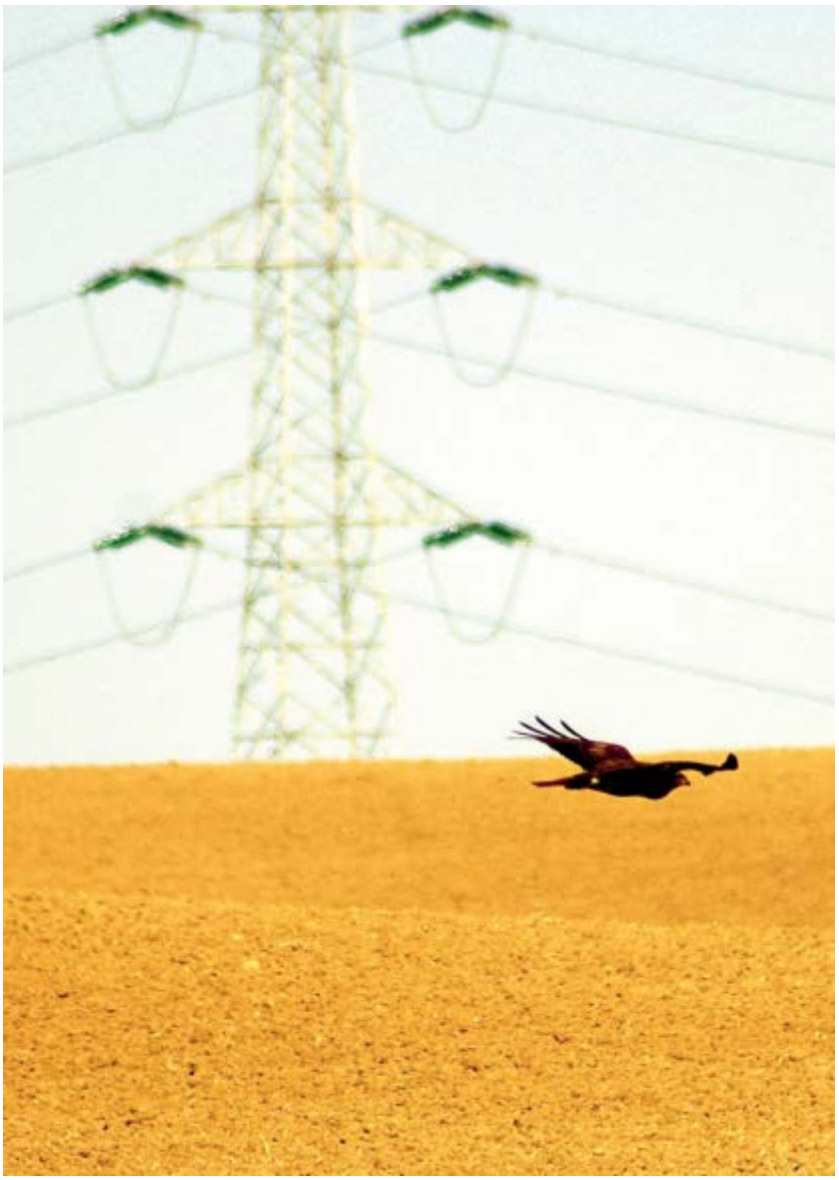


Aigle royal survolant une zone de campagne (Photo © JRG).

IDENTIFICATION DES LIGNES ÉLECTRIQUES DANGEREUSES

José Rafael Garrido López[1] et Justo Martín Martín[2]

[1]Agence pour l'Environnement et l'Eau, ministère régional de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire de la Junta de Andalucía, Espagne
[2]Consultant en environnement, Espagne

IDENTIFICATION DES LIGNES ÉLECTRIQUES DANGEREUSES

José Rafael Garrido López[1] et Justo Martín Martín[2]

[1]Agence pour l'Environnement et l'Eau, ministère régional de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire de la Junta de Andalucía, Espagne
[2]Consultant en environnement, Espagne

Traduction et adaptation du texte de :
Garrido López, J.R. y Martín Martín, J., (2015). "Identificación de tendidos eléctricos peligrosos". En Fajardo, I.; Martín, J.; Ruiz, A. (coord.). 2015. Manual de protección legal de la biodiversidad para agentes de la autoridad ambiental en Andalucía. Tercera edición revisada, corregida y aumentada. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía

Traduction française réalisée par : Alexa Dubreuil-Storer (IDFP Translation Services), Royaume-Uni

Les lignes électriques représentent l'une des infrastructures ayant la plus grande incidence sur l'avifaune. Elles ont parfois un effet positif puisque de nombreuses espèces les utilisent en tant que perchoir et lieux de nidification en l'absence d'éléments naturels ; en revanche, les lignes électriques ont introduit dans l'environnement un facteur de mortalité de grande ampleur. Ce problème est particulièrement grave dans le cas des oiseaux de moyenne ou grande envergure, tels que les rapaces, des oiseaux généralement rares dont beaucoup correspondent à des espèces gravement menacées. Ainsi, les lignes électriques dangereuses représentent, au niveau mondial, un danger constant pour les populations de certaines espèces protégées, nuisant à l'efficacité des ressources dédiées à leur conservation et à la restauration de leur habitat. Dans la région méditerranéenne, des milliers d'oiseaux meurent chaque année à cause de ces lignes électriques.

1. Introduction

Photo 1. Milan royal blessé, encore vivant, pris dans les lignes d'un poteau électrique (Photo © IF).

Les pertes occasionnées par les lignes électriques affectent tant les jeunes que les adultes et constituent l'un des principaux facteurs de régression des populations. L'accumulation de milliers de kilomètres de câbles et de poteaux susceptibles de provoquer des accidents chez les oiseaux altère, de manière générale, les processus écologiques intervenant dans les vastes territoires concernés par ce problème ; ceci fragmente la connectivité des habitats naturels et l'on pense même que cela pourrait altérer le comportement migratoire de certaines espèces (Photo 1).

La mortalité issue des réseaux électriques de surface freine l'échange naturel entre les populations d'oiseaux des différents espaces protégés ; les effets négatifs qui en découlent ont pu être constatés chez des espèces menacées au niveau Méditerranéen comme l'aigle ibérique (*Aquila adalberti*), l'aigle de Bonelli (*Hieraaetus fasciatus*), la grande outarde (*Otis tarda*), le vautour moine (*Aegypius monachus*), le milan royal (*Milvus milvus*), le vautour percnoptère (*Neophron percnopterus*), l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*), le balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*) o des rapaces nocturnes (Photo 2).

Photo 2. Les grands rapaces comme l'aigle royal font partie des groupes risquant le plus d'être victimes de collisions avec les lignes électriques (Photo © JRG).

La tendance actuelle en matière de conservation s'oriente vers la préservation non seulement de la richesse des espèces mais aussi de leurs habitats et des processus écologiques nécessaires à leur sauvegarde ; c'est pourquoi les lignes électriques doivent faire l'objet d'une action prioritaire. L'efficacité de tout plan de conservation sera compromise s'il ne comprend pas une étude de l'impact sur l'avifaune et l'élaboration de mesures visant à le réduire.

Il est donc indispensable que des travaux de localisation et de modification de l'ensemble des lignes électriques dangereuses pour l'avifaune fassent partie des mesures les plus efficaces pour sa conservation. Dans le cas de l'Andalousie (sud de l'Espagne), la modification des lignes électriques dans le cadre de différents programmes de conservation de l'avifaune a permis d'accroître les populations reproductrices de l'aigle ibérique, de l'aigle

royal et de l'aigle de Bonelli, et les populations hivernales du milan royal, ainsi que leur aire de répartition (voir encadré).

L'objectif de ce document est de faciliter la reconnaissance des lignes électriques présentant un risque élevé pour l'avifaune, de fournir des informations utiles à leur sujet et de proposer des mesures efficaces pour les modifier. De plus, il présente les mesures correctives les plus utilisées en Andalousie ainsi que l'efficacité de chacune d'entre elles.

L'incidence de la modification des lignes électriques dangereuses sur la conservation des espèces menacées en Andalousie (Espagne)

Conscient de l'importance que revêt l'incidence des lignes électriques sur la conservation des espèces d'oiseaux menacées, le ministère régional de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (CMAOT) de la Junta de Andalucía a rectifié, jusqu'en 2014, plus de 6600 pylônes présentant un risque d'électrocution, et a caractérisé plus de 35 000 pylônes dans toute la région.

La reconstitution des populations reproductrices témoigne de l'efficacité de ces mesures. Par exemple, chez l'aigle ibérique, la population reproductrice en Andalousie est passée de 26 couples en 2000 à 95 actuellement ; chez l'aigle de Bonelli, celle-ci est passée de 313 à 347 entre 2000 et 2012.

Ainsi, la mise en conformité des lignes électriques revêt une importance particulière en matière de conservation ; par exemple, la modification de tous les pylônes dangereux pour les aigles de Bonelli dans la province de Huelva a permis sa colonisation en tant que site de reproduction en 2007, pour la première fois depuis des décennies, avec la présence confirmée de trois couples dans cette province début 2015. De la même manière, l'aigle royal est passé d'un peu plus de 200 couples à la fin des années 1990, lorsque le problème des électrocutions a atteint son paroxysme, à plus de 330 actuellement, une fois les modifications effectuées. Un autre exemple est le milan royal, dont les populations hivernales sont en train de se reconstituer pour revenir à leurs niveaux historiques.

Photo 40. Aigle de Bonelli juvénile, électrocuté sur un pylône électrique (Photo © IF-JMM).

Toutefois, malgré les progrès réalisés, il reste encore des centaines de pylônes dangereux et de kilomètres de tronçons présentant des risques de collision dans certaines zones sensibles, telles que les aires de dispersion et d'établissement temporaire d'espèces menacées comme l'aigle ibérique, royal ou de Bonelli. Ainsi, la localisation et la modification de ces lignes électriques constituent à l'heure actuelle l'une des principales mesures de conservation efficaces pour ces populations. Contrairement à d'autres problèmes et solutions, tels que l'éradication des appâts empoisonnés ou l'élevage en captivité avec réintroduction ultérieure, la modification des lignes électriques accroît la taille des populations avec un investissement économique relativement faible, efficace et localisé.

Pour toutes ces raisons, la participation d'agents des autorités environnementales, de techniciens et de bénévoles pour éradiquer ce problème reste l'un des principaux défis pour la conservation de l'avifaune.

2. Les éléments d'une ligne électrique

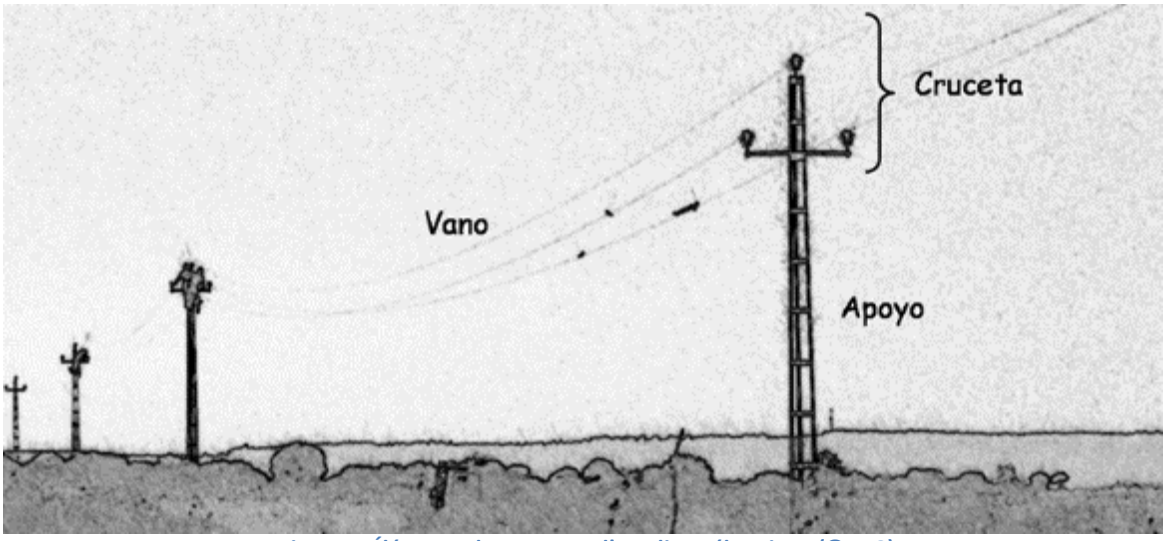


Figure 1. Éléments de structure d'une ligne électrique (© JRG).

Toute ligne électrique comporte un tronçon de câbles conducteurs (portée) soutenu par des poteaux électriques (pylônes). Le sommet des pylônes (traverse) ancre les câbles conducteurs par l'intermédiaire d'isolateurs, éléments en matériau isolant (verre ou céramique) qui empêchent le passage de l'électricité des câbles conducteurs à la traverse (Figure 1). Il existe deux types de lignes : les lignes de transport, dont la tension est généralement supérieure à 45 kV et qui acheminent l'énergie électrique des centres de production aux centrales électriques (Photo 3), et les lignes de distribution, plus petites, dont la tension est comprise entre 13,2 et 30 kV et qui répartissent l'électricité depuis ces centrales jusqu'aux centres de consommation (Photo 4). Les lignes de transport comportent en plus un ou deux câbles de terre, lesquels sont beaucoup plus fins et courent généralement au-dessus des câbles normaux, et dont l'objectif est de protéger les installations contre d'éventuelles surcharges.

Photo 3. Ligne de transport. On peut distinguer les câbles de terre, moins épais, sur la partie supérieure (Photo © JRG).

Il existe différents types de traverses sur les lignes électriques et elles se différencient par la disposition des isolateurs, ces « assiettes » en céramique ou en verre en forme de cône, dont l'apparence est facilement reconnaissable. Les isolateurs peuvent être suspendus (en dessous de la traverse), rigides (au-dessus de la traverse) ou disposés horizontalement en chaînes d'ancrage, de chaque côté de la traverse (Figure 2).

Sur les traverses dotées d'isolateurs en chaîne d'ancrage, on peut apercevoir des bretelles assurant la liaison entre les conducteurs situés de part et d'autre de ces chaînes horizontales. De plus, certains pylônes comportent des sectionneurs, c'est-à-dire un ensemble d'interrupteurs et de fusibles qui évitent les surcharges de tension et permettent à la compagnie de couper l'approvisionnement de courant électrique en cas d'avarie ou d'incident. Ces sectionneurs peuvent figurer sur le poteau ou au sommet du pylône. Les pylônes d'extrémité de ligne comportent généralement des transformateurs extérieurs ou CTI (*Centro Transformador de Intemperie*, centre de transformation extérieur), qui transfèrent l'énergie du pylône vers le lieu d'utilisation (Photo 5).

Les types de traverses les plus courants dans le sud de l'Espagne sont les traverses en forme de voûte (Photo 6), en forme de croix (Photo 7), horizontales (Photo 8) ou en quinconce (Photo 9).

Photo 4. Ligne de distribution (Photo © JRG).

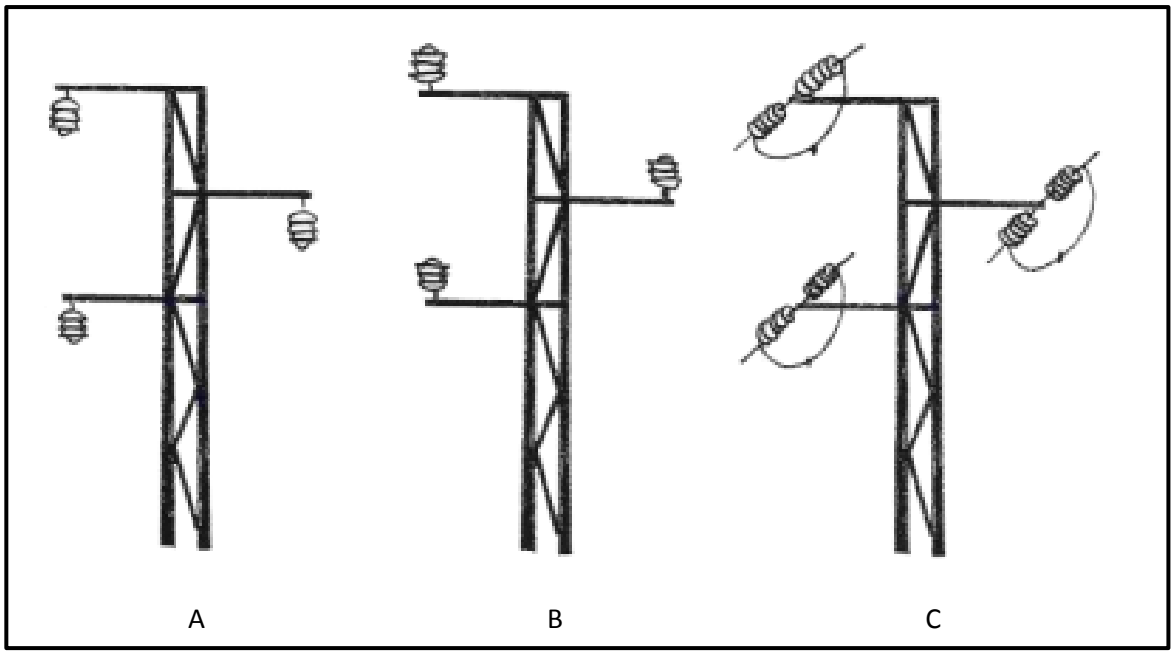


Figure 2. De gauche à droite, a) traverse avec isolateurs suspendus, b) traverse avec isolateurs rigides, et c) traverse dotée d'isolateurs en chaîne d'ancrage avec bretelles de liaison (© IF).

Photo 5. Pylône doté d'un sectionneur sur le poteau et d'un transformateur sur la partie inférieure (Photo © JRG).

Photo 6. Traverse en forme de voûte (Photo © JRG).

Photo 7. Traverse en forme de croix (Photo © JRG).

Photo 8. Traverse horizontale (Photo © JRG).

Photo 9. Traverse en quinconce (Photo © JRG).

Photo 10. Pylône de dérivation (Photo © JRG).

Photo 11. Balbuzard pêcheur électrocuté (Photo © IF).

L'ensemble comprenant le poteau et la traverse constitue le pylône, lequel peut être de deux types : les pylônes conventionnels, qui soutiennent les câbles d'une ligne électrique, et les pylônes de dérivation, qui servent à faire partir de nouveaux embranchements du réseau (Photo 10).

3. Pourquoi les lignes électriques sont-elles dangereuses pour les oiseaux ?

Tout simplement parce qu'elles occasionnent deux types d'accidents : les électrocutions sur la traverse et les collisions contre les câbles de la portée.

L'électrocution d'un oiseau se produit quand celui-ci entre simultanément en contact avec deux câbles conducteurs ou bien, plus fréquemment, avec un câble conducteur non isolé et la dérivation reliée à la terre à travers le poteau, lequel est généralement métallique en Andalousie. Compte tenu des dimensions des pylônes, de la distance séparant les conducteurs et de la longueur des isolateurs, les électrocutions ne sont fréquentes que sur les lignes de distribution. La dangerosité de ces lignes est elle-même déterminée par la conception de ses pylônes, et les caractéristiques qui augmentent le plus le risque d'électrocution sont les isolateurs de type rigide et la présence de bretelles au-dessus des traverses.

La décharge électrique se produit quand les oiseaux utilisent les poteaux en tant que perchoir, lieu de repos ou site de nidification. Les espèces de plus grande envergure sont les plus sensibles à ce type d'accident, leur grande taille facilitant le contact (voir encadré à la page suivante).Toutefois, des électrocutions ont également été constatées chez de petits oiseaux comme les passereaux, les petits rapaces nocturnes ou les falconidés, sur des pylônes dotés de sectionneurs au sommet et sur le poteau, ainsi que sur les pylônes dotés de transformateurs sur lesquels les conducteurs ne sont pas isolés. Des cas d'électrocution de petits mammifères comme la genette commune (*Genetta genetta*) ont même été signalés. L'électrocution est mortelle dans la majorité des cas et le cadavre chute puis reste au pied du pylône, à moins d'être emporté par des charognards, des renards et, surtout, des sangliers (Photo 11).

La décharge électrique qui survient durant l'électrocution peut être si intense qu'elle peut produire des étincelles voire aboutir à la combustion de l'oiseau, déclenchant même des incendies si de la végétation combustible se trouve à proximité du pylône. La destruction occasionnelle d'isolateurs en verre ou en céramique, dont on retrouve les débris au pied des pylônes, donne une idée de la violence de ces accidents.

Les espèces les plus vulnérables aux accidents avec des lignes électriques en Andalousie

Deux principaux facteurs déterminent la vulnérabilité des oiseaux aux accidents liés aux lignes électriques : leur envergure et leur comportement. De toute évidence, plus l'envergure est grande, plus le risque d'électrocution sur les pylônes dangereux est élevé, et nous pouvons considérer que les oiseaux de plus d'un mètre d'envergure sont plus vulnérables que ceux de plus petite taille, ce qui correspond à pratiquement toutes les espèces d'aigles, de vautours et de milans en Andalousie.

Photo 41. Nid d'aigle de Bonelli sur un pylône de ligne de transport électrique (Photo © JB).

En plus de la taille, un autre facteur important est le comportement de chaque espèce ; ainsi, celles qui utilisent les pylônes en tant que perchoir ou bien pour y guetter des proies ou s'y reposer sont les plus sensibles et pratiquement toutes les espèces de rapaces diurnes, les cigognes et les corbeaux appartiennent à cette catégorie. Les rapaces principalement forestiers, comme les autours, les éperviers ou les aigles bottés sont généralement moins sensibles car leur milieu comporte de nombreux perchoirs naturels qu'ils peuvent utiliser à la place des poteaux électriques. Dans le cas des espèces grégaires qui se servent des lignes électriques comme sites de repos (vautours, milans ou cigognes, par exemple), les électrocutions peuvent être massives si les oiseaux sont en contact proche, car si l'un d'entre eux est électrocuté, tous les autres le sont également. Ces concentrations d'individus expliquent pourquoi ce type d'accident se produit même sur les pylônes électriques des lignes de transport, lesquelles sont habituellement peu dangereuses en raison de la distance importante entre les conducteurs. Dans ces cas, l'électrocution se produit parce que plusieurs oiseaux très proches les uns des autres entrent en contact avec les conducteurs, entraînant un court-circuit et l'électrocution de tous ces oiseaux.

De même, les espèces qui nidifient sur les pylônes électriques, comme les cigognes, les aigles ibériques, les aigles de Bonelli, les corvidés, les faucons et les crécerelles, courent un plus grand risque d'accident de ce type en raison de la probabilité élevée d'entrer en contact avec les conducteurs, ce qui peut se produire tout au long de la reproduction. Les poussins qui naissent dans des nids situés en haut de pylônes électriques sont également plus sensibles au risque d'électrocution, surtout lorsqu'ils effectuent leurs premiers vols.

Il convient de souligner tout particulièrement le cas des rapaces nocturnes qui, même s'ils guettent leurs proies depuis des perchoirs, sont moins vulnérables à ce problème. Ceci est dû au fait qu'ils chassent à l'ouïe et qu'ils ont besoin de perchoirs situés à une hauteur généralement inférieure par rapport à celle des pylônes. Seuls le hibou grand-duc (*Bubo bubo*) et le grand-duc du désert (*Bubo ascalaphus*), dont la taille et la capacité auditive sont supérieures, connaissent un taux d'électrocution élevé. En tout cas, il faut tenir compte du fait que sur certains pylônes dangereux, dotés de transformateurs ou de sectionneurs ou bien possédant un grand nombre de conducteurs, des électrocutions peuvent se produire, quelle que soit l'espèce d'oiseau ; en effet, des cas d'électrocution ont été observés chez de petits rapaces nocturnes, comme les hiboux dont le hibou petit-duc, les crécerelles dont les passereaux, ainsi que les étourneaux ou les pinsons communs.

Concernant les collisions, pratiquement tous les oiseaux en vols sont susceptibles de heurter les câbles lorsque la visibilité est limitée, mais les risques sont plus élevés pour les oiseaux planeurs, volant rapidement, aux habitudes nocturnes et/ou crépusculaires, ou volant en groupes et à faible altitude, c'est-à-dire : les grands rapaces, les faucons, les hérons, les cigognes, les grues, les gangas, les outardes canepetières, les grandes outardes et les oiseaux aquatiques comme les anatidés et les limicoles.

Les électrocutions sont plus fréquentes les jours de pluie ou de brouillard persistant, car le plumage mouillé augmente la conductivité du corps des oiseaux, ainsi qu'aux environs des lagunes, où les oiseaux viennent se baigner et ont tendance à se sécher sur les pylônes, les ailes déployées.

Les autres types d'accidents sont les collisions contre les câbles, qui se produisent sur tous les types de lignes électriques mais plus fréquemment contre les câbles de terre des lignes à moyenne et haute tension ou de transport. Lorsque la visibilité est limitée (jours de brouillard ou bien à l'aube ou à la tombée du jour, lorsque les câbles ne sont pas à contre-jour), les oiseaux détectent les câbles conducteurs à une courte distance et, en reprenant de l'altitude pour les éviter, ils entrent en collision avec le câble de terre qui est plus fin et donc quasiment imperceptible dans ces conditions. Pour cette raison, les collisions se produisent généralement dans les zones centrales de la portée, lorsque les oiseaux manquent de repères visuels leur permettant de distinguer les conducteurs. Il convient de souligner que la mortalité par collision est nettement sous-estimée car elle est bien plus difficile à détecter que la mortalité par électrocution. Lors de ces accidents, les oiseaux ne tombent pas sous le câble par inertie suite au choc, et il n'est pas facile de les localiser. De plus, dans de nombreux cas, les oiseaux victimes d'une collision sont blessés et peuvent récupérer temporairement ou bien mourir loin des lignes électriques (Photo 12).

Afin de prévenir les risques de mortalité de l'avifaune sur les lignes électriques, différentes stratégies ont été élaborées et ont toutes été reprises dans la législation, que ce soit au niveau de l'État espagnol[1] ou au niveau régional, en Andalousie[2,3].

Photo 12. Cigogne blanche avec une aile cassée suite à une collision avec les lignes électriques figurant sur cette photo, dans la campagne de la province de Huelva (Photo © IF).

[1] Décret royal 1432/2008 du 29 août [2008], établissant des mesures pour la protection de l'avifaune contre les collisions et les électrocutions sur les lignes électriques à haute tension

[2] Décret 178/2006 du 10 octobre [2006], établissant des normes de protection de l'avifaune pour les installations électriques à haute tension

[3] Arrêté du 4 juin 2009, délimitant les aires prioritaires en termes de reproduction, d'alimentation, de dispersion et de concentration des espèces d'oiseaux figurant au Catalogue andalou des espèces menacées [*Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas*], et prévoyant la publication des zones de protection existantes de la Communauté autonome andalouse, dans lesquelles seront appliquées les mesures de protection de l'avifaune contre les collisions et les électrocutions sur les lignes électriques aériennes à haute tension

Les lignes directrices établies dans ce cadre législatif correspondent à celles indiquées dans le présent document pour l'évaluation de la dangerosité des lignes électriques.

Les solutions techniques visant à réduire les électrocutions et les collisions doivent être conçues de manière à être permanentes, durables et inaltérables sous l'effet des conditions environnementales.

Même si la nouvelle législation comporte déjà l'obligation de construire les nouvelles lignes selon une conception évitant les accidents, de nombreuses lignes électriques anciennes et à haut risque se trouvent toujours dans le milieu naturel et elles doivent retenir toute notre attention. Concernant les mesures correctives à réaliser, de nombreux manuels et études décrivent les différentes possibilités ; les mesures les plus communément acceptées sont résumées ci-dessous.

4. Identification des pylônes à risque d'électrocution élevé et mesures correctives recommandées

Tous les pylônes dotés de traverses permettant le contact entre, d'une part, le corps d'un oiseau et, d'autre part, deux conducteurs ou bien un conducteur et la traverse métallique, constituent un risque d'électrocution élevé pour les oiseaux. Outre le fait que certaines espèces sont particulièrement sensibles en raison de leurs habitudes et de leur envergure (les rapaces, par exemple), les pylônes les plus dangereux sont généralement situés sur des terrains en hauteur, avec une vue largement dégagée sur le paysage, sans arbres pouvant servir de perchoirs naturels, et dans des secteurs à forte densité de proies, tels que les zones de contact entre écosystèmes (pied des montagnes, campagne ou zone humide, par exemple).

De même, les zones à forte concentration d'oiseaux, telles que les décharges, les zones humides, les aires de nourrissage ou les champs récemment moissonnés, constituent des zones à risque en raison de la possibilité que les pylônes dangereux soient utilisés comme perchoirs ou lieux de repos par un grand nombre d'oiseaux (Photo 13). En d'autres termes, certains pylônes dangereux sont de véritables « aimants » pour les oiseaux et c'est précisément ceux-là qu'il faut identifier.

La principale mesure pour prévenir les électrocutions est l'élimination de tous les éléments conducteurs pouvant entrer en contact avec le corps des oiseaux qui se posent sur les pylônes dangereux. La seule solution définitive est la transformation complète des traverses et des conducteurs dangereux en fonction des conceptions existant sur le marché, ceci au cas par cas et en gardant à l'esprit que la transformation la plus adaptée est le remplacement des traverses et/ou des pylônes métalliques en utilisant des matériaux non conducteurs, comme la fibre de verre et le bois. Néanmoins, ces mesures sont très coûteuses et la solution la plus courante consiste à isoler les conducteurs susceptibles d'entrer en contact avec le corps des oiseaux, à l'aide de matériaux thermorétractables non durables, moins efficaces mais plus économiques. Dans ce cas, il est recommandé d'installer, en plus des travaux d'isolation, des dispositifs « antipose », dissuadant les oiseaux de se poser sur les pylônes les plus dangereux et sur les parties de la traverse présentant un risque élevé, de manière à ce que les oiseaux décident d'utiliser des pylônes moins dangereux à proximité ou bien d'autres parties de la traverse sans risque d'électrocution (Photo 14).

Photo 13. Les rapaces diurnes, comme la buse variable, utilisent généralement les pylônes électriques en tant que perchoir (Photo © JRG).

Photo 14. Plaques de dissuasion empêchant les oiseaux de se poser sur les parties dangereuses de la traverse, les conducteurs (Photo © IF).

Les électrocutions « mystérieuses » et la mortalité sur les lignes rectifiées

Parfois, des oiseaux électrocutés sont retrouvés au pied de pylônes qui, en apparence, ne semblent pas présenter un risque élevé, rendant ces électrocutions véritablement « mystérieuses ». Deux causes principales permettent d'expliquer ces « mystères » :

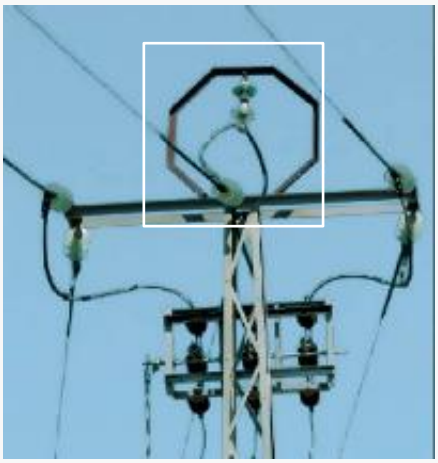
- Formation d'un arc électrique :

  Dans des conditions d'humidité élevée (temps pluvieux, surtout en cas de pluie fine), un arc électrique peut finir par se former entre l'oiseau et un conducteur à proximité, ne serait-ce qu'en se posant près de ce conducteur et sans même l'effleurer. En milieu salin (marais, proximité de la mer), ce risque est encore plus grand.

- Électrocution par « défécation malencontreuse » :

  En particulier chez les oiseaux de grande taille, les déjections semi-liquides peuvent établir une connexion entre le pylône (où se trouve l'oiseau) et un conducteur ou un isolateur situé plus bas, à une distance apparemment sûre. Ainsi, l'électrocution mortelle se produit par le fruit d'un hasard malencontreux.

Risque d'électrocution au contact d'excréments (Photo © JD).



Conception présentant un risque d'électrocution au contact d'excréments (Photo © JD).

Balises anticollision peu efficaces (Photo © JMM).

Parfois, ces morts « mystérieuses » ont lieu sur des lignes qui ont déjà été rectifiées et sur celles où l'on pensait le problème réglé. À titre d'exemple, entre 2005 et 2012, cinq aigles ibériques sont morts en Andalousie sur des pylônes ayant fait l'objet de mesures anti-électrocution ; ces pertes et leur localisation ont pu être identifiées grâce aux émetteurs de détection à distance que portaient ces oiseaux. Ceci constitue une préoccupation supplémentaire dans le cadre de cette problématique. En effet, en plus de poursuivre l'identification et la rectification des points noirs qui n'ont pas encore été détectés, il convient de contrôler (et, dans certains cas, de manière urgente) les rectifications plus anciennes, réalisées logiquement sur des points sensibles, où de nouveaux accidents mortels peuvent encore se produire faute de contrôle, ayant été entendu que le danger avait déjà été éliminé.

Dans ces cas, les causes de mortalité sont multiples mais elles sont toujours liées à des rectifications mal conçues, mal réalisées ou mal entretenues. En bref, ces causes sont les suivantes :

- Conception présentant un risque d'électrocution au contact d'excréments ;
- Isolation inefficace car réalisée en utilisant des matériaux peu durables ou en raison d'une mauvaise installation ou de l'absence de maintenance ;
- Présence de transformateurs non isolés ;
- Présence de sectionneurs non isolés ;
- Installation de dispositifs de dissuasion « antipose » trop dangereux ;
- Utilisation de balises anticollision peu efficaces.

5. Guide d'identification des pylônes les plus dangereux par leur risque d'électrocution

Les paragraphes suivants dressent une liste détaillée des pylônes par ordre de dangerosité, ainsi que les mesures correctives les plus courantes ; les pylônes des lignes de transport n'ont pas été pris en compte car, en raison de leur grande taille et de la distance importante séparant leurs conducteurs, ils n'engendrent pas d'électrocution.

- **Type « A » : pylônes dotés de sectionneurs à l'air libre, positionnés au niveau du sommet ou du poteau, sur les traverses**. Il existe un risque quasi total de contact, entre les conducteurs et/ou le pylône métallique, pour les oiseaux de n'importe quelle envergure. Il est nécessaire d'isoler tous les conducteurs, jusqu'à une distance de 1,5 m des isolateurs (Photos 15 et 16).

Photos 15 et 16. Pylônes de Type « A » dotés de sectionneurs à l'air libre, positionnés au niveau du sommet ou du poteau, sur les traverses, avec l'isolation recommandée (Photo © JRG).

- **Type « B » : pylônes avec traverses dotées d'isolateurs rigides**. Il existe un risque quasi total de contact, entre les conducteurs ou bien entre les conducteurs et la traverse métallique, pour les oiseaux de n'importe quelle envergure. Il est nécessaire de remplacer les isolateurs par des isolateurs suspendus ou, à défaut, il faut isoler les conducteurs jusqu'à une distance de 1,5 m de chaque côté de la traverse (Photos 17 et 18).

Photos 17 et 18. Pylônes de Type « B » dotés de traverses comportant des isolateurs rigides et avec l'isolation recommandée (Photo © JRG).

- **Type « C » : pylônes dont les traverses sont dotées de bretelles au-dessus des conducteurs dans tous les cas et lorsque les traverses sont dotées d'isolateurs en chaîne d'ancrage à une distance inférieure à 0,75 m entre les conducteurs de chaque côté de la traverse.** Il existe un risque élevé de contact, entre la bretelle supérieure et la traverse métallique, pour les oiseaux de n'importe quelle envergure, ou bien entre les conducteurs des deux côtés de la traverse, pour les oiseaux de grande envergure. Les bretelles de liaison au-dessus devraient être remplacées par des bretelles de liaison en dessous ou, à défaut, elles devraient être recouvertes d'un matériau isolant, tout comme les conducteurs jusqu'à 1,5 m de chaque côté de la traverse (Photos 19 et 20).

Photos 19 et 20. Pylônes de Type « C » dont les traverses sont dotées de bretelles au-dessus des conducteurs dans tous les cas et lorsque les traverses sont dotées d'isolateurs en chaîne d'ancrage à une distance inférieure à 0,75 m entre les conducteurs de chaque côté de la traverse, et avec l'isolation recommandée (Photo © JRG).

- **Type « D » : pylônes de dérivation**. Il existe un risque élevé de contact entre les conducteurs et/ou les traverses métalliques en raison de l'enchevêtrement de conducteurs existants, pour les oiseaux de moyenne ou grande envergure. Il est nécessaire de recouvrir tous les conducteurs à l'aide d'un matériau isolant, jusqu'à 1,5 m de la traverse (Photos 21 et 22).

Photos 21 et 22. Pylônes (de dérivation) de Type « D », avec l'isolation recommandée (Photo © JRG).

- **Type « E » : pylônes dotés de transformateurs extérieurs**. Il existe un risque élevé de contact, entre les conducteurs et/ou le pylône ou le transformateur, pour les oiseaux de n'importe quelle envergure. Il est nécessaire de recouvrir les conducteurs depuis la traverse jusqu'au transformateur à l'aide d'un matériau isolant (Photos 23 et 24).

Photos 23 et 24. Pylônes de Type « E » dotés de transformateurs extérieurs et avec l'isolation recommandée, incluant des conducteurs allant de la traverse au transformateur (Photo 23 © JRG et Photo 24 © JMMZ).

- **Type « F » : pylônes dont les traverses en quinconce sont dotées d'isolateurs suspendus ou en chaîne d'ancrage avec bretelles de liaison en dessous, avec une distance de moins de 1,50 m entre les conducteurs ou la bretelle de liaison de la branche supérieure ou inférieure se trouvant du même côté**. Il existe un risque élevé de contact, entre le conducteur de la branche supérieure et/ou le pylône métallique, quand un oiseau de moyenne ou grande envergure se pose ou prend son envol depuis la branche inférieure. Par mesure de précaution, il faudrait augmenter la distance entre la branche inférieure et le conducteur ou la bretelle de la branche supérieure, jusqu'à une distance dépassant 1,5 m ou, à défaut, il faudrait isoler la bretelle et/ou les conducteurs de la branche supérieure jusqu'à 1,5 m de chaque côté de la traverse (Photos 25 et 26).

Photos 25 et 26. Pylônes de Type « F » dont les traverses en quinconce sont dotées d'isolateurs suspendus ou en chaîne d'ancrage avec bretelles de liaison en dessous, avec une distance de moins de 1,50 m entre les conducteurs ou la bretelle de liaison de la branche supérieure ou inférieure se trouvant du même côté ; exemple d'isolation recommandée (Photos © JRG).

- **Type « G » : pylônes dont les traverses en forme de voûte sont dotées d'isolateurs suspendus ou en chaîne d'ancrage avec bretelles de liaison en dessous, à une distance de moins de 0,88 m entre le sommet inférieur de la voûte et le conducteur ou la bretelle**. Il existe un risque élevé de contact entre la bretelle ou le conducteur central et la traverse métallique, lorsque les oiseaux de moyenne ou grande envergure se posent sur le sommet inférieur de la traverse. S'il n'est pas possible de remplacer la traverse, il faut au moins recouvrir d'un matériau isolant la bretelle centrale et/ou les conducteurs jusqu'à une distance de 1,5 m de chaque côté de la traverse (Photos 27 et 28).

Photos 27 et 28. Pylônes de Type « G » dont les traverses en forme de voûte sont dotées d'isolateurs suspendus ou en chaîne d'ancrage avec bretelles de liaison en dessous, à une distance de moins de 0,88 m entre le sommet inférieur de la voûte et le conducteur ou la bretelle ; exemple d'isolation efficace et recommandée sur le conducteur central (Photo 27 © JRG et Photo 28 © IF).

En règle générale, les traverses les moins dangereuses sont les traverses horizontales ou en quinconce, dotées d'isolateurs suspendus. Dans le cas des traverses en quinconce, la distance séparant la branche inférieure et le conducteur de la branche supérieure ne doit jamais être inférieure à 1,5 m.

Quoi qu'il en soit, tous les pylônes dotés de conducteurs isolés doivent être contrôlés périodiquement afin de vérifier leur bon état et proposer leur rectification si une perte d'efficacité est démontrée, car même les matériaux les plus résistants finissent par s'user sous l'effet de l'humidité et de la température. De plus, les modifications ou travaux d'isolation des conducteurs doivent tous être étudiés minutieusement car il est arrivé bien souvent qu'une isolation soit réalisée sur des conducteurs qui n'auraient pu en aucun cas entrer en contact avec le corps d'un oiseau, occasionnant un gaspillage de ressources (conducteurs ou bretelles de liaison en dessous des branches intermédiaire et inférieure des traverses en quinconce, dotées d'isolateurs suspendus ; conducteurs ou bretelles de liaison sur des traverses horizontales dotées d'isolateurs suspendus, par exemple).

Photo 29. Perte d'efficacité de l'isolation des conducteurs, laquelle se détériore au fil du temps et en raison des intempéries, et finit même par disparaître (Photo © JRG).

De la même manière, si le matériau isolant est mal posé, les oiseaux perchés sur la traverse isolée peuvent se mettre à picorer les parties qui dépassent, jusqu'à déchirer et réduire en miettes ce matériau, provoquant une électrocution quasi systématique. Ce phénomène se produit le plus souvent sur les conducteurs isolés avec du ruban adhésif de type « Cinta Oli », utilisé comme isolant mais dont la durabilité est très courte.

À titre d'exemple, certaines rectifications qui avaient été effectuées en utilisant du ruban Oli, il y a 15 ans dans la zone du Parc national de Doñana (sud-ouest de l'Espagne) pour éviter l'électrocution des aigles ibériques, sont en train d'être contrôlées car ce ruban isolant s'est détérioré ou a disparu (Photos 29, 30, 31, 32 et 33).

Photos 30 et 31. L'isolation des conducteurs latéraux situés sur les pylônes dotés de traverses en forme de voûte et d'isolateurs suspendus (à gauche), et des conducteurs situés sur les branches intermédiaire et inférieure des pylônes dotés de traverses en quinconce et d'isolateurs suspendus constituent un gaspillage des ressources économiques car il n'y a pas de risque de contact entre les conducteurs et les oiseaux qui y sont perchés (Photo 30 © IF et Photo 31 © JRG).

Photo 32. Si le matériau isolant est mal posé, les oiseaux perchés sur la traverse isolée peuvent se mettre à picorer les parties qui dépassent (visibles sur la photo), jusqu'à déchirer et réduire en miettes ce matériau, provoquant une électrocution quasi systématique (© IF).

Photo 33. Parfois, la modification des traverses augmente le risque d'électrocution. Sur cette image, le perchoir situé sur la branche intermédiaire de la traverse en quinconce facilite le contact entre l'oiseau perché et les conducteurs de la branche supérieure. De plus, les perchoirs situés sur les branches supérieure et inférieure sont un non-sens puisqu'ils se trouvent sur des parties non dangereuses du pylône (© JRG).

6. Guide d'identification des lignes électriques à risque de collision élevé et mesures correctives recommandées

Dans le cas des collisions, toutes les lignes électriques sont en principe potentiellement dangereuses mais quelques-unes le sont tout particulièrement. L'élément le plus néfaste est le câble de terre des lignes de transport, car il est moins visible et son diamètre est plus petit. À cet égard, les lignes situées dans des zones arborées relativement denses ou entre des collines pouvant cacher les pylônes qui serviraient de référence visuelle, ainsi que les lignes sur lesquelles les câbles ne contrastent pas avec le ciel ou l'arrière-plan du paysage environnant, enregistrent un plus grand nombre de collisions. De même, le risque est également plus élevé sur les lignes dont les câbles sont disposés sur plus d'un plan horizontal ; ainsi, les lignes dotées de traverses horizontales (1 plan) présentent un risque inférieur à celles dont la traverse est en quinconce (3 plans, par exemple) (Photos 34 et 35).

En tout cas, comme il est difficile de localiser les pertes dues aux collisions pour les raisons déjà exposées, il convient de considérer comme dangereuses (au titre du principe de précaution maximum) toutes les lignes de transport et les lignes de distribution dont les conducteurs ont un diamètre inférieur à 20 mm, ainsi que les lignes dotées de conducteurs sur plus d'un plan horizontal, correspondant aux caractéristiques suivantes :

- Lignes situées à moins de 3 km des décharges de déchets solides urbains, des aires de nourrissage, des zones humides ou des champs dont le type de culture donne lieu à des concentrations d'oiseaux venant s'y nourrir et qui occasionnent un flux continu depuis et jusqu'à ces zones.
- Lignes situées dans un rayon de 5 km autour des plateformes de nidification d'espèces remarquables (aigle ibérique, cigogne noire, vautour moine, aigle de Bonelli, aigle royal et milan royal, principalement), surtout dans les zones labourées, forestières et montagneuses.
- Les lignes localisées dans une zone à 5 km de colonies de nidification d'oiseaux coloniaux, tels que les hérons, les cigognes et d'autres oiseaux aquatiques, ainsi que les vautours fauves et les vautours moines.
- Lignes situées dans une zone à 5 km de sites de repos pour oiseaux grégaires (hérons, cigognes, grues, vautours fauves, vautours moines, milans royaux et milans noirs, par exemple).
- Lignes dotées de pylônes sur lesquels nidifient des espèces menacées ou grégaires (rapaces et cigognes blanches, par exemple).
- Lignes situées dans des zones de concentration d'oiseaux steppiques, à des fins de reproduction ou d'hivernage, surtout dans le cas de la grande outarde, et dans des zones de campagne servant de corridors pour ces populations. En règle générale, il convient de considérer comme dangereuses les lignes situées dans toute zone où l'on constate la présence habituelle ou occasionnelle de la grande outarde, du ganga cata et du ganga unibande.
- Lignes qui traversent des cours d'eau servant de corridors pour les oiseaux aquatiques et migrateurs.
- Lignes situées dans un rayon de 3 km autour de points où des collisions d'oiseaux ont eu lieu.

Photos 34 et 35. Les lignes dotées de conducteurs situés sur un seul plan horizontal (à gauche) présentent un risque de collision avec les oiseaux inférieur à celui des lignes aux conducteurs situés sur trois plans ou plus (à droite) (Photo © JRG).

Les mesures correctives efficaces et permanentes sur les lignes présentant un risque de collision portent sur le revêtement et/ou l'augmentation du diamètre des conducteurs pour atteindre au moins 20 mm, surtout en ce qui concerne le câble de terre des lignes de transport, afin de permettre une meilleure visualisation pour les oiseaux. Sur les lignes de distribution sans câble de terre, la mesure la plus efficace consiste à redistribuer les câbles sur un seul plan horizontal.

Photos 36, 37 et 38. Les balises anticollision reliées au conducteur et les unes aux autres (photo en bas à droite) sont beaucoup moins efficaces que les balises en forme de spirale, appelées « queues de cochon » (à gauche et en haut à droite) (Photos 36 et 37 © JMMZ ; Photo 38 © JRG).

Comme il s'agit en général de mesures irréalisables d'un point de vue économique, il est courant de procéder à la signalisation des tronçons jugés à risque en utilisant des balises indépendantes les unes des autres, servant de « dérouteurs de vol d'oiseaux ». La distance entre les balises ne doit pas dépasser 7 m. Dans le cas des lignes dotées de conducteurs sur différents plans, les balises doivent être posées en alternance sur chaque plan. Les balises reliées au conducteur et les unes aux autres sont moins efficaces car si une balise se casse, il se produit une perte d'efficacité sur toutes les autres balises. À l'heure actuelle, la mesure la plus recommandée est l'utilisation de balises en forme de spirale (« queues de cochon ») ou des « X » en néoprène mesurant 30-35 cm, l'efficacité et la durabilité de ces deux solutions ayant été éprouvées.

Comme dans le cas des mesures anti-électrocution, tous les câbles équipés de balises doivent être contrôlés périodiquement afin de vérifier le bon état des balises et proposer leur remplacement lorsque les intempéries finissent par réduire leur efficacité ou par provoquer leur détachement du câble (Photos 36, 37 et 38).

7. Diagnostiquer les accidents par électrocution ou collision sur les lignes électriques

Même si la majorité des cadavres retrouvés au pied des pylônes électriques ou à proximité d'une portée sont le résultat d'une électrocution ou d'une collision, les oiseaux peuvent parfois mourir d'autres causes. Il se peut qu'un oiseau malade, blessé ou empoisonné décide de se poser sur un pylône et meure à cet endroit. Il y a également le cas de braconniers ou d'empoisonneurs qui jettent les cadavres sous les pylônes ou les câbles de la ligne électrique pour écarter les soupçons concernant leurs activités illicites, dont il existe des exemples en Andalousie. La liste suivante énumère les indices susceptibles de confirmer si les accidents détectés ont été dus à une électrocution ou à une collision ; si ces indices font défaut, d'autres causes de mortalité peuvent être envisagées :

1. Risque au niveau du pylône ou de la ligne électrique. On ne peut parler d'électrocution ou de collision probable que si l'oiseau blessé est retrouvé au pied de pylônes identifiés comme étant à risque ou à proximité de câbles non balisés et de diamètre inférieur à 20 mm.

2. Les oiseaux sont électrocutés lorsqu'ils touchent soit deux conducteurs soit un conducteur et un élément métallique de la traverse, entraînant un court-circuit et le passage de l'électricité à travers le corps de l'animal. Dans ce cas, les oiseaux présenteront des symptômes bien définis : graves brûlures aux points de contact (bien qu'elles puissent être cachées par le plumage) ; plumes roussies et décolorées au point de contact ; serres/doigts des pattes repliés sur eux-mêmes, par contraction des muscles du corps, due à l'électrocution ; hémorragies sous-cutanées visibles sous les points de contact avec les conducteurs (Photo 39).

3. Les conséquences des collisions d'oiseaux avec les lignes électriques peuvent aller de la brève déviation de la trajectoire de vol jusqu'à l'amputation d'un membre. Dans de nombreux cas, il s'agit d'un grave traumatisme avec des signes visibles de fractures et d'hémorragies externes et internes. Compte tenu de la force d'inertie suite au choc et du fait que l'oiseau peut ne pas mourir immédiatement, il est rare mais pas impossible de retrouver des oiseaux victimes d'accidents juste en dessous des câbles de la ligne électrique (Photo 11).

4. Les restes d'oiseaux électrocutés ou percutés sont généralement dévorés en totalité ou en partie par des charognards et ils présentent une abondante entomofaune typique des cadavres.

Photo 39. Les oiseaux électrocutés présentent de graves brûlures aux points de contact et les serres/doigts de leurs pattes sont repliés sur eux-mêmes, par contraction des muscles du corps, due à l'électrocution. Cette image montre les pattes roussies d'un balbuzard pêcheur électrocuté (Photo © IF).

Pour approfondir ce sujet, nous vous invitons à consulter le Chapitre 16 (consacré à la faune cadavérique) et le Chapitre 12 (concernant l'identification des lésions) dans l'ouvrage intitulé *Manual de protección legal de la biodiversidad para agentes de la autoridad ambiental en Andalucía* (Garrido López, J.R. & Martín Martín, J., 2015), disponible en espagnol.

8. Comment identifier, géoréférencer, décrire et signaler une ligne ou un pylône présentant un danger ?

Les agents chargés de la conservation de la nature et les techniciens sont souvent dans l'obligation de détecter et de signaler les lignes électriques dangereuses dans les zones où ils travaillent. L'expérience nous a montré que la qualité de nos signalements est essentielle pour pouvoir rectifier les lignes électriques correctement et, chose fondamentale, pour ne pas créer de confusion quant aux pylônes à faire modifier par la société chargée des rectifications.

Afin de prévenir les accidents sur les lignes électriques dans le milieu naturel, nous devons suivre un protocole de caractérisation incluant les aspects suivants :

1. **Localisation des lignes électriques**. Il est indispensable de localiser les pylônes ou tronçons à risque avec la plus grande précision. Pour cela, les coordonnées UTM doivent être prises à l'aide d'un GPS au pied des pylônes, dans le cas du risque d'électrocution, et le long du parcours des portées à risque, dans le cas du risque de collision (s'il s'agit d'une ligne droite, la prise de coordonnées en début et en fin de portée suffit). De même, il convient de signaler le nom du site, du domaine, de la localité et de la municipalité, ainsi que le type d'habitat où se trouve le pylône ou le tronçon.

2. **Caractérisation de la ligne électrique**. La ligne électrique doit être décrite en suivant les indications de ce chapitre, en précisant pourquoi le pylône ou le tronçon est jugé à risque. Il convient de prendre des photographies de ce pylône ou de ce tronçon.

   Dans le cas des pylônes, les éléments suivants doivent être indiqués :

   a. Type de traverse, en expliquant pourquoi elle est jugée à risque (disposition des isolateurs, présence de sectionneurs, présence de nids sur le pylône, etc.) et en joignant un schéma ou une photographie. Il est nécessaire de caractériser le système d'isolation (description du type et du nombre d'isolateurs, disposition des chaînes d'ancrage et de la suspension, distances minimales de sécurité accessibles obtenues, etc.), et de décrire la présence de sectionneurs et de transformateurs, ainsi que le niveau d'isolation des conducteurs.
   b. Présence de nids d'oiseaux sur les pylônes de la ligne électrique comportant un risque de collision, en identifiant le nombre de nids et l'espèce à laquelle ils appartiennent. Un schéma ou une photographie doit être fourni(e).
   c. Présence de dispositifs anti-électrocution inefficaces ou en mauvais état devant être remplacés. Il est recommandé de joindre des photographies.
   d. Cas d'électrocutions antérieures. Le nombre et l'espèce d'oiseaux électrocutés sur ces pylônes doivent être indiqués.
   e. Compagnie propriétaire de la ligne électrique à laquelle le pylône appartient, ainsi que le numéro de ce pylône, s'il existe (le cas échéant, ce numéro est identifié sur des plaques métalliques à la base du pylône).
   f. Proposition de mesures pour réduire ou éliminer le risque d'électrocution, en indiquant les points de la traverse ou du pylône (présence de transformateurs ou de dérivations, par exemple) sur lesquels il faut intervenir, et en désignant ceux qui ne nécessitent aucune action, en fonction des recommandations fournies dans ce document. Il convient aussi de préciser le type de mesures (isolation des conducteurs et installation ou non de dispositifs « antipose »).

Pour la caractérisation des tronçons présentant un risque de collision, les éléments suivants doivent être indiqués :

a. Type de ligne (distribution ou transport), présence ou non de câble de terre et nombre de plans sur lesquels les conducteurs se répartissent. Un schéma ou une photographie doit être fourni(e).
b. Présence de nids d'oiseaux sur les pylônes de la ligne électrique comportant un risque de collision, en identifiant le nombre de nids et l'espèce à laquelle ils appartiennent. Un schéma ou une photographie doit être fourni(e).
c. Présence de dispositifs anticollision inefficaces, expliquant la raison de leur perte d'efficacité (chute au sol, perte de visibilité, espacement entre les balises non conforme à la distance adaptée, etc.).
d. Compagnie propriétaire de la ligne électrique à laquelle appartient le tronçon jugé à risque, ainsi que le numéro, s'il existe, des pylônes entre lesquels se trouvent le ou les tronçons (le cas échéant, ce numéro est identifié sur des plaques métalliques à la base des pylônes).
e. Proposition de mesures pour réduire ou éliminer le risque de collision, en indiquant les tronçons dangereux et en précisant s'il est nécessaire de baliser le câble de terre et/ou les conducteurs sur un ou plusieurs plans, en désignant ceux sur lesquels il faut intervenir et ceux qui ne nécessitent aucune action. Le type de balises anticollision recommandées et leur nombre approximatif doivent aussi être signalés.

3. **Niveau d'impact sur le milieu naturel**. Il convient d'indiquer quelles sont les espèces (ou l'espèce) affectées, réellement ou potentiellement, par la ligne électrique à risque, en mentionnant la présence, ou non, de populations reproductrices ou hivernantes directement menacées par cette ligne. Il faut également indiquer depuis quand, a priori, cette ligne électrique a un impact sur le milieu naturel et une recommandation doit être formulée en termes de priorité de la modification (Photo 40), en fonction du niveau de risque déterminé par l'agent ou le technicien qui réalise la caractérisation.

Les travaux de localisation et de caractérisation des lignes électriques dangereuses impliquent la collecte d'un volume énorme de données sur le terrain, dont le traitement et la gestion ne peuvent se faire efficacement qu'avec un bon système de stockage et d'exploitation des données. Les informations relevées sur le terrain doivent être converties le plus rapidement possible en un système numérique (base de données) permettant de les homogénéiser et de les centraliser. Ainsi, avec l'aide d'un SIG (système d'information géographique), les techniciens de l'administration pourront réaliser rapidement l'évaluation dont ils sont chargés, facilitant et accélérant le déroulement des formalités requises pour procéder aux rectifications qu'ils estiment pertinentes.

À cet égard, il existe en Andalousie un protocole de collecte de données sur le terrain, relatif aux lignes électriques dangereuses et s'appuyant sur la législation en vigueur[4]. Les informations sont relevées par les Agents environnementaux puis elles sont numérisées et rassemblées au sein d'une base de données centralisée au niveau régional, ce qui permet de contrôler et de suivre les actions et les travaux engagés, mais aussi d'identifier les prochaines mesures à mettre en œuvre, en définissant leur priorité.

[4] Décret royal 1432/2008 et Décret 178/2006

Type	Traverse	Dangerosité	Priorité de l'intervention
Isolateurs suspendus	En quinconce	Très faible	
	En forme de voûte	Faible	G (d < 0,88 m)
	Plan horizontal	Très faible	
Isolateurs rigides	En quinconce	Modérée	F (d < 1,50 m)
	En forme de voûte	Très élevée	B
	Plan horizontal	Très élevée	
	En forme de croix	Très élevée	
Bretelles de liaison en dessous	En quinconce	Modérée	F (d < 1,50 m)
	En forme de voûte	Modérée	G (d < 0,88 m)
	Plan horizontal	Modérée	F (d < 1,50 m)
Bretelles de liaison au-dessus	Plan horizontal	Très élevée	C
	En forme de croix	Très élevée	C
Sectionneurs en dessous	Conceptions diverses	Modérée (selon la conception)	
Sectionneurs au-dessus	Conceptions diverses	Très élevée	A
Sectionneurs sur le mât	Conceptions diverses	Variable (selon la conception)	
Pylônes de dérivation	Conceptions diverses	Élevée	D
Pylônes avec CTI	Conceptions diverses	Élevée	E