utilisés sont constitués de trois éléments, articulés ensemble : les broches, les coapteurs et les barres.

Les broches doivent avoir un diamètre adapté à la taille de l'os et une nature adaptée au montage : lisses ou filetées, avec un filetage central (cas d'un cadre transfixant) ou limité aux extrémités (montages « hémifixants »). Les broches filetées s'ancrent beaucoup mieux dans les corticales que les broches lisses et accroissent la longévité du fixateur, car elles résistent bien à l'arrachage. Le filetage « positif » est préférable au filetage « négatif » (taillé dans l'épaisseur de la broche) et présente moins de risques de rupture de l'implant à l'interface lisse/filetée, car c'est à ce niveau que les contraintes sont maximales.

Les broches lisses se différencient par la nature de leur pointes car elles sont autotaraudeuses : les pointes type Ilizarov ou lancéolées sont préférables à celle de type trocart, car les premières exercent moins de pression sur les corticales, permettent d'évacuer les poussières d'os et de limiter la nécrose due à l'élévation de température lors du forage.

De même que la nature de la broche, la vitesse de forage est capitale pour la tenue de l'implant. En effet, le phénomène de nécrose thermique impose une vitesse de rotation inférieure à 300 tours/min. En règle générale, la vitesse de rotation recommandée se situe entre 150 et 300 tours/min en irrigant l'interface os/broche, si possible (Latte et Meynard, 1997).

Si la nature des montages et des broches est la même quelle que soit le type de fixateur externe utilisé, la nature des coapteurs, elle, varie suivant le type d'appareillage utilisé.

Les différents appareillages utilisés

Trois grands types de matériels sont à la disposition du praticien, eux mêmes extrapolés de la chirurgie orthopédique canine.

Le plus ancien est le fixateur de JAM, il est constitué des diverses broches décrites précédemment (figure 24). Ces broches sont solidarisées à des barres de même nature que les broches d'un diamètre de 2 à 4 mm et sont sécables selon le besoin. La fixation des broches aux barres s'opère à l'aide de coapteurs composés de deux flasques circulaires solidarisées entre elles par un écrou. Une rigole de chaque côté de chaque flasque permet le passage des broches ou des barres. La fixation de l'ensemble s'effectue par serrage de l'écrou. Les coapteurs existent en plusieurs tailles. L'avantage de ce type de fixateur est la possibilité de varier l'azimutage broche/barre de manière très simple ; c'est donc un système souple et malléable mais qui présente une rigidité médiocre ; pour stabiliser une fracture il faudra

souvent recourir au montage en hémifixation à double barre, ce qui alourdit de manière conséquente les appareillages.

Sur les segments osseux distaux on utilisera préférentiellement le montage en cadre transfixant B1.

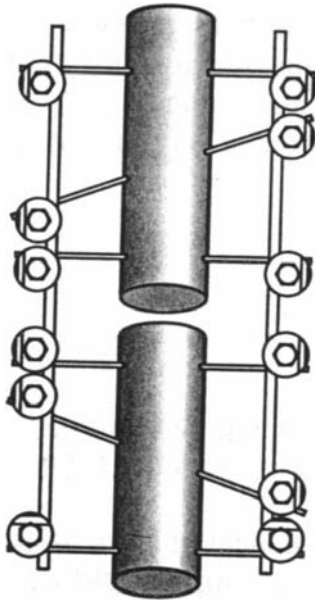


Figure 24: Montage en cadre transfixant à l'aide de l'appareillage de JAM (d'après Latte et Meynard, 1997).

Le matériel ancillaire est avant tout constitué par un viseur et un guide mèche.

Pour réaliser un montage JAM, en cadre à 3 ou 4 broches, il faut d'abord placer les broches des extrémités puis celles du centre. La difficulté consiste à bien azimuter toutes les broches dans un même plan ; on s'aide pour cela d'une deuxième barre d'appui placée le plus près possible de la peau. Les coapteurs eux doivent toujours être placés à l'extérieur de la barre. La durée moyenne de consolidation osseuse est d'environ 50 jours (Meij et coll., 1996)

Le *Fixateur Externe du Service de Santé des Armées* (FESSA) a été élaboré en chirurgie humaine pour traiter les fractures des extrémités (Meyrueis et coll., 1981). Son emploi en chirurgie vétérinaire date de 1990 et l'adaptation d'un système miniaturisé chez l'homme a rendu son emploi possible chez de petites espèces animales ainsi que bien-sûr chez les oiseaux (Casanova et coll., 1984). Ce fixateur utilise les mêmes broches que celles décrites précédemment mais son originalité tient au fait que la barre de fixation est elle même le

coaptateur du système ; il s'agit d'un tube en acier percé de quatre trous dans deux plans perpendiculaires : dans un plan passe la broche solidarisée à la barre par une vis de blocage dans l'autre plan (figure 25). Les tubes existent en trois dimensions, 6, 8, et 12 mm ; en chirurgie aviaire, seules les deux premières sont utilisées.

Par rapport au JAM, ce type de matériel est très stable en hémifixation ce qui est le type de montage le plus facilement utilisable pour les oiseaux. Un double fixateur hémifixant en V est aussi solide qu'une plaque de soutien équivalente, mais il est aussi beaucoup plus lourd et réservé à des sujets de grande taille. De plus c'est un système qui ne présente pas de risque de « débricolage » du montage au niveau de l'interface broche/barre (Reichler et coll., 1997).

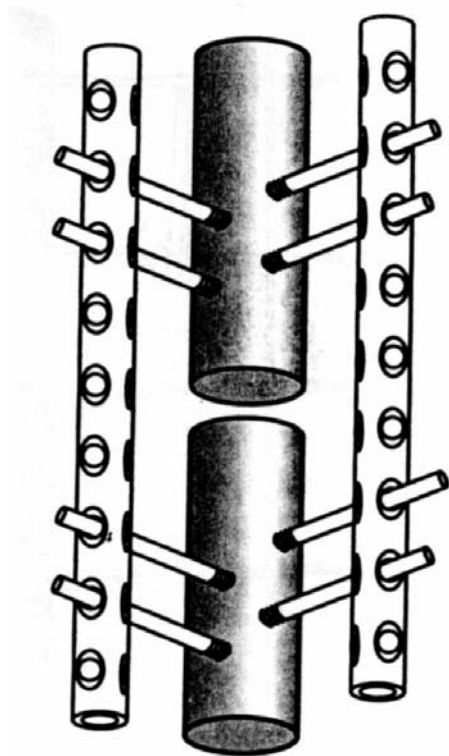


Figure 25: Hémifixation en V avec un FESSA constitué de deux demi-cadres à 90 ° (d'après Latte et Meynard, 1997).

Le tube doit être choisi en fonction du diamètre de l'os et la première broche s'implante sur le fragment proximal, le plus loin possible du foyer de fracture. Une fois la première broche bloquée, la fracture est réduite manuellement tout en veillant à bien maintenir la longueur de l'os dans le cas d'une perte de substance osseuse. Puis, la deuxième broche est implantée à travers le trou du tube le plus éloigné possible du foyer de fracture. Enfin, les autres broches

sont implantées au milieu en tenant compte du rapport rigidité/lourdeur de l'appareillage (GECOV, 1999).

Pour des sujets de petite ou moyenne taille, il convient d'utiliser des broches de Kichner, car des broches filetées sur des os trop petits présentent de gros risques d'éclatement des corticales.

Le système APEF (Acrylic Pin External Fixator) est un système qui repose sur les propriétés de polymérisation d'une résine acrylique qui relie les broches de fixation entre elles. On utilise des broches de Kirchner standard sur lesquelles vient s'impacter un tube souple et creux de 15 mm de diamètre ; la résine est envoyée sous pression à l'aide d'une seringue dans le tube et le système se rigidifie en 10 à 12 mn (figure 26). La difficulté consiste à obtenir une réduction correcte de la fracture avant de fixer le tube sur les broches. On dispose d'un matériel ancillaire constitué de petite barres coaptrices qui sont fixées aux broches et sont ôtées lorsque la résine s'est solidifiée.

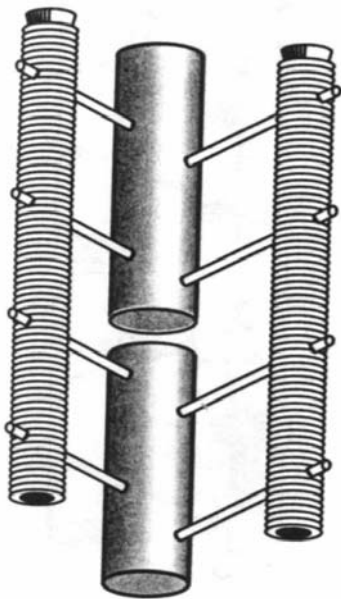


Figure 26: Montage APEF à deux hémicadres en V (d'après Latte et Meynard, 1997).

Ce système présente de nombreux avantages qui le font préférer classiquement aux autres solutions précitées : il est léger, caractéristique déterminante pour la chirurgie aviaire, il permet une modification de l'azimutage à la demande tant que la résine est encore plastique et

il ne nécessite pas d'aligner les broches dans un même plan ; il permet un pontage assez facile des articulations et sa radiotransparence permet de suivre avec précision le bon déroulement de la cicatrisation osseuse sous différentes incidences radiographiques (Latte et Meynard 1997). Par contre, une fois le système verrouillé, il est très difficile de rectifier l'alignement osseux. Sa stabilité en flexion et en torsion est inférieure à celle du FESSA.

Les différents montages « raisonnables » lors d'une ostéosynthèse chez les oiseaux de taille moyenne sont l'hémifixation (les broches ne sont reliées aux barres que d'un seul côté de l'os) ou à la rigueur, la transfixion (les broches traversent l'os de part en part et l'appareillage forme un cadre rigide). Le montage en cadre complet n'est applicable qu'aux sujets de grande taille et seulement pour les segments osseux distaux.

Une variante très stable de l'hémifixation est l'hémifixation en « V » avec deux demi-cadres dans deux plans orthogonaux ou, mieux encore, à 120°. Le montage en « V » avec le FESSA est le plus stable de tous les montages applicables aux oiseaux mais il alourdit l'ostéosynthèse.

La méthode APEF permet d'associer une hémifixation externe et un enclouage centromédullaire en recourbant la broche d'enclouage dans le tube recevant la résine. Cette ostéosynthèse plus légère que la précédente reçoit le nom de « tie-in ».

Comme pour la technique de pose des plaques, on peut, notamment chez des sujets de petite taille pour lesquelles l'implantation et la tenue des broches est toujours hasardeuse, remplir la cavité médullaire avec du ciment orthopédique. Cette méthode offre l'avantage de pouvoir alors utiliser des broches non filetées, d'une pose beaucoup plus facile et ne nécessitant pas de préforage des corticales. Dans ce cas de figure, le système le plus approprié est la technique APEF qui donne de bons résultats pour les rapaces de la taille des chouettes (Risi, 2005).

Les solutions apportées par la fixation externe à l'ostéosynthèse des oiseaux sont adaptées aux conditions opératoires et à la biomécanique de l'os des animaux de cette classe, à condition d'utiliser les bons matériels et de respecter certaines bonnes pratiques opératoires (figure 27).

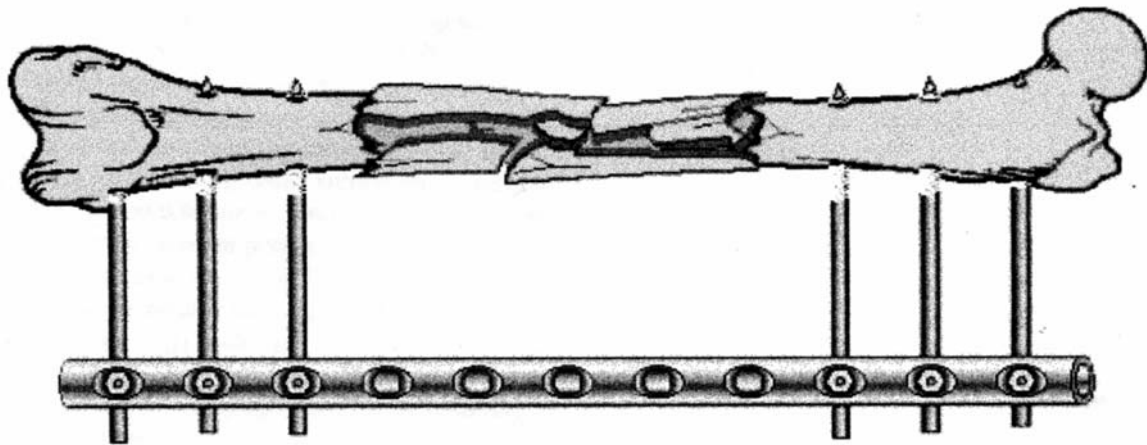


Figure 27: Ostéosynthèse « biologique » à l'aide d'un FESSA sur une fracture comminutive du fémur sans intervention au niveau du foyer de fracture (d'après Latte et Meynard, 1997).

Les problèmes et les limites inhérents à la fixation externe concernent la relative méconnaissance des contraintes biomécaniques mises en jeu par ces montages. Néanmoins, les systèmes performants et miniaturisés disponibles actuellement permettent d'agrandir toujours plus le champ d'application de cette méthode. Les complications postopératoires relatives à ces techniques peuvent être fortement limitées par une asepsie rigoureuse au niveau du contact os/broches, ce qui nécessite un nursing quotidien ou biquotidien et une antibiothérapie quasi-systématique.

La fixation externe est une technique non invasive qui permet un rétablissement rapide de la fonction de vol, une fixation rigide permettant néanmoins de micro mouvements stimulant la formation d'un cal endosté très solide, une durée d'anesthésie raccourcie et une possibilité de ré-intervenir pour réajuster l'alignement osseux et enfin, la seule ostéosynthèse possible dans les cas de fractures comminutives et infectées avec perte de substance osseuse.

IIIème PARTIE : ETUDE SPECIALE DES FRACTURES

I. Les fractures de l'humérus

Dans la première partie de ce travail, l'étiologie des fractures de l'humérus, leur incidence et leur gravité ont été présentées. Ces fractures, du fait de la traction des muscles, aboutissent souvent à de forts déplacements, l'about osseux proximal étant rabattu contre le thorax et l'about osseux distal se repliant contre l'avant bras. Cette configuration, selon la nature du trait de fracture, entraîne souvent une effraction cutanée plus ou moins grave. C'est la raison pour laquelle il faut toujours veiller à bien vérifier que la fracture, que l'on croyait fermée de prime abord, n'est pas en fait une fracture ouverte du premier degré, car ces fractures passent souvent inaperçues du fait de l'hématome et des plumes de couverture. De plus, le pronostic s'aggrave rapidement du fait de la rétraction musculaire importante sur ce rayon osseux soumis à de fortes sollicitations musculaires. Une fracture ancienne est d'autant plus difficilement réductible que la rétraction est forte. Ainsi, l'intégrité des tissus au voisinage de la fracture (vascularisation, nécrose ischémique, esquilles) constitue un facteur capital dans l'évaluation du pronostic puisque une grande part de l'élaboration des tissus cicatriciels est d'origine exogène.

Les voies d'abord sont de deux natures selon la localisation du traumatisme sur le segment : dorsale et ventrale.

I.A Voie d'abord dorsale et préparation du patient

Cette voie est utilisée lors de traumatismes de l'humérus proximal. La voie d'abord nécessite de récliner le solide muscle tenseur du patagium tout en évitant le nerf radial en position médio-diaphysaire.

L'oiseau est placé en décubitus ventral et le site opératoire est largement plumé. De plus, si on réalise un enclouage centromédullaire, il convient de préparer aussi la face ventrale du membre car on retourne l'oiseau.

La peau est incisée le long du fût osseux de manière curviligne à partir du tubercule dorsal de l'humérus. Chez les grandes espèces, il faut aussi récliner le muscle tenseur propatagial ainsi que le nerf axillaire en position profonde en faisant attention à la branche de l'artère subscapulaire. Le nerf radial se rencontre dans le deuxième tiers distal de l'os. Afin de

dégager le site opératoire, on peut séparer le tenseur propatagial dans son tiers distal en deux chefs et les récliner de part et d'autre de l'os.

En outre, il peut être nécessaire de désinsérer une partie du deltoïde majeur qui s'insère directement sur l'humérus, mais cela suppose sa réinsertion ensuite par transfixion sur l'os, ce qui n'est pas envisageable pour les petites espèces. Avant de refermer la plaie opératoire, il faut veiller à bien ressuturer les chefs du tenseur propatagial s'ils ont été préalablement séparés lors de l'intervention. Cette voie d'abord est ardue à cause du tenseur du propatagium.

Pour des traumatismes concernant l'humérus distal, l'abord dorsal se fait en incisant la peau le long de l'os jusqu'à la fosse olécrânienne en faisant extrêmement attention à ne pas léser le nerf radial qui, à ce niveau, croise l'os exactement sous la peau ; la position du nerf peut être déterminée facilement par taxis externe avant toute incision. A ce niveau, s'insèrent le deltoïde majeur et le chef caudal du triceps brachial, directement sur le fût osseux.

L'abord du coude est assez complexe du fait de l'insertion des muscles de l'avant-bras et de la main, à ce niveau. On préfère un abord ventral, dans ce cas.

I.B Voie d'abord ventrale de l'humérus

L'humérus proximal n'est pas accessible au chirurgien en abord ventral à cause des volumineux muscles pectoraux, superficiels et profonds. L'abord médio-distal de l'os se fait en écartant le biceps brachial et en veillant à ne pas léser la veine brachiale qui longe le fût osseux à ce niveau (Orosz et coll., 1992).

I.C Quelle méthode choisir dans le cas d'une fracture de l'humérus ?

Le choix de la technique chirurgicale dépend de la localisation de la fracture sur l'humérus.

Humérus proximal

Pour l'humérus proximal, les facteurs limitant la réparation chirurgicale sont l'existence de masses musculaires importantes rendant la réduction des fractures plus ardue et l'incurvation du fût osseux qui complique la pose d'implants.

La méthode de choix est l'enclouage centromédullaire, indirect de préférence, car l'incurvation de l'os ne permet pas une précision d'implantation de la broche. Chez les très petits sujets (petits ducs ou chouettes chevêches), le traitement orthopédique peut être à lui seul suffisant, à condition que la fracture soit fermée, simple et peu déplacée.

Sur des sujets plus gros (hulottes, buses et milans), on peut envisager la pose d'un fixateur externe de type hémicadre simple ou double qui, si la taille de l'oiseau le permet, est beaucoup plus stable. L'hémicadre en « V » de type « mini-fessa » ou APEF et un montage de type « tie in » associant broche et fixateur externe en un même appareillage, sont également utilisables. Pour des fractures ouvertes ou anciennes avec risque septique, cette technique est généralement la plus recommandée. Néanmoins, la pose d'un hémicadre de fixation externe nécessite une certaine dextérité car la mobilité du membre n'est pas très grande et le praticien est gêné par la masse pectorale adjacente. Dans tous les cas, la pose des broches filetées nécessite un préforage à basse vitesse (300 tours/min), sous irrigation de sérum physiologique stérile, pour prévenir la nécrose thermique de l'interface os/broche. Les broches sont appliquées à la main de manière à mordre dans la deuxième corticale sans la traverser complètement, car sinon les risques d'effraction cutanées sont importantes et vont blesser l'animal lors du maintien du membre plaqué contre la paroi thoracique. On peut aussi aider l'implantation des broches en utilisant du ciment orthopédique. On ne peut guère espérer implanter plus de quatre broches chez les oiseaux mais, avec une bonne contention orthopédique, l'ostéosynthèse est stable et cicatrise vite, le montage intervenant *a minima* au niveau du foyer de fracture. La complication la plus commune réside dans la lésion de faisceaux musculaires ou de structures vasculo-nerveuses lors de l'implantation des broches à laquelle il faut faire très attention.

Humérus diaphysaire

Pour les fractures au niveau de la diaphyse de l'humérus, la présence de structures nerveuses importantes, de muscles fléchisseurs puissants et des tendons du triceps complique l'ostéosynthèse. De plus, on note une incidence élevée de fractures ouvertes à ce niveau.

L'enclouage centromédullaire est possible mais il faut faire très attention au point de sortie de la broche pour éviter les réactions inflammatoires au voisinage de l'articulation scapulaire et, dans le pire des cas, de léser irrémédiablement les tendons du coude. Là encore, la fixation externe apparaît comme la technique de choix qui, à condition d'obtenir un montage stable et une bonne rigidité de la fracture, permet de minimiser les dommages collatéraux de l'intervention chirurgicale et d'améliorer la récupération fonctionnelle.

Pour augmenter la stabilité des montages, les méthodes « tie-in » sont les plus recommandées chez les petites espèces, car elles permettent de contrer les forces de flexion qui s'exercent sur les abouts osseux au niveau de la fracture.

Humérus distal

Les problèmes rencontrés lors de la réparation d'une fracture située sur l'humérus distal concernent les éventuelles lésions articulaires associées à une forte prévalence des fractures ouvertes ; ce sont souvent des traumatismes de mauvais pronostic.

Les options thérapeutiques sont limitées dans le cas de sujets de petite taille, en effet, la pose d'un fixateur externe est rendue hasardeuse par l'insuffisance de la surface osseuse disponible pour l'implantation des deux broches requises pour obtenir une stabilité correcte. On est donc souvent contraint d'opter pour un enclouage centromédullaire ou, à la rigueur, pour la technique des broches en croix.

Pour des sujets plus grand, la pose d'un fixateur externe à hémicadre transarticulaire de type FESSA (dans ce montage, les deux hémi-fixateurs sont reliés par une pièce coaptrice articulant les deux barres entre elles) ou APEF (Redig, 1998) est possible.

II. Les fractures du radius/ulna

II.A Voie d'abord dorsale

Comme pour l'humérus, le site opératoire est largement dégagé afin de ne pas être gêné lors des manipulations de réduction. Toutefois, les grandes rémiges secondaires sont conservées car elles s'insèrent directement sur le périoste : leur ablation est traumatisante et peut entraîner des hémorragies importantes.

II.A.1 Abord proximal

L'incision part du coude et passe médialement entre les deux os de l'avant-bras. Une attention particulière doit être portée aux nombreux ligaments qui s'insèrent sur le coude et qui sont directement accessibles sous la peau sans aucune protection.

L'os le plus facilement accessible est l'ulna. Il faut récliner l'extenseur du métacarpe tout en veillant à ne pas léser le tendon du tenseur du propatagium qui s'insère sur l'ulna en position dorsale. La branche profonde du nerf radial plonge entre le radius et l'ulna, ainsi que le faisceau vasculaire interosseux, ces éléments constituent un autre danger dans cette zone. L'ulna apparaît après avoir récliné l'extenseur métacarpien ulnaire.

Le radius s'aborde par écartement des muscles supinateur et de l'extenseur commun des doigts. Il faut faire attention à la branche superficielle du nerf radial qui chemine le long du bord caudal du radius. Le tendon du tenseur du propatagium recouvre le radius à ce niveau et gêne l'accès à l'os aussi, selon la localisation de la fracture, on peut être contraint de le sectionner pour dégager l'os.

L'avantage de cette voie d'abord est d'éviter les nombreux faisceaux vasculo-nerveux qui croisent en position ventrale.

II.A.2 Abord distal

Cette voie d'abord est utilisée lors de fractures ouvertes ou comminutives. La ligne d'incision passe exactement entre les deux rayons osseux pour éviter le nerf radial. On récline les extenseurs ulnaire et radial du métacarpe de part et d'autre du site opératoire.

Une intervention sur l'ulna peut justifier que l'on ôte quelques rémiges secondaires mais pour ne pas léser le follicule, il convient de sectionner le calamus juste entre l'os et la peau (Roush, 1980).

II.B Voie d'abord ventrale

Cette voie est utilisée lors d'enclouage centromédullaire du radius, à l'inverse de l'ulna qui est plus accessible par voie dorsale. Avant d'inciser, il est utile de repérer les vaisseaux (c'est-à-dire l'artère ulnaire superficielle et ses ramifications) qui cheminent juste sous la peau et qui sont reconnaissables par simple palpation. L'incision se fait en arrière du vaisseau contre le bord caudal du radius. Elle révèle de nombreuses structures à ce niveau dont les muscles pronateurs superficiel et profond, l'extenseur long des doigts et l'ulnométacarpien ventral. Derrière ce dernier chemine le fléchisseur superficiel des doigts ainsi que le faisceau vasculo-nerveux accompagnant le nerf médio-ulnaire.

Le réel danger de cette voie d'abord, par ailleurs assez facile, réside dans les risques d'hémorragie ou de lésions nerveuses, les muscles étant réduits à des tendons très fragiles, à ce niveau (Orosz, 1994).

II.C Quelle méthode employer ?

Lorsque seul l'un des deux rayons osseux, radius ou ulna, est le siège d'une fracture, ceci constitue le seul cas où l'on peut se passer d'intervention chirurgicale au sens strict : un

traitement orthopédique peut généralement suffire, si la fracture n'est pas ou peu déplacée. En effet, l'os sain adjacent se comporte comme une véritable attelle. Il faut veiller néanmoins à obtenir une très bonne immobilisation du fragment, car tout mouvement intempestif aura pour conséquence la production d'un cal hypertrophique avec un retard voire une absence de consolidation et de synostose des deux os entre eux, compromettant irrémédiablement la fonction locomotrice. Généralement, un solide bandage en huit est suffisant.

Lorsque l'on se trouve face à une double fracture du radius et de l'ulna, ce qui arrive assez souvent, la meilleure technique opératoire est de recourir à la fixation externe, car elle permet d'éviter toute atteinte articulaire invalidante pour le vol de précision. En général, on pose un hémicadre sur l'ulna qui offre la plus grande surface osseuse pour l'implantation des broches, avec ou sans adjonction de ciment intra-médullaire ou de broche synthétique. En général, les fractures du radius ne nécessitent pas d'ostéosynthèse complémentaire sauf dans le cas de fractures avec déplacement ou lors d'instabilité. Dans ces cas, il convient de poser une broche intra-médullaire dans le radius afin de prévenir toute maladie fracturaire pouvant résulter d'un cal hypertrophique. Afin de prévenir tout risque d'atteinte articulaire, la broche peut être placée selon la technique de la navette : une broche synthétique dans laquelle passe une ligature en position médiale est introduite de manière rétrograde dans la cavité de l'os, repoussée d'un côté puis tirée de l'autre pour empaler l'autre about osseux ; le fil est ensuite ligaturé à l'os afin de stabiliser le tout (Bennett, 1997).

L'enclouage centromédullaire de l'ulna s'effectue par progression normograde (enclouage direct) alors que le radius doit être encloué de manière rétrograde à partir du métacarpe (Redig, 1998).

III. Les fractures ouvertes

Nous avons vu que les fractures ouvertes concernent un grand nombre de cas de traumatismes des membres supérieurs des oiseaux (plus de 56 % dans l'échantillon) dont l'origine est variée mais qui est due en grande partie à la structure même du squelette des oiseaux dont les os solides mais peu protégés amortissent bien les chocs jusqu'à une certaine limite qui, dépassée, provoque un éclatement du rayon osseux avec création d'esquilles parfois multiples, souvent vulnérantes qui ne vont pas tarder à percer la peau, très proche de l'os à ce niveau ; le cas des

fractures par armes à feu est un cas à part car particulièrement délabrant par l'onde de choc occasionnée par le projectile et le risque septique qu'elles sous-tendent.

III.A Les fractures ouvertes sont des urgences thérapeutiques

Par définition, une fracture ouverte communique directement avec le milieu extérieur et présente donc un risque septique évident à moduler selon le degré d'effraction cutanée. On peut distinguer plusieurs stades de selon la gravité des lésions :

- les fractures du premier degré concernent une effraction causée par les structures internes, de l'intérieur vers l'extérieur avec un risque septique mineur. Ce sont souvent des fractures fermées qui se sont ouvertes dans un deuxième temps. Ce cas est très fréquent chez les oiseaux où l'os est pratiquement au contact de la peau.
- les fractures du second degré ont une communication plus importante avec l'extérieur, causée par le choc ou le projectile ; les tissus environnants sont mortifiés et la contamination est réelle.
- les fractures du troisième degré concernent des fractures comminutives largement ouvertes et infectées avec perte de substance osseuse ou dévitalisation plus ou moins sévère de l'os. Les muscles et le tissu conjonctif sont sévèrement lésés. Ce sont souvent les cas rencontrés lors de blessures par armes à feu.

On voit aisément que le pronostic d'une fracture ouverte dépend largement de l'ancienneté du traumatisme ainsi que de la qualité du traitement entrepris.

On appréciera donc en priorité les fonctions vitales par un examen complet de l'animal et on testera la vitalité de l'aile par palpation et stimulation. Un membre inerte et froid est d'un mauvais pronostic.

Outre la nécessité de stabiliser la fracture et d'obtenir une cicatrisation osseuse, il est primordial de juguler l'infection par un traitement antibiotique adéquat. Rappelons qu'au delà de six heures, une plaie est considérée comme infectée. L'antibiothérapie devra donc être entreprise même sur une fracture du premier voire sur une fracture en apparence fermée mais ancienne car l'effraction tissulaire est parfois à peine visible

III.B. L'antibiothérapie doit être systématique

L'antibiothérapie doit être mise en place dès l'admission de l'oiseau. Elle doit être la plus précoce possible, recouvrir un large spectre et se poursuivre au moins trois jours (Ostermann et coll., 1993) Les antibiotiques utilisés chez les oiseaux sont ceux utilisés chez les Mammifères et l'on ne relate pas d'allergies particulières.

L'association céphalosporines/aminosides donne de bons résultats et présente le spectre d'action le plus large.

La marbofloxacin à la posologie de 15 mg/kg est couramment utilisée mais l'enrofloxacin donne des résultats équivalents (BaytrilND 5 % 0.3 ml/kg).

La clindamycine à 50 mg/kg est particulièrement recommandée pour les plaies infectées en raison de la résistance de certaines bactéries aux céphalosporines.

III.C Traitement des fractures ouvertes et fermeture de la plaie

Un soin particulier devra être donné à l'antisepsie de la plaie. Il faut évaluer la vitalité des tissus au voisinage de l'os afin de retirer les éventuelles structures nécrosées, de même, une esquille osseuse d'aspect terne et non reliée à un tissu vivant devra subir un retrait sous peine de créer un séquestre au sein du foyer de fracture. Le parage de la plaie est donc une étape capitale du traitement des fractures ouvertes.

L'antisepsie de la plaie est une étape non moins importante car elle vise, par une irrigation adéquate à éliminer les tissus nécrosés et évacuer le maximum de germes incrustés dans les tissus (Ostermann et coll., 1995).

L'irrigation est un acte important ; on utilise du gluconate de chlorhexidine dilué dans une solution saline isotonique sous pression et l'on veillera à récupérer les effluents pour ne pas inonder l'oiseau. On peut également terminer ce parage en utilisant une solution antibiotique de bacitracine ou de polymyxine B qui donnent de bons résultats en traitement local (Rosenstein et coll., 1989).

Vient ensuite la décision chirurgicale proprement dite pour stabiliser la fracture.

Une fracture ouverte ne requiert pas les mêmes solutions d'ostéosynthèse que les fractures fermées surtout lorsque l'on a affaire à des comminutions voire à des pertes de substance osseuse.

Quel que soit le mode opératoire utilisé, l'acte chirurgical doit aboutir à la stabilisation de la fracture, seule condition préalable à la cicatrisation et à la prophylaxie de l'infection.

Une grande règle consiste, en ce qui concerne les fractures ouvertes, à éviter d'intervenir directement au niveau du foyer de fracture car étant donnée la dévitalisation des tissus environnants, il faut conserver le maximum de tissu conjonctif autour du foyer.

Ainsi, la méthode de choix de traitement des fractures ouvertes chez les oiseaux est la fixation externe qui, même si elle crée une effraction au voisinage des broches, ne lèse pas les structures au niveau du foyer lui-même. De plus, ce mode de fixation permet un accès régulier à la plaie et aux tissus environnants.

En effet, une plaie très infectée du troisième degré peut nécessiter plusieurs jours de traitement antiseptique local ce qui retarde sa fermeture définitive ; grâce au fixateur externe, on peut stabiliser la fracture et laisser la plaie ouverte concomitamment, sous un pansement stérile. Lorsque la plaie semble saine on peut alors envisager une suture.

III.D Les blessures par armes à feu

Un soin particulier doit être apporté au traitement des blessures par arme à feu par les dégâts spécifiques qu'elles impliquent.

Un grand nombre de fractures ouvertes sont le fait d'actes de chasse (figure 28). Les armes à feu employées pour la chasse sont des armes utilisant des projectiles à haute vélocité ; elles s'apparentent de ce fait aux armes de guerre. La particularité du projectile qui pénètre un tissu vivant est de lui transmettre une onde de choc très importante, fonction de son énergie cinétique et donc de sa vitesse ; ainsi le projectile occasionne-t-il une plaie cutanée d'une taille équivalente à sa taille propre mais, stoppé par les tissus, il leur restitue son énergie en dilatant les tissus ; il se crée une cavité qui peut être très importante à l'intérieur de laquelle les structures vivantes sont détruites (Pavletic, 1986a et b).

De plus, ces plaies sont toujours contaminées, d'une part, par les projectiles eux-mêmes et, d'autre part, secondairement par pénétration des germes du milieu extérieur (Hollermann et coll., 1990a et b).



Figure 28: Radiographie montrant une fracture de l’ulna provoquée par un plomb, et compliquée d’ostéomyélite.

Les règles d’antisepsie devront donc être scrupuleusement observées mais plus encore que la contamination de la plaie, c’est la dévascularisation osseuse et une ostéosynthèse inadaptée qui sera à l’origine d’une ostéomyélite. Le traitement de choix consistera, là encore, à essayer autant que possible d’appliquer une fixation externe, de faire une bonne antisepsie de la plaie et de limiter le parage de la plaie au niveau du foyer de fracture à un strict minimum (Heim et coll., 1992).

L’examen radiologique, en même temps qu’il offre un diagnostic d’une blessure de chasse, illustre le fait que ces fractures sont majoritairement comminutives avec éclatement de l’os et lésion des structures environnantes. La consolidation osseuse ne pourra être totale que par application du principe de l’ostéosynthèse biologique visant à conserver l’intégrité du foyer en évitant d’implanter tout matériel d’ostéosynthèse à ce niveau.

Pour combattre l’ostéomyélite, on tentera avantageusement d’isoler les germes présents par un antibiogramme afin d’appliquer une antibiothérapie ciblée qui sera prolongée le temps de la cicatrisation osseuse.

On voit donc que le choix opératoire, loin d'être aléatoire, doit être déterminé par les conditions mêmes imposées par les lésions et la nature de la fracture.

Les broches intra-médullaires, les fixateurs externes et leurs nombreuses combinaisons ainsi que la variété des montages propres à chaque technique ont déjà amplement prouvé qu'une bonne technique chirurgicale pouvait induire une restauration complète de l'état d'origine et des possibilités fonctionnelles à condition que l'on respecte certains détails techniques comme l'utilisation de broches profilées, une implantation adéquate des broches centromédullaires et le choix d'une technique visant à limiter au maximum la période d'immobilisation du membre fracturé. La conjonction de l'enclouage centromédullaire et de la fixation externe en un montage « tie-in » donne de très bons résultats en ce qui concerne les fractures diaphysaires de l'humérus ou de l'ulna. L'utilisation d'un ciment en méthyl-métacrylate permet également de stabiliser un enclouage centromédullaire sur une fracture distale de l'humérus, là où la pose d'un fixateur ne pourrait pas être possible. Un enclouage du seul radius est envisageable lors de certaines fractures non déplacées de l'avant-bras, sinon, en cas de doute, il convient de fixer aussi l'ulna avec un fixateur externe. Les fractures du carpo-métacarpe sont les plus délicates à traiter, surtout chez des petites espèces et l'enclouage centromédullaire donne de mauvais résultats. On conseille plutôt là encore, un montage « tie-in » ou un simple fixateur externe ou, chez les sujets de moins de 600 g, une simple contention orthopédique.

Dans tous les cas, après l'intervention chirurgicale, il faut porter une grande attention aux risques d'ankylose ou de lésions articulaires ou musculo-tendineuses du membre appareillé. Dès les jours suivants l'intervention, il faut, à l'occasion du remplacement du pansement, mobiliser doucement le membre afin de détendre les muscles et oxygéner les articulations qui, chez les oiseaux, du fait de la pauvreté du conjonctif, ont une forte tendance à la rétraction de la capsule articulaire. Dès que l'on estime que le cal a pris le relais de la charge exercée sur l'implant osseux, et après contrôle radiologique, il faut laisser l'animal se mouvoir dans une cage de dimension réduite avec un grillage peu tendu pendant une semaine au moins avant de l'introduire dans une volière plus importante. La récupération complète de la fonction locomotrice peut nécessiter parfois de longues semaines supplémentaires. Et c'est à ce prix que la réhabilitation de l'oiseau blessé peut s'envisager sereinement.

CONCLUSION

Les patients présentés au centre de soins avec des fractures comminutives ou des fractures juxta-articulaires, avec mortification des tissus mous environnants, ou des fractures ouvertes infectées nécessitent une réelle réflexion avant d'entamer une intervention chirurgicale et ne relèvent souvent pas d'une ostéosynthèse classique. Le vœu de fixer les os de l'intérieur sans intervenir au niveau du foyer de fracture est ancien et a été à l'origine d'un grand nombre d'appareillages mais les spécificités physiologiques et anatomiques des oiseaux ainsi que les défis que posent la biomécanique particulière de leurs os ont été à l'origine d'une grande réserve avant de s'aventurer dans une chirurgie ostéoarticulaire, chez ces animaux. Cependant, la pression drastique que l'homme fait peser sur certaines espèces de par son mode de vie ou ses comportements nécessite une prise de conscience de la valeur écologique de toute cure chirurgicale réussie. Les progrès importants des techniques d'investigation médicale ainsi que l'apparition de nouvelles techniques chirurgicales et de nouveaux biomatériaux sont porteuses de beaucoup d'espoirs sur le chemin de la réhabilitation d'espèces protégées et doivent pousser les praticiens, chaînons importants et méconnus de la protection des espèces animales, à se « lancer » dans l'aventure de la chirurgie aviaire avec les nouvelles techniques. En ce sens, la fixation externe, encore très sous-exploitée, doit trouver sa place dans l'arsenal thérapeutique mis à la disposition du vétérinaire un tant soit peu « éclairé ». C'est dans cette optique que ce travail a voulu apporter sa contribution.

AGREMENT ADMINISTRATIF

Je soussigné, A. MILON, Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, certifie que

Mr MARGUIN Laurent

a été admis(e) sur concours en : 1994

a obtenu son certificat de fin de scolarité le : 17 Septembre 1999

n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

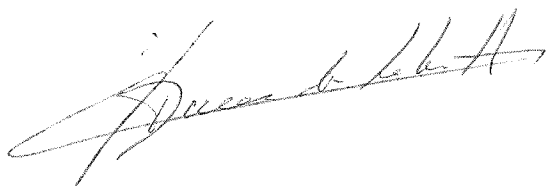
Je soussigné, Jacques DUCOS de LAHITTE, Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
autorise la soutenance de la thèse de :

Mr MARGUIN Laurent

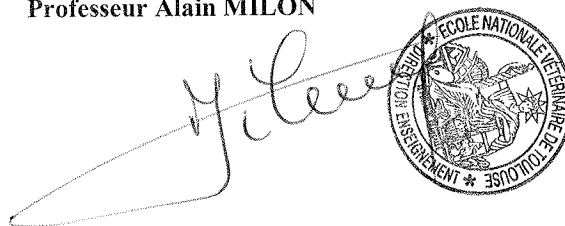
intitulée :

«Cure chirurgicale des fractures de l'aile des Rapaces.»

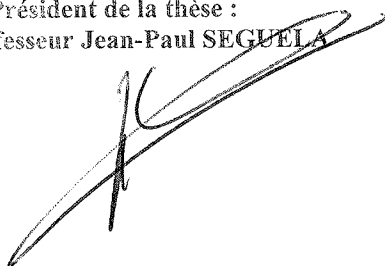
Le Professeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Professeur Jacques DUCOS de LAHITTE



Vu :
Le Directeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Professeur Alain MILON



Vu :
Le Président de la thèse :
Professeur Jean-Paul SEGUELA



Vu le : - 5 JUIN 2007
Le Président
de l'Université Paul Sabatier
Professeur Jean-François SAUTEREAU



BIBLIOGRAPHIE

Altman R. B.

Chapter 40: General surgery considerations.

In Avian Medicine and Surgery, Altman, Clubb, Dorrenstein, Quesenberry ed.,
W. Saunders Company, Philadelphia, USA, 1997, 1070 pp.

Anderson G.

Fracture disease and related contractures.

Veterinary Clinics of North America (small animal practice), 1991, 21, 845-858.

Autefage A.

Chapitre 4.1 : Os et fracture.

In Manuel de fixation externe.

Latte Y., Meynard J.A. eds, PMCAC édition, Paris, France, 1997, 534 pp.

Bebchuck T., Harari J.

Gunshot injuries: Pathophysiology and treatments.

Veterinary Clinics of North America (small animal practice), 1997, 25, 1111-1126.

Bennett R.A.

Chapter 42: Orthopedic surgery.

In Avian Medicine and Surgery, Altman, Clubb, Dorrenstein, Quesenberry ed.,
W. Saunders Company, Philadelphia, USA, 1997, 1070 pp.

Bennett R. A., Kuzma A. B.

Fractures management in bird.

Journal of Zoo Wild Medicine, 1992, 23, 5-38.

Berges P.

Accidents dont sont victimes les rapaces et moyens de les secourir; étude sur 547 oiseaux en région Midi-Pyrénées.

Thèse Med. Vet. Toulouse, 1999, n° 4101, 71 pp.

Beynon P., Forbes N., Harcourt-Brown N.

Manual of raptors, pigeons and waterfowl.

British Small Animal Veterinary Association, 1996a, 360 pp.

Beynon P., Forbes N., Lawton M.

Manual of psittacine birds.

British Small Animal Veterinary Association, 1996b, 240 pp.

Bush M.,

External fixation to repair long bone fractures in larger birds in
Kirk's current veterinary medicine vol 8,

W. Saunders Company, Philadelphia, USA, 1983, 1267 pp

Casanova G., Chauvet J., Savornin C., Willems P., Bissérie P., Benedittini J. N., Lazennec J.Y.

Le mini fixateur du service de santé des armées, présentation et premiers résultats.
Revue de Chirurgie Orthopédique, 1985, 71, 102-104.

Chancrin J.L.

Anatomie et physiologie de l'os.

Encyclopédie vétérinaire, Paris, 1992, Orthopédie 2800, 8 pp.

Chavaren J.

Etude des fractures de l'aile des oiseaux sauvages, cure chirurgicale.

Thèse Med. Vet. Alfort, 1990, 75 pp.

Claes L., Heitmeyer U., Krischak G., Braun H., Hierholzer G.

Fixation technique influences osteogenesis of comminuted fractures.

Clinical Orthopaedics and Related Research, 1999, 365, 221-229.

Clyde V. & Paule-Murphy J.

Avian Analgesia.

In Kirk's current veterinary therapy vol 13,

W. B. Saunders Company, Philadelphia, USA, 2000, 1308 pp.

Coles B. H.

Chapter fourteen: Wing problems.

In Manual of psittacine birds. Beynon, Forbes, Lawton ed.,

British Small Animal Veterinary Association, Cheltenham, Gloucestershire, England, 1996, 240 pp.

Degernes L.A., Roe S.

Biomechanical studies in avian orthopedics.

Proceedings Association of Avian Veterinarians, 1997, session 3040.

Dorange A.

Présentation d'un clou à multiples fixateurs internes.

Thèse Med. Vet. Alfort, 1993, 126 pp.

Dressen P., Wimsatt J., Burkhard M.

The effects of isoflurane anesthesia on hematologic and plasma biochemical values of American kestrels.

Journal of Avian Medicine and Surgery, 1999, 13, 173-179.

Forbes N. A., Lawton M. P. C.

Examination, basic investigation and principles of therapy.

In Manual of psittacine birds. Beynon, Forbes, Lawton ed., British Small Animal Veterinary Association, Cheltenham, Gloucestershire, England, 1996, 240 pp.

Forterre F.

L'ostéosynthèse biologique; étude rétrospective de 126 fractures traitées par une ostéosynthèse biologique.

Thèse Med. Vet. Toulouse, 1993, 93-TOU3-4116, 134 pp.

Groupe d'Etude de la Chirurgie Osseuse Vétérinaire (GECOV)

7^{ème} cours de base de la fixation externe.

Nantes, ENVN, 13 au 17 avril 1999, 245 pp.

Greenacre C., Quandt J.

Comparison of sevoflurane to isoflurane in Psittaciformes.

Proceedings Association of Avian Veterinarians, 1997, session 3020.

Grimm F., Siebel W;

Perkutane osteosynthese beim vogel mit optimiertem „fixateur externe“.

Tagungsbericht der 25ten Deutschen Veterinaer Gemeinschaft, Muenchen, Allemagne, 1986, 213-216.

Gustilo R., Merkow R., Tempelman D.

Current concepts review: the management of open fractures.

The Journal of Bone and Joint Surgery, 1990, 72, 299-304.

Gylstorff I., Grimm F.,

Vogelkrankheiten,

Ulmer Verlag, Stuttgart, Allemagne, 1987, 609 pp.

Heard D.

Avian anesthesia: present and future trends

Proceedings Association of Avian Veterinarians, 1997, session 3010.

Heidenreich M.

Greifvoegel,

Blackwell Wissenschafts Verlag, Berlin, Allemagne, 1996, 294 pp.

Heim D., Regazzoni P., Perren S.M.

Utilisation actuelle de la fixation externe pour les fractures ouvertes.

The British Journal of Accident Surgery, 1992, 23 (suppl. 1), 1-42.

Heinzel H.

Oiseaux d'Europe

Guide Delachaux et Niestlé, 1996, 384 pp.

Hollermann J., Fackler M. L., Coldwell D. M., Ben-Menachem Y.

Gunshot wounds: 1. bullets, ballistics, and mechanisms of injury.

American Journal of Radiology, 1990a, 155, 685-690.

Hollermann J., Fackler M. L., Coldwell D. M., Ben-Menachem Y.

Gunshot wounds: 2. radiology.

American Journal of Radiology, 1990b, 155, 691-702.

Hoppes S.

Pharmacokinetics and analgesic effects of fentanyl in the Umbrella Cockatoo.

Proceedings Association of Avian Veterinarians, 1997, session 5020.

- Kerdelhue B.
La chirurgie orthopédique chez les rapaces, étude de cas cliniques.
Thèse Med. Vet. Lyon, 1992, n° 39, 128 pp.
- Latte Y., Meynard J.A.
Manuel de fixation externe
PMCAC éditions, Paris, France, 1997, 534 pp.
- Lipowitz A.
Management of gunshot wounds of the soft tissues and extremities.
Journal of American Animal Hospital Association, 1976, 12, 813-821.
- Mac Coy D. M.
Chapter 56: Orthopedic surgery.
In Diseases of Cage & Aviary Birds,
W. Rosskopf & R. Woerpel ed., Williams & Wilkins, Baltimore, USA, 1996, 1088 pp.
- Mebs T., Scherzinger W.
Rapaces nocturnes de France et d'Europe.
Delachaux et Niestlé éditions, Paris, France, 2006, 398 pp.
- Meij B., Hazewinkel H., Westerhof I.
Treatment of fractures and angular limb deformities of the tibiotarsus in birds by Type II external fixation.
Journal of Avian Medicine and Surgery, 1996, 10, 153-162.
- Meyrueis J.P., Vialla J.M., Lesaint B., Callec A.
La fixation des foyers de fracture doit-elle être rigide ?
Revue Annuelle de Chirurgie Orthopédique, 1983, 67 (suppl. 2), 78-81.
- Meyrueis J.P., Vialla J.M., Miné J., Rochat G., Cazenave A.
Le fixateur externe du service de santé des armées.
Cahiers de chirurgie, 1981, 40, 15-20.
- Morishita T.
Morbidity and mortality in free living raptorial birds of Northern California.
Journal of Avian Medicine and Surgery, 1998, 12, 78-81.
- Morishita T., Aye P., Brooks D.
A survey of diseases in raptorial birds.
Journal of Avian Medicine and Surgery, 1997, 11, 77-92.
- Müller M. E., Allgöwer M., Willenegger H.
Manuel d'ostéosynthèse, technique AO.
Masson et Cie édition, Paris, France, 1970, 290 pp.
- Orosz S.
Surgical anatomy of the avian carpometacarpus.
Journal of the Association of Avian Veterinarians, 1994, 8, 179-183.

- Orosz S., Ensley P., Haynes C.
Avian surgical anatomy, Thoracic and pelvic limbs.
W. Saunders Company, Philadelphia, USA, 1992, 140 pp.
- Ostermann P., Sligson D., Henry S.
Local antibiotic therapy for severe open fractures.
The Journal of Bone and Joint Surgery, 1995, 77, 93-97.
- Ostermann P., Seligson D., Henry S.
The role of antibiotic therapy in the management of compound fractures.
Clinical Orthopaedics and Related Research, 1993, 295, 102-111.
- Patzakis M., Harvey P., Ivler D.
The role of antibiotics in the management of open fractures.
The Journal of Bone and Joint Surgery, 1974, 56, 532-541.
- Paul-Murphy J.
Evaluation of analgesic properties of butorphanol and buprenorphine for the psittacine bird.
Proceedings Association of Avian Veterinarians, 1997, session 3030.
- Pavletic M.
Gunshot wounds in veterinary medicine: projectile ballistics - part 1.
The Compendium of Veterinary Clinics, 1986a, 8, 47-60.
- Pavletic M.
Gunshot wounds in veterinary medicine: projectile ballistics - part 2.
The Compendium of Veterinary Clinics, 1986b, 8, 125-136.
- Phalen D., Lau M., Fillippich L.
Considerations for safety maintaining the avian patient under prolonged anaesthesia.
Proceedings Association of Avian Veterinarians, 1997, session 3000.
- Pollock C.
Practical total parenteral nutrition.
Proceedings Association of Avian Veterinarians, 1997, session 6020.
- Powers L.
Fluid therapy in birds.
Proceedings Association of Avian Veterinarians, 1997, session 6010.
- Rault P.
L'examen clinique de l'oiseau recueilli se déroule en quatre temps.
La Semaine Vétérinaire, 2006, 1233, 31.
- Redig P.T.
Decision making in avian orthopedics.
Proceedings Association of Avian Veterinarians, 1998, session 300.

- Redig P.T.
Management of medical emergencies in raptors.
In Kirk's current veterinary medicine vol 11,
W. Saunders Company, Philadelphia, USA, 1992, 1346 pp.
- Reichler I., von Werthern C., Montavon P.
Der tubulare fixateur externe : klinische Anwendung zur Frakturversorgung.
Kleintierpraxis, 1997, 42, 357-436.
- Risi E.
Un montage tie-in permet de traiter une fracture de l'humérus chez un rapace.
La Semaine Vétérinaire, 2005, 1237, 57.
- Rosenstein B., Wilson F., Funderburk H.
The use of bacitracin irrigation to prevent infection in postoperativ skeletal wounds.
The Journal of Bone and Joint Surgery, 1989, 71, 427-430.
- Roush J. C.
Avian orthopedics.
In Kirk's Current veterinary therapy vol 3,
W. Saunders Company, Philadelphia, USA, 1980, 1339 pp.
- Rupley A.
Manual of avian practice.
W. Saunders Company, Philadelphia, USA, 1997, 556 pp.
- Savornin C., Labourel J.M.
L'hématome fracturaire : mise en évidence expérimentale de son rôle dans la consolidation fracturaire.
Médecine et Armées, 1982, 6, 489-494.
- Simpson G. N.
Chapter seventeen: Wing problem.
In Manual of raptors, pigeons and waterfowl. Beynon, Forbes, Harcourt-Brown ed., British Small Animal Veterinary Association, Cheltenham, Gloucestershire, England, 1996, 360 pp.
- Spink R.
Fracture repair in rehabilitation of raptors.
Veterinary Medicine (small animal practice), 1978, 73, 1451-1455.
- Stevenson S., Olmstead M., Kowalsky J.
Bacterial culturing for prediction of postoperative complications following open fracture repair in small animals.
Veterinary Surgery, 1986, 15, 99-102.
- Tanzella D.J.
Ulnar ostectomy in a pale headed rosella with multiple injuries.
Journal of the Association of Avian Veterinarians, 1993, 7, 153-155.

Tempelman D., Gulli B., Tsukayama D., Gustilo R.
Update on the management of open fractures of the tibial shaft.
Clinical Orthopaedics and Related Research, 1998, 350, 18-25.

Van Sant F., Hooimeijer J.
Conservation can't wait.
Proceedings Association of Avian Veterinarians, 1997, session 2000.

Verwaerde P., Estrade C.
Vade-Mecum d'anesthésie des carnivores domestiques.
Med'com éditions, Paris, France, 2005, 255 pp.

Vienet V.
Conduite à tenir face à un oiseau blessé.
L'Action Vétérinaire, 2001, 1576, 13-19.

White J., Morzenti A.
Current guidelines for the release of native free-ranging birds.
Proceedings Association of Avian Veterinarians, 1997, session 2010.

Woodard J. C., Riser W. H.
Morphology of fracture non-union and osteomyelitis.
Veterinary Clinics of North America (small animal practice), 1991, 21, 813-844.

Worlock P., Slack R., Harvey L., Mawhinney R.
The prevention of infection in open fractures.
The Journal of Bone and Joint Surgery, 1988, 70A, 1341-1347.

Toulouse, 2007

NOM : MARGUIN

Prénom : Laurent

TITRE : Cure chirurgicale des fractures de l'aile des Rapaces

RESUME :

Une grande partie de la traumatologie des rapaces concerne les fractures des ailes et principalement celles de l'humérus, du radius et de l'ulna avec une majorité de fractures ouvertes et comminutives. Ceci s'explique par la structure même de l'aile des oiseaux, très exposée aux chocs et par la nature de leurs os, fortement minéralisés et aux corticales très fines et cassantes. Si l'hospitalisation des rapaces ne pose pas de difficultés majeures par rapport à celles des Mammifères, les techniques chirurgicales employées doivent tenir compte des spécificités de l'ostéologie aviaire : peu de fractures peuvent être consolidées par une simple contention orthopédique et on recourt en général à des ostéosynthèses par plaques, enclouage centromédullaire ou fixateur externe. L'enclouage centromédullaire donne de bons résultats pour les petites espèces, des fractures fermées et peu comminutives alors que de nouvelles techniques permettent d'élargir le champ d'application de la fixation externe à de nombreux cas de fractures complexes avec risque septique important, ce qui est souvent le cas des blessures par armes à feu dont sont souvent victimes ces oiseaux.

MOTS-CLES : FRACTURE- CHIRURGIE- RAPACE- AILE- HUMERUS- RADIUS- ULNA- OISEAU- FAUNE SAUVAGE.

ENGLISH TITLE : Curative surgery of wing fractures in Raptors

ABSTRACT :

Great parts of traumatology among raptors concerns wing fractures and specially open comminutions of radius, ulna and humerus. This is due to the special structure of the wing which is particularly exposed to trauma and the special bone structure, very mineralized with thin and crumbly cortices. Then, orthopaedic surgery must take care of avian osteology. External coaptation by bandaging or splinting can provide a solution in fracture repair in only few cases; the valid techniques in fracture repair are intramedullary pinning, bones plating and external fixation. Intramedullary pinning offers good results among small species and simple and not infected fractures. External fixation whose techniques constantly develop is devoted by complex, tarnished comminutions which often occur by gunshot wounds.

KEYWORDS : FRACTURE- SURGERY- RAPTOR-WING - HUMERUS- RADIUS- ULNA- BIRD- WILDLIFE.