



# Bilan de dix ans de marquage des jeunes Busards cendrés *Circus pygargus* en France

Jean-Luc Bourrioux<sup>1</sup>, Thierry Printemps<sup>2</sup>, Benoît van Hecke<sup>3</sup>, Alexandre Villers<sup>4</sup>, Joël Chadœuf<sup>5</sup>,  
Steve Augiron<sup>6</sup>, Vincent Bretagnolle<sup>4</sup>, Alexandre Millon<sup>7</sup> & le réseau Busards

C'est à l'issue de la thèse de l'un d'entre nous qu'est née l'idée de lancer un programme de marquage des jeunes Busards cendrés *Circus pygargus* à l'échelle nationale. Cette thèse portait sur la dynamique des populations de cette espèce en réponse aux cycles du Campagnol des champs *Microtus arvalis* dans les zones agricoles du centre-ouest de la France (MILLON 2006). L'un des résultats de cette thèse montrait qu'à l'échelle du site d'étude de Chizé, Deux-Sèvres, soit 450 km<sup>2</sup>, et après 10 années d'un baguage quasi-exhaustif des poussins, seulement 50% des mâles et 20% des femelles nicheurs sur le site en 2006 étaient porteurs d'une bague. En outre, parmi ces oiseaux bagués ayant fait l'objet d'une recapture, la moitié des femelles baguées étaient en fait nées en dehors de Chizé. Les mâles quant à eux étaient bien nés localement (tous sauf un). Il était donc difficile de considérer le site d'étude comme une population, au sens démographique du terme, avec une telle proportion d'oiseaux originaires de l'extérieur du site. Ce constat est révélateur du fait que la définition d'une population d'étude, le plus souvent fondée sur des contraintes logistiques, ne correspond pas forcément à une entité écologique. L'objectif de ce programme était donc d'augmenter l'échelle spatiale à laquelle estimer les paramètres démographiques-clés que sont la survie juvénile et la survie adulte d'une part, et quantifier le processus de dispersion d'autre part. Ce projet s'est appuyé sur le réseau existant

des protecteurs des busards à l'échelle nationale. Le présent article vise à dresser un bilan qualitatif et quantitatif de ce programme de marquage des poussins de Busard cendré, dix ans après son lancement, à fournir un état des lieux des données brutes, à synthétiser les principaux résultats obtenus, certains étant d'ores et déjà valorisés par des publications scientifiques, et enfin à discuter des développements futurs de ce programme unique de « sciences citoyennes » dédié à la conservation de la biodiversité en milieux agricoles.

## LE MARQUAGE

Le lancement du programme de marquage a pu bénéficier des expériences de marquage préalables sur l'espèce, initiées en 1987 par Alain Leroux dans les marais de Rochefort, Charente-Maritime, et renforcées par Vincent Bretagnolle dans les Deux-Sèvres (1994), Thierry Printemps dans le Maine-et-Loire (1995), Jean-Luc Bourrioux en Haute-Marne et dans l'Aube (1996) et Marie-Françoise Canevet en Gironde (1996). Le premier défi résidait dans la mise au point d'une codification des marques alaires à même de générer un taux de contrôle important, associé à un faible taux d'erreur de lecture, et produisant plus de 6 500 combinaisons uniques. Forts de l'expérience acquise au travers du marquage d'adultes (mais aussi de près de 500 poussins sur 10 ans dans les marais de Rochefort) et après plusieurs tests sur le terrain, nous avons opté pour un codage

<sup>1</sup> 1 Hameau de Blinfey, 52 110 Beurville. <sup>2</sup> 93 rue des Varennes, 49 590 Fontevraud-L'Abbaye. <sup>3</sup> 86 170 Neuville-de-Poitou. <sup>4</sup> CEBC, UMR7372, CNRS & Université de la Rochelle, 79 360 Villiers-en-Bois. <sup>5</sup> INRA-Avignon, Statistiques, UR1052, Site de Saint-Maurice, 84 140 Montfavet. <sup>6</sup> Geolinkx, 180 rue du Genevois, PA Côte-Roussse, 73000 Chambéry. <sup>7</sup> Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, Avignon Université, IMBE, Technopole Arbois-Méditerranée, 13 545 Aix-en-Provence

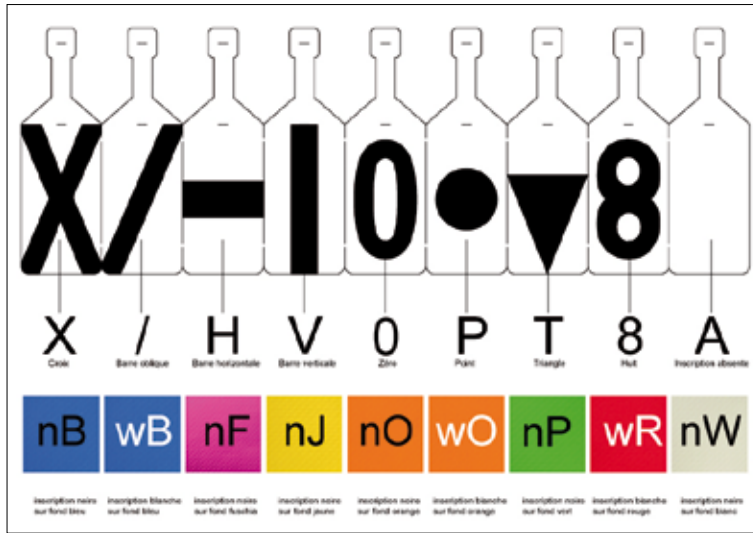


fig. 1. Codage des marques alaires du programme de marquage des poussins de Busard cendré *Circus pygargus*, combinant la couleur de la marque avec la forme et la couleur du sigle (à noter qu'un codage différent est utilisé pour le programme de marquage des adultes, V. [www.busards.com](http://www.busards.com)). Coding of wing tags used in the tagging program of juvenile Montagu's Harriers, combining the color of the tag with the shape and the color of the sign. Note that a different coding is used in the adult tagging program (see [www.busards.com](http://www.busards.com)).

alliant 7 couleurs de marques à l'apposition de 8 sigles (plus l'absence de sigle; fig. 1). Les sigles peuvent être de deux couleurs différentes (noire ou blanche) et certaines restrictions sur l'association avec la couleur de la marque sont établies de sorte à pouvoir corriger a posteriori des confusions générées par certaines couleurs proches (e.g. les marques rouges et fuchsia ne portent respectivement que des sigles blancs et noirs). La lecture des deux ailes ainsi que l'indication du côté sont nécessaires à l'identification d'un individu. Une lecture incomplète, ou l'observation d'un oiseau ayant perdu une marque, ne permettent donc pas l'identification.

Les marques ont été fabriquées par une société de sérigraphie qui s'est chargée à la fois de l'apposition des sigles et du prédécoupage selon un gabarit standard. Dernière étape de cette mise en place, les marques sont associées aléatoirement par lot de 15 à 20 groupes de 3 combinaisons consécutives avant distribution aux marqueurs. Cette stratégie de mélange des combinaisons nous assurait une lecture sans a priori géographique des contrôles futurs. Une stratégie alternative qui aurait consisté en un groupement des couleurs par site de marquage aurait pu générer des erreurs de la part de marqueurs, dont la lecture aurait été influencée par les combinaisons

posées au sein de leur propre site.

Le programme débute donc en 2007 avec une étude pilote grandeur nature sur une dizaine de sites volontaires à travers la France, ceci afin de tester le déploiement des marques et la récupération des données en vue d'un marquage à grande échelle pour l'année 2008, au cours de laquelle devait en théorie se produire un pic de densité des populations de Campagnol des champs. Mais l'année 2007 s'avère déjà particulièrement fructueuse, avec une très bonne reproduction des busards, conséquence d'un pic de campagnol anticipé. Initialement prévue sur 3 ans, la réalisation du marquage s'étalera finalement jusqu'en 2010, et permettra le marquage de 5 405 poussins issus de 1926 nids dans 41 départements (fig. 2 & 5). En outre, 342 poussins ont été marqués dans le cadre de ce programme en Hollande, au Danemark et dans le nord de l'Allemagne. Malgré nos sollicitations, aucun marquage n'aura lieu en Espagne, ni en Angleterre.

1 & 2. (page suivante) Deux exemples de jeunes Busards cendrés *Circus pygargus* portant des marques alaires, posées dans le cadre du programme de marquage des poussins: juvénile volant (en haut) et poussin au nid (en bas), Champagne, juillet 2008 (Alain Balthazard). Two examples of juvenile Montagu's Harrier wing-tagged in France, July 2008.





### Impact du marquage sur la survie et la reproduction des Busards cendrés

La pose de marques sur un oiseau, quelle que soit leur nature (bague, marque alaire, équipement électronique embarqué, etc.), est à considérer de manière attentive. L'impact du marquage peut se traduire par une diminution de la survie, du fait de la gêne occasionnée par la marque, qui peut réduire les capacités de l'oiseau pour trouver sa nourriture ou échapper aux prédateurs. Il peut également se traduire par une baisse du succès reproducteur du fait de la première raison évoquée ci-dessus, mais aussi d'une baisse d'attractivité pour de potentiels partenaires. Des analyses ont été conduites pour évaluer ces différents impacts sur la base des expériences précédentes, notamment dans les Deux-Sèvres et dans les marais de Rochefort, Charente-Maritime, sans mettre en évidence de différence significative. En outre, les taux de survie estimés pour les jeunes, comme pour les adultes, sont cohérents pour une espèce de cette taille. Toutefois, le suivi du régime alimentaire du Faucon pèlerin *Falco peregrinus*, initié en 1997 dans le Pays basque espagnol, a révélé pour la première fois en 2009 le prélèvement d'un Busard cendré marqué, mais aussi de quatre Busards Saint-Martin non marqués dans un nid (ZUBEROGOTIA *et al.* 2012). Au cours des deux années suivantes, 16 Busards cendrés, dont deux marqués (marques orange ou bleues), ont été retrouvés dans le nid de ce même couple. Si ce couple de faucons semble s'être spécialisé sur les jeunes busards (7 jeunes d'un an identifiés pour 6 adultes parmi 17 oiseaux), la proportion d'oiseaux marqués retrouvés n'est pas significativement différente de celle estimée au sein de la population à cette période. Cette étude démontre toutefois la vigilance à apporter au moment du choix d'un type de marquage. Globalement, si l'impact du marquage alaire ne peut être évité, celui-ci semble, dans le cas du Busard cendré, marginal et est à balancer avec les bénéfices retirés en termes de connaissances utiles à la conservation.

fig. 3. Vue partielle de l'interface de saisie des observations de Busards cendrés *Circus pygargus* marqués sur [www.busards.com](http://www.busards.com). Celle-ci permet le chargement de photographies de l'oiseau observé afin d'assurer l'identification. The recording website of wing-tagged Montagu's Harriers ([www.busards.com](http://www.busards.com)) allows the picture uploading of the observed birds to ensure their identification.

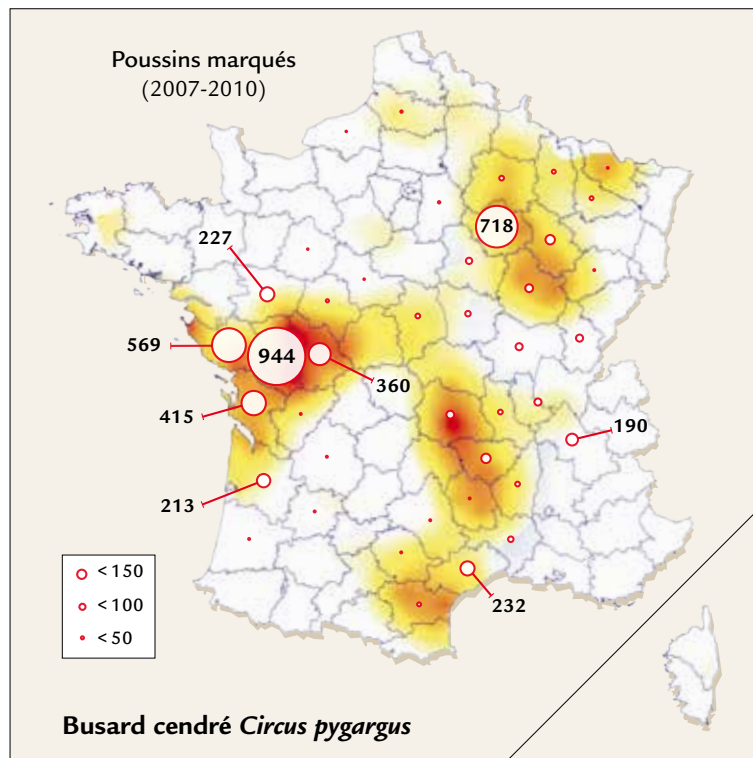


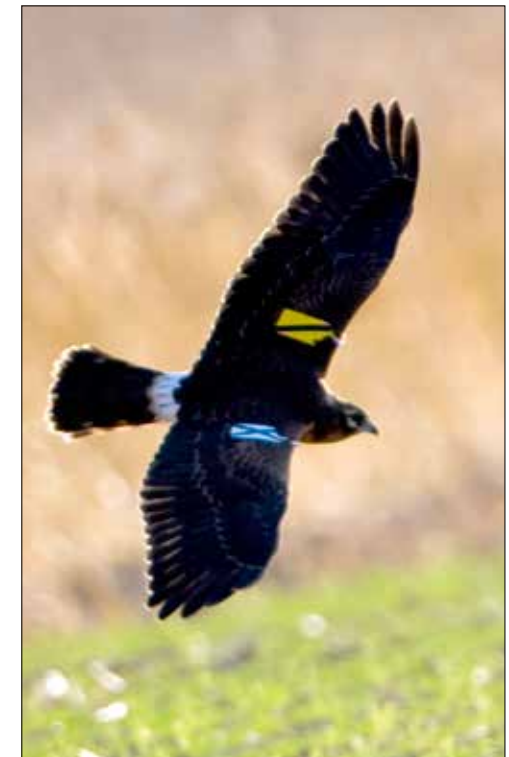
fig. 2. Distribution du nombre de poussins de Busard cendré *Circus pygargus* marqués en France entre 2007 et 2010 ( $n = 5\,405$ ). La taille des cercles est proportionnelle au nombre de poussins marqués. Le gradient de couleur du jaune (1 c/100 km<sup>2</sup>) au rouge (7 c/100 km<sup>2</sup>) renseigne sur la densité de couples nicheurs de Busard cendré (d'après THIOLLAY & BRETAGNOLLE 2004). Distribution of the number of Montagu's Harrier nestlings marked in France between 2007 and 2010 ( $n = 5\,405$ ). The size of the circles is proportional to the number of tagged birds. The color gradient of yellow (1 pair per 100 km<sup>2</sup>) to red (7 pairs per 100 km<sup>2</sup>) indicates the density of breeding pairs of Montagu's Harrier (from THIOLLAY & BRETAGNOLLE 2004).

### LE PROCESSUS DE RÉCUPÉRATION DES CONTRÔLES

Un programme d'une telle envergure, à même de générer un nombre important de données, nécessite la mise en place d'une base de données adaptée et d'une interface de saisie des données ergonomique et accessible via Internet. Cette dernière est mise en ligne sur le site [www.busards.com](http://www.busards.com) dès 2007, et s'articule autour d'un formulaire de saisie comprenant une carte Google® (photo aérienne), qui permet à l'observateur de positionner précisément le lieu de l'observation. Les coordonnées géographiques correspondant à ce pointage sont automatiquement intégrées au formulaire de saisie (fig. 3).

Outre la centralisation des données à la fin de chaque saison de reproduction, une phase importante du travail de récupération consiste à vérifier les données de marquage et de suivi de nids, avec

3. Busard cendré *Circus pygargus* juvénile portant des marques alaires, Champagne, juillet 2008 (Alain Balthazard). L'essor de la photo numérique a permis d'augmenter le nombre de lectures de combinaison de marques, notamment sur des oiseaux en vol, l'exercice étant plus délicat quand l'oiseau bouge. Juvenile Montagu's Harrier wing-tagged, France, July 2008.



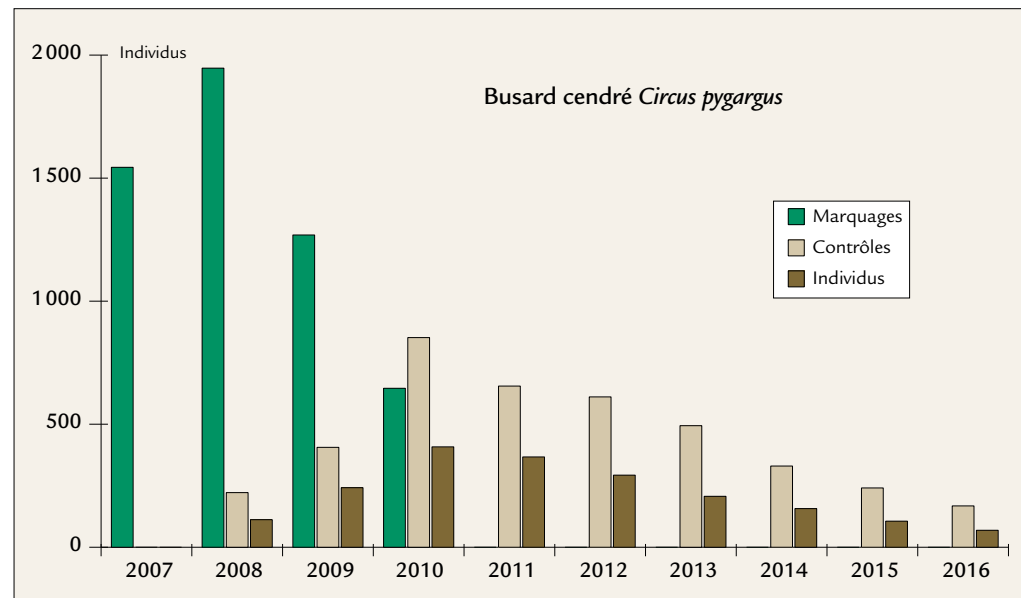
l'aide des coordinateurs régionaux, et celles liées aux contrôles d'oiseaux marqués. Au 31 décembre 2016, 6 777 contrôles ont été enregistrés sur l'interface web (incluant les oiseaux marqués et/ou contrôlés à l'étranger), parmi lesquels 75 % ont été validés (fig. 4).

L'essor de la photographie numérique a été particulièrement profitable à notre programme. Un grand nombre d'observateurs étant doté d'un équipement plus ou moins sophistiqué, le site web a été pensé dès 2008 pour accueillir des photos des busards marqués. Des modèles de type « bridge », au prix modéré, permettent de prendre des clichés confirmant la lecture des combinaisons. C'est ainsi qu'a été constitué un ensemble de contrôles pour lesquels l'identification était avérée, photo à l'appui, à hauteur de 25 % environ. En l'absence d'un véritable protocole destiné à comparer les identifications visuelles et les identifications photographiques, nous pouvons

seulement évaluer, subjectivement, que le taux d'erreur des lectures visuelles est inférieur à 5%. Par exemple, sur le site d'étude de Chizé, qui a produit un très grand nombre de contrôles, dont la moitié accompagnée de photos, le taux d'erreur corrigée (à partir d'une première observation sans photo) est d'un sur 30. En outre, certaines observations en vol ne permettent pas toujours l'identification directe à l'aide de jumelles ou d'un télescope, du fait du mouvement rapide des oiseaux, et dans de nombreux cas la prise de photo a permis une identification, impossible par ailleurs.

La base de données mise en place reçoit principalement les données de contrôle d'oiseaux marqués. Elle dote aussi le « réseau Busards » d'un outil centralisant les données générées chaque année par le suivi et la protection de près de 2000 nids des trois espèces – Busard Saint-Martin *Circus cyaneus*, Busard des roseaux *Circus aeruginosus* et Busard cendré – dans toute la France (fig. 5).

fig. 4. Évolution du nombre de poussins de Busards cendrés *Circus pygargus* marqués (2007-2010; n = 5 405, barres vertes), du nombre de contrôles validés (hors année de naissance, n = 3 979, barres beiges) et du nombre total d'individus différents contrôlés au moins une fois depuis 2007 (n = 1 109, barres brunes). La différence entre les barres beiges et brunes provient du fait qu'un même individu peut faire l'objet de multiples contrôles la même année. *Changes in the number of Montagu's Harrier chicks tagged (2007-2010, n = 5 405, green bars), validated controls (excluding year of birth, n = 3 979, buff bars) and different individuals involved (n = 1 109, brown bars) by year, 2007-2016. The difference between buff and brown bars results from multiple controls of same individuals in the same year.*

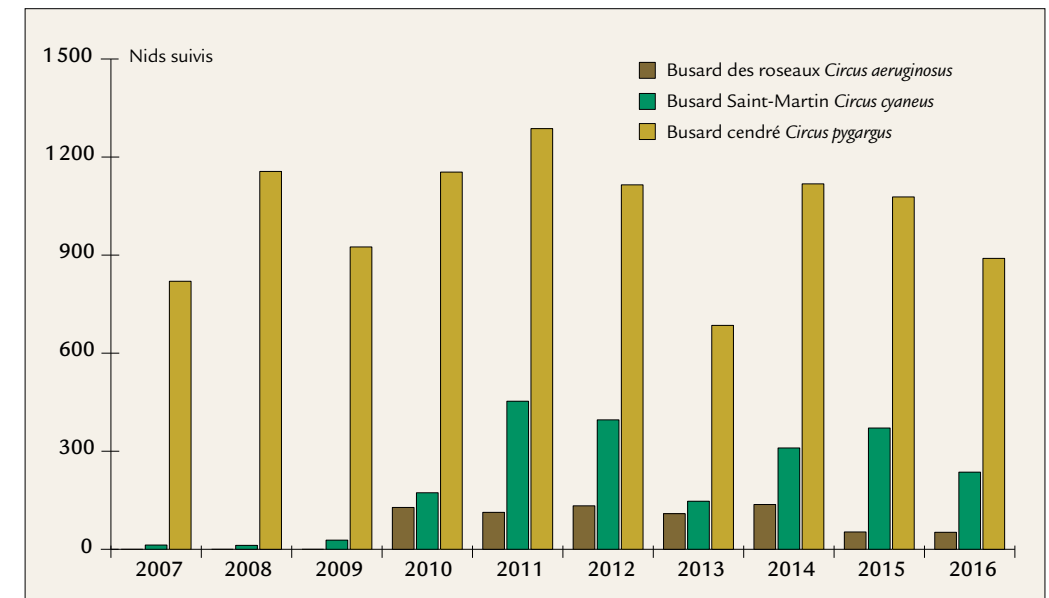


## LE TAUX DE RETOUR DES OISEAUX ET LEUR SURVIE

Sur les 5 405 poussins marqués en France entre 2007 et 2010, 1 109 ont été contrôlés au moins une fois après leur année de naissance (20,5 %, à la date du 31 décembre 2016; fig. 4). Les analyses de survie de type capture-recapture permettent d'estimer les taux de survie annuels en tenant compte de la probabilité de recapture des individus (analyses CMR, MILLON & BRETAGNOLLE 2008). La survie des juvéniles, est de l'ordre de 30 %, c'est-à-dire qu'un poussin a en moyenne une chance sur trois de survivre jusqu'à l'âge d'un an. La survie juvénile semble avoir été sensiblement meilleure pour les cohortes de 2007 et 2010, comparativement à celles de 2008 et 2009 (fig. 6). Le faible nombre de cohortes (quatre) ne nous permet cependant pas d'évaluer l'influence des conditions d'hivernage en Afrique sur cette survie juvénile. En revanche, la date d'éclosion a

un effet très fort sur la survie juvénile, les poussins nés tôt dans la saison (toutes années confondues) survivant mieux que les autres : si le taux de survie des poussins nés le 6 juin est d'environ 39 %, celui des poussins nés le 1<sup>er</sup> juillet chute ainsi à environ 24 %. Cette différence sensible souligne l'importance des couples les plus précoces et productifs, sur lesquels doit se concentrer l'effort de protection. Dans certaines régions, ces couples précoces sont, de manière paradoxale, plus vulnérables aux moissons, car ils ont tendance à s'installer préférentiellement dans les orges d'hiver et les escourgeons, les seules céréales ayant une hauteur suffisante au début du mois de mai pour accueillir les premiers nids. Ces cultures constituent alors de véritables pièges, en raison de leur moisson précoce (dès la fin juin), soit à une période où virtuellement aucun poussin de Busard cendré n'est en mesure de s'envoler (MILLON *et al.* 2002). Le taux de survie adulte (*i.e.* tous âges confondus

fig. 5. Nombre de nids suivis pour chacune des trois espèces de busards nichant en France, saisis dans la base de données entre 2007 et 2016. À noter que si le nombre de nids suivis est proche de l'exhaustivité pour le Busard cendré *Circus pygargus*, il n'en est pas de même pour les deux autres espèces, dont les variations interannuelles sont en partie le résultat d'un processus de récupération des données pas encore stabilisé. *Number of nests monitored for each of the three species of harriers nesting in France recorded in the database between 2007 and 2016. Note that the number of monitored nests recorded in the national database is close to completeness for Montagu's Harrier. This is not true for the other two species, as the data recovery process is not yet stabilized.*





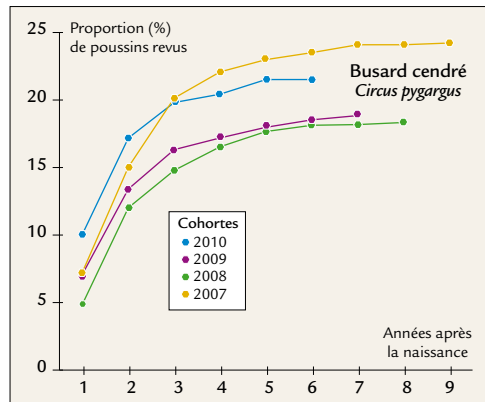


fig. 6. Évolution du pourcentage cumulé de jeunes Busards cendrés *Circus pygargus* marqués, contrôlés en fonction de leur cohorte de naissance. L'année 1 correspond à l'année suivant celle du marquage (i.e. 2008 pour la cohorte 2007, 2009 pour la cohorte 2008, etc.). Evolution of the cumulative percentage of wing-tagged young Montagu's Harriers controlled by the birth cohort. Year 1 corresponds to the year following the marking (i.e. 2008 for the cohort 2007, 2009 for the 2008 cohort, etc.).

à partir de 2 ans) s'élève en moyenne à 79%. En 2016, 10 ans après leur marquage, 16 oiseaux de la cohorte 2007 ont encore été observés, portant à 24,2% la proportion cumulée d'oiseaux revus pour cette cohorte (fig. 6). Une analyse de l'influence relative des conditions sur les lieux de reproduction et les zones d'hivernage sur la survie des adultes est actuellement en cours. Celle-ci exploite les données d'oiseaux marqués dans le cadre de ce programme, ainsi que ceux marqués sur les différents sites de marquage d'adultes.

#### LA DISPERSION

L'objectif premier de ce programme national était la quantification de la dispersion des Busards cendrés juvéniles, en particulier celle entre le nid de naissance et le nid de première reproduction, à une échelle spatiale la plus grande possible. La figure 7 montre la fréquence des observations en période de reproduction (15 avril-15 juillet) en fonction de la distance au lieu de naissance (année n, distance calculée sur les observations année n+1 ou plus). Si la plupart des Busards cendrés sont observés à une distance inférieure à 20 km de leur nid de naissance, nombre d'indi-

vidus sont toutefois vus à des distances importantes, supérieure à 100 km et jusqu'à 600 km à l'intérieur de la France. En outre, 34 individus ont été identifiés en période de reproduction en dehors de nos frontières (4% des observations), avec 11 distances de dispersion supérieures à 800 km. Le record revient à un oiseau né dans le département du Puy-de-Dôme et observé à plusieurs reprises au Royaume-Uni, jusque sur la côte nord-est de l'Écosse, soit à 1366 km de son lieu de naissance.

Considérant l'ensemble des observations effectuées lors de la période de reproduction, mais sans se restreindre aux oiseaux dont le statut reproducteur est avéré (et donc incluant des oiseaux encore en phase d'erratismo), la distance médiane de dispersion s'élève à 32 km. La moitié des observations ont donc été réalisées à plus de 32 km du nid de naissance. Cette distance correspond grossièrement au diamètre d'un site d'étude, ce qui signifie que plus de la moitié des oiseaux nés sur un site sont observés en dehors de ce site. D'un point de vue méthodologique, il faut avoir à l'esprit que la probabilité d'observer un oiseau qui ne revient pas sur son site de naissance est plus faible (e.g. il peut se reproduire dans une zone non surveillée) comparativement à un oiseau qui y revient et qui aura toutes les chances d'y être observé par les protecteurs en place. Bien que l'intensité du suivi des busards en France, et notamment sa couverture spatiale, soit considérable, il n'en reste pas moins que seule une minorité des couples est effectivement suivie chaque année: 1200 environ pour une population estimée à 4000 couples (voir plus loin). En 2016, deux oiseaux de la cohorte 2007 ont été observés pour la première fois, après avoir «échappé» pendant 9 ans à notre réseau, soulignant à la fois la mobilité des oiseaux et le caractère partiel du suivi de l'espèce en France. Il en résulte donc que la dispersion «brute» observée (fig. 8) sous-estime la dispersion réelle de l'espèce. Ce constat nous

4. Busard cendré *Circus pygargus*, mâle portant des marques alaires (combinaison XwR HwO), posées dans le cadre du programme de marquage des poussins en France, Champagne, mai 2016 (Alain Leroux). Male Montagu's Harrier wing-tagged in France, May 2016.

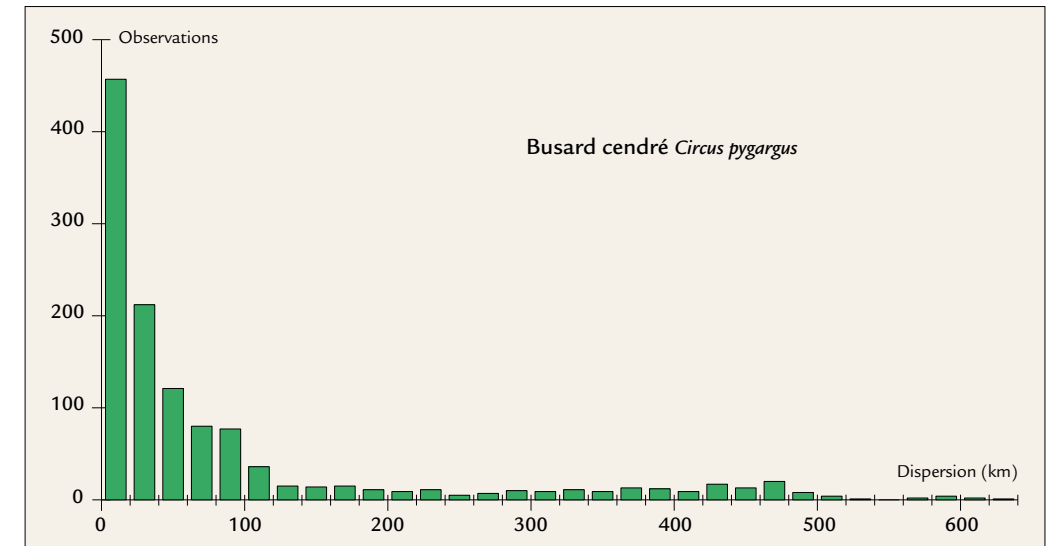


fig. 7. Nombre de Busards cendrés *Circus pygargus* par classe de distance de dispersion (en km) par rapport au nid de naissance. Cet histogramme repose sur une unique observation par individu par an en période de reproduction (15 avril-15 juillet) en France, quel que soit le statut reproducteur de l'oiseau (n=1215); un même individu génère une distance de dispersion pour chacune des années au cours desquelles il a été revu. Number of Montagu's Harriers by class of dispersal distance (in km) in relation to the birth nest. This histogram is based on a single observation per individual during the breeding period (15 April-15 July) in France, regardless of the reproductive status of the bird (n=1215); a single individual generates a dispersal distance for each control year.



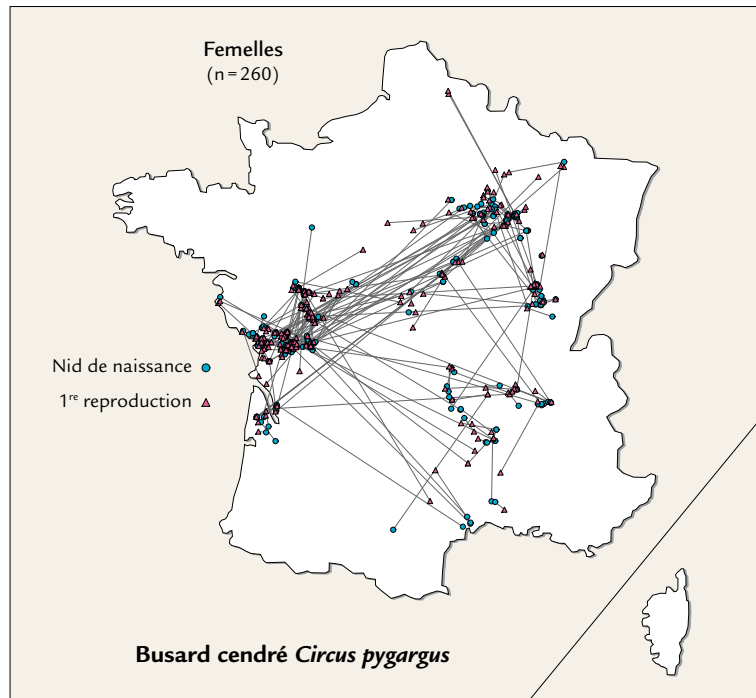


fig. 8a. Carte des événements de dispersion entre le lieu de naissance et le lieu de première reproduction observée en France pour les femelles de Busards cendrés *Circus pygargus* marquées poussins en France. L'essentiel des échanges entre les trois grands pôles de distribution de l'espèce en France (fig. 3) est assuré par les femelles. Map of dispersal events between place of birth and place of first breeding observed in France for female Montagu's Harriers wing-tagged as chicks in France. Most of the exchanges between the three major breeding areas of the species in France (fig. 3) are actually carried out by females.

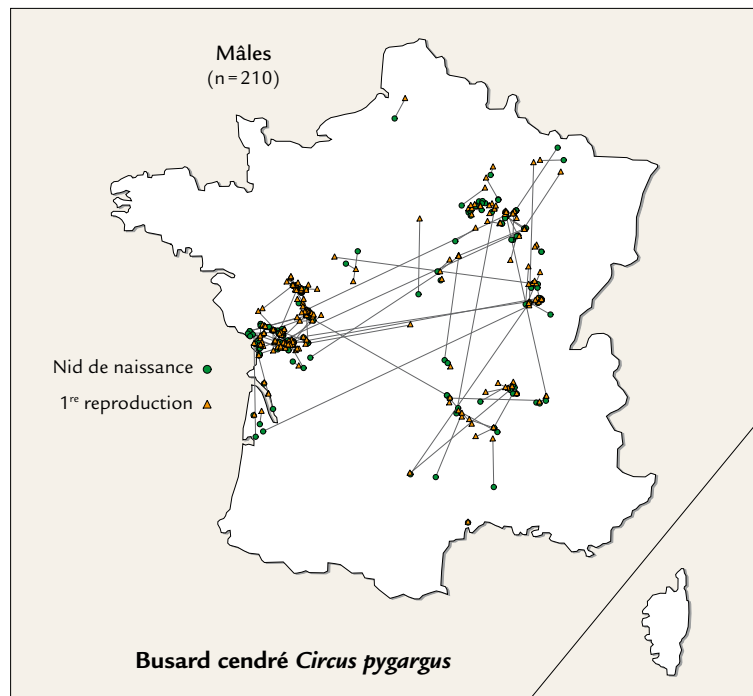


fig. 8b. Carte des événements de dispersion entre le lieu de naissance et le lieu de première reproduction observée en France pour les mâles de Busards cendrés *Circus pygargus* marqués poussins en France. Map of dispersal events between place of birth and place of first breeding observed in France for male Montagu's Harriers wing-tagged as chicks in France.

a conduit à développer une méthode statistique pour corriger l'estimation de la médiane de dispersion, en tenant compte de la distribution des nids avec marquage et de l'effort d'observation associé (CHADCEUF *et al.* 2017). Cette correction statistique élève la distance médiane de dispersion à 78-123 km, soulignant ainsi le grand potentiel de dispersion de l'espèce. Les travaux continuent sur cette thématique avec deux objectifs principaux : évaluer cette dispersion médiane en ne prenant en compte que les oiseaux reproducteurs (*i.e.* pour lesquels un nid a été identifié), ce qui nous permettra d'établir plus précisément l'échelle spatiale à laquelle fonctionnent les populations de Busard cendré en France (fig. 8); vérifier si leur dispersion varie en fonction de la région d'origine et des conditions écologiques rencontrées (*e.g.* densité de nids et succès reproducteur moyen autour du nid de naissance).

#### DONNÉES SUR L'ERRATISME, LA MIGRATION ET L'HIVERNAGE

Si ces processus ne faisaient pas partie des objectifs initiaux du programme, celui-ci a généré, contre toute attente, un nombre important de données sur les Busards cendrés, tant pour les adultes que pour les juvéniles en migration mais aussi en hivernage. Un total de 222 observations (contrôles ou reprises) d'oiseaux marqués appartenant aux populations françaises a été réalisé dans 13 pays différents (fig. 9), permettant d'identifier avec certitude 141 individus.

La majorité de ces 222 observations (146 soit 66%) a été réalisée en dehors de la période de reproduction, notamment en Afrique, ce programme ayant motivé plusieurs marqueurs pour partir à la recherche de « leurs » busards en Afrique de l'Ouest. Plus des deux tiers de ces 146 observations ont été faites au Sénégal, où s'est concentré l'effort de plusieurs équipes, qui se sont relayées tous les hivers entre janvier 2009 et mars 2015. Ce sont ainsi 64 oiseaux différents issus du programme de marquage des poussins qui ont été observés en Afrique, dont la majorité au Sénégal à proximité du principal site d'hivernage connu, dans la région de Khelcom, qui accueille plus de 4000 Busards cendrés (AUGIRON *et al.* 2015).

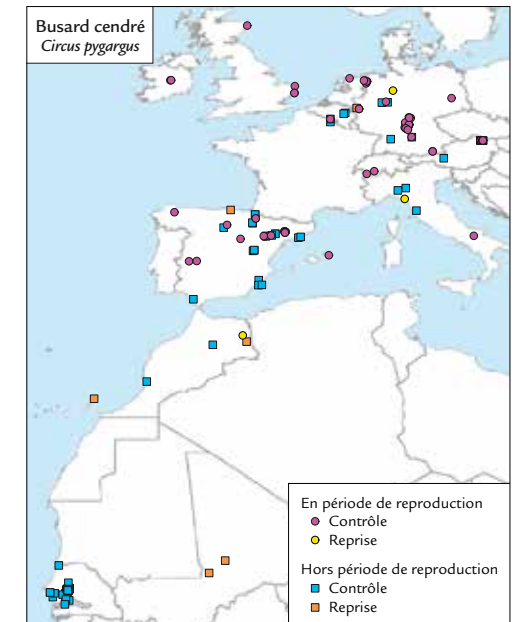


fig. 9. Localisation des contrôles ( $n=212$ ) et des reprises ( $n=10$ ) de Busards cendrés *Circus pygargus* nés en France et retrouvés à l'étranger, en fonction de la période du cycle biologique (période de reproduction : 15 avril-15 juillet). Localization of controls ( $n=212$ ) and recoveries ( $n=10$ ) of Montagu's Harriers born in France and observed abroad, according to their life cycle period : violet circles = controls during breeding period ; blue squares = recoveries during breeding period ; yellow circles = controls outside breeding period ; orange squares = recoveries outside breeding period ; breeding period = 15 April-15 July).

Ces prospections en zone sahélienne du Sénégal ont révélé un sex-ratio déséquilibré en faveur des mâles, qui est corroboré par les comptages sur les pré-dortoirs hivernaux et les contrôles d'oiseaux marqués en Afrique (données non publiées).

De surcroît, ces prospections nous ont permis de mettre en évidence une relation à large échelle spatiale entre la répartition et l'abondance des Busards cendrés et l'abondance en insectes orthoptères (AUGIRON *et al.* 2015, SCHLAICH *et al.* 2016), comme c'est le cas en période de reproduction avec le Campagnol des champs (SALAMOLARD *et al.* 2000, MILLON & BRETAGNOLLE 2008). Parallèlement au programme de marquage, un nombre important de balises Argos et/ou GPS sur des Busards cendrés adultes, mâles et femelles, a



été déployé, notamment sous l'impulsion de nos collègues hollandais. Cela a contribué au progrès sensible de nos connaissances sur les stratégies d'hivernage de cette espèce (KLAASSEN *et al.* 2014, TRIERWEILER *et al.* 2014). Les Busards cendrés se reproduisant en France, en Espagne, au Royaume-Uni ou aux Pays-Bas hivernent dans la zone sahélienne entre le Sénégal et le Nigeria. Ces zones d'hivernage ont été identifiées par l'exploitation des données Argos, GPS et marques alaires. Les oiseaux en hivernage semblent se déplacer sur des distances comparables à celles parcourues en période de reproduction (moins de 100 km par jour, SCHLAICH *et al.* 2017). Au cours de l'hiver, les Busards cendrés font généralement face à une dégradation des conditions environnementales du fait de l'avancée de la saison sèche. En réponse à cette dégradation, les oiseaux tendent à changer de territoire au cours de l'hiver et à rechercher plus au sud des terrains où l'état de la végétation permet encore la survie de leurs proies principales (SCHLAICH *et al.* 2017).

#### AMPLEUR DES ACTIONS DE CONSERVATION ENTREPRISES

Le programme de marquage s'est appuyé sur le réseau de protection réparti sur la majeure partie de la distribution du Busard cendré en France. Depuis 2007 et la mise en place de la base de données nationale, 18934 jeunes Busards cendrés ont été suivis jusqu'à l'envol. Au cours de ces 10 années (2007-2016), ce ne sont pas moins de 10909 jeunes, soit 58%, qui se sont envolés grâce à une intervention de protection. La proportion de jeunes nécessitant une intervention varie d'une année à l'autre en fonction, d'une part de la phénologie de reproduction des busards (des campagnols en abondance permettent aux busards de pondre plus tôt) et d'autre part du calendrier des moissons, qui dépend du climat des six premiers mois de l'année, mais plus particulièrement des conditions météorologiques à la période des moissons (les pluies en juillet retardent la moisson). Cette proportion excède 50% au cours de 8 années sur 10 avec un pic de 72% enregistré en 2011, 42% en 2012 et 2016 (fig. 10). Le réseau de protection se concentre

sans doute sur les zones où les nids de busards présentent le plus de risques lors des moissons. Les chiffres présentés ci-dessus soulignent néanmoins l'ampleur de la protection et son absolue nécessité pour le maintien des populations dans les plaines céréalières françaises.

Depuis les années 1970 et les premières protections *in situ* mises en place en Lorraine, plusieurs méthodes ont été développées pour sauver les poussins non volants au moment de la moisson. Cela va du maintien d'un carré non moissonné autour du nid, avec ou sans grillage, jusqu'au transport en centre de soins, en passant par le déplacement du nid dans une parcelle voisine non moissonnée. Une analyse portant sur plus de 6000 nids a été réalisée pour évaluer l'efficacité des méthodes de protection actuelles les plus couramment utilisées : carré grillagé, déplacement avec grillage, carré non grillagé, déplacement sans grillage et signalisation du nid par des fanions avant moisson (SANTANGELI *et al.* 2015 ; photos 5 & 6). Les résultats de cette analyse sont clairs : la pose d'un grillage, qui protège la nichée à la fois de la moisson et de la prédation, améliore considérablement l'efficacité de la protection. Le succès reproducteur d'un nid dans un carré grillagé est trois fois supérieur à celui d'un nid protégé par un carré non grillagé, et par conséquent rendu plus détectable après moisson pour les prédateurs terrestres (chien, renard, etc.). De manière intéressante, le succès reproducteur des nids grillagés n'est pas affecté par leur déplacement, preuve de la plasticité comportementale de cette espèce. Le déplacement non grillagé dans une parcelle non moissonnée (et offrant donc toujours une protection contre les prédateurs) donne des résultats tout à fait satisfaisants, bien qu'inférieurs au déplacement avec grillage. La prédation suite à la moisson de la végétation, dont la surface homogène autour du nid agit comme un rempart contre les prédateurs, est donc un facteur primordial à prendre en compte dans la mise en place de la protection des nids. La méthode la plus couramment utilisée actuellement est l'utilisation d'une cage grillagée sur 5 faces de 1 m à 1,5 m de côté (le fond est grillagé en plus des quatre côtés). Cette technique, en

plus d'assurer une meilleure protection envers les prédateurs, en empêchant ceux-ci de creuser sous le grillage, facilite les éventuels déplacements par rapport à un grillage classique, le nid étant déplacé dans la cage.

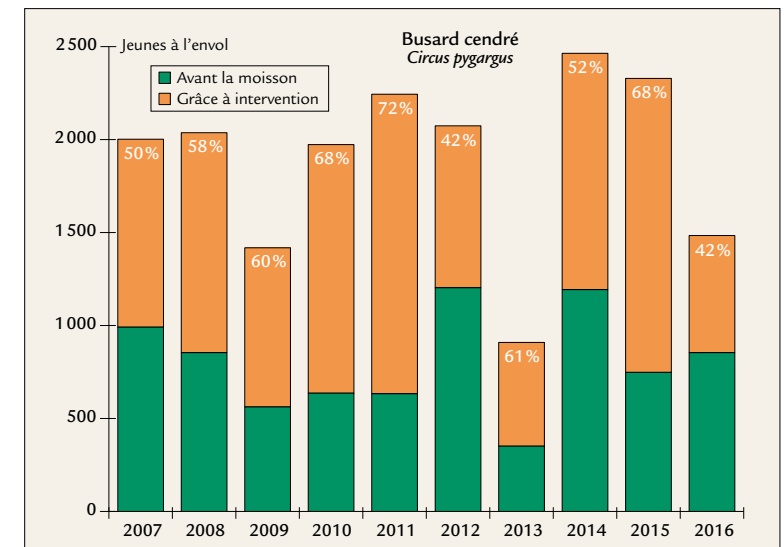
Nous avons également comparé la distribution spatiale de l'effort de protection à celle de la densité de nids de Busard cendré, prédite à partir des données de l'enquête Rapaces nicheurs de France (THIOLLAY & BRETAGNOLLE 2004, SANTANGELI *et al.* 2015). Cette analyse indique que la protection gagnerait à être renforcée au sein des noyaux denses de populations, où certains protecteurs peuvent gérer plusieurs dizaines de nids chacun. D'un point de vue éthologique, le comportement des femelles vis-à-vis des personnes visitant leurs nids a été relevé depuis 1995, soit sur une période correspondant à 4-5 générations de busard (ARROYO *et al.* 2017). Au cours de cette période, la proportion de femelles agressives tend à augmenter au détriment des femelles qui quittent le site de nid sans comportement de défense (alarme, simulacre d'attaque, etc.). Une analyse a en outre montré que la fréquence des visites de nid diminue le succès reproducteur des femelles « démissionnaires », mais pas celui des femelles agressives, suggérant que la protection des nichées a sélectionné ces dernières.

#### ÉTAT DES POPULATIONS DE BUSARD CENDRÉ EN FRANCE

Nous souhaitons ici revenir sur l'estimation de la taille de la population du Busard cendré en France, parue dans l'Atlas des oiseaux de France (ISSA & MÜLLER 2015). L'estimation présentée dans cet ouvrage, à savoir 5 600-9 000 couples, prête à croire à une augmentation massive des effectifs de Busard cendré en comparaison à l'estimation proposée dans l'Atlas des rapaces nicheurs de France (THIOLLAY & BRETAGNOLLE 2004), qui était de 3 800-5 100 couples (MILLON *et al.* 2004). Ces deux estimations sont pourtant fondées sur les données de l'enquête Rapaces. La raison essentielle de cette divergence repose en réalité sur le type d'observations retenues : uniquement les couples nicheurs certains et probables dans THIOLLAY & BRETAGNOLLE (2004), alors que dans la thèse de LE REST (2013), les nicheurs possibles sont également pris en compte ; or ce sont les estimations de cette dernière référence (qui portait sur la comparaison de méthodes statistiques d'estimation et non sur la taille des populations *per se*) qui ont été utilisées pour définir la fourchette de l'Atlas des oiseaux nicheurs de France.

L'observation d'un individu dans un biotope adéquat et à une date correspondant à la saison de

fig. 10. Nombre de jeunes Busards cendrés *Circus pygargus* à l'envol surveillés par le réseau entre 2007 et 2016. Les barres vertes représentent le nombre de jeunes envolés avant la moisson, les barres orange le nombre de jeunes ayant nécessité une intervention (la proportion de jeunes ayant ainsi été sauvés est indiquée). Annual number of Montagu's Harriers fledglings, monitored from 2007 to 2016 (green bars = number of fledglings having left the nest before crop harvesting; orange bars = number of fledglings having required human rescue, with annual proportion of saved young at the top of each bar).



reproduction suffisait à mentionner un indice possible lors de l'enquête Rapaces nicheurs de France. Pour évaluer au mieux la taille de la population nationale, il faut prendre en compte le comportement erratique des individus non nicheurs ou ayant échoué précocement (ces derniers peuvent représenter une part importante de la population lors des années à faible abondance de campagnols) et l'étendue du domaine vital des mâles, dont les distances au nid peuvent excéder 20 km, comme cela a été révélé par les suivis d'oiseaux en chasse par balise GPS. Pour ces raisons, la restriction aux seuls couples certains et probables, qui correspondent à l'observation de comportements reproducteurs, s'avère la plus pertinente pour modéliser l'abondance et la distribution de l'espèce (THIOLLAY & BRETAGNOLLE 2004). De là provient donc la différence importante entre les deux estimations, qui ne correspond en rien à une augmentation de la population de 2004 à 2015. Pour ce qui est des tendances de populations de rapaces, Le Rest, Pinaud et Bretagnolle les ont

produites à plusieurs reprises dans la revue *Rapaces de France*, le bulletin de la Mission Rapaces de la LPO (<http://observatoire-rapaces.lpo.fr>). Depuis 2000-2002, années de la collecte des données de l'enquête Rapaces nicheurs de France, l'analyse des données collectées par l'observatoire Rapaces, ainsi que celles utilisant les paramètres démographiques (survie, fécondité, proportion d'oiseaux reproducteurs) estimées à partir des données collectées dans le cadre du programme national de marquage, indiquent toutes deux une érosion des effectifs de l'ordre de 1 à 3% par an. L'incertitude autour des estimations de ce taux de décroissance, notamment due à la forte variabilité interannuelle en lien avec l'abondance des campagnols, ne permet toutefois pas d'exclure que la population de Busard cendré demeure stable en France. En partant de la médiane de l'estimation de 2002 (4450 couples), un déclin annuel de 1% produirait une taille de population du Busard cendré en 2017 de 3 800 couples. Mais cette projection gagnerait à être vérifiée sur le terrain...

5. Nid de Busard cendré *Circus pygargus* protégé à l'aide d'une cage en grillage lors de la moisson d'une parcelle de blé, Champagne, juillet 2015 (Jean-Luc Bourrioux). *Nest of Montagu's Harrier protected with a wire cage at the time of harvest of a wheat crop, France.*



#### LA VIE DU RÉSEAU ET LES PERSPECTIVES POUR LA PROTECTION DES BUSARDS EN MILIEU AGRICOLE

Le réseau dédié à la protection des busards en France est sans nul doute un exemple unique en Europe, et certainement au monde, de par son ampleur et sa longévité. Ce réseau n'a eu de cesse de se développer en termes de nombres de couples suivis et de régions prospectées depuis 1975, pour atteindre puis dépasser le millier de nids suivis au début des années 1990 et s'étendre ensuite aux deux autres espèces (Busard Saint-Martin et Busard des roseaux). Il est constitué de 400 à 600 personnes chaque année, qui écumant les plaines céréalières à la recherche des busards et des agriculteurs exploitant les parcelles où des couples s'installent. Au total, plus de 800 personnes ont participé au programme de marquage de poussins entre 2007 et 2010, une initiative qui a largement redynamisé un réseau qui tendait à s'essouffler depuis 2000. Protéger

sans étudier reste possible, même si l'on protège d'autant mieux ce que l'on connaît en profondeur, mais étudier sans protéger est impossible. Voilà résumées les principales préoccupations à concilier lorsque nous voulons animer un réseau de plusieurs centaines d'acteurs pour obtenir des résultats scientifiquement pertinents.

La rigueur demandée lors des prises de mesures n'est pas moins importante que l'attention requise lors de l'approche d'un nid ou du contact avec un agriculteur. Depuis la formation des participants « marqueurs » (une quarantaine de personnes qui n'avaient pas forcément les préoccupations du protecteur) à la prise en considération de données abstraites pour les surveillants (localisation GPS des nids, mesures biométriques sur les poussins et leur collecte standardisée via des fichiers informatiques), le rapprochement de deux « mondes » reste avant tout une aventure humaine.

S'il est une originalité propre à ce réseau, c'est sans doute l'autonomie et l'isolement de chaque protecteur au moment de l'action. Mais savoir

6. Jeunes Busards cendrés *Circus pygargus* marqués, autour de leur nid, protégé par une cage en grillage, Champagne, juillet 2008 (Alain Balthazard). *Wing-tagged Montagu's Harrier fledglings, near their nest, protected with a wire cage in a harvested wheat field, France.*







7. Busard cendré *Circus pygargus*, mâle et femelle, Aude, avril 2016 (Christian Aussaguel). *Male and female Montagu's Harrier.*

dans ces moments de solitude que d'autres protecteurs œuvrent pour la même cause a permis de constituer un réseau de plusieurs centaines d'acteurs et de le pérenniser sur plusieurs décennies. Nous avons vu les outils de communication se développer, et c'est certainement encore là que nous pourrions progresser. Mieux se comprendre pour mieux comprendre les forces qui animent les oiseaux et les hommes ! La répartition des pôles de distribution de l'espèce sur lesquels nous nous sommes appuyés, a permis de dessiner une dizaine de grandes régions dans lesquelles le travail des coordinateurs s'est avéré primordial. Sans ces organisations régionales, il aurait été impossible d'arriver à marquer autant d'oiseaux. Nous pouvons toujours regretter de ne pas avoir réussi à nous organiser plus uniformément. Le « Grand Sud », qui accueille des nids de busards en garrigue, n'était pas aussi facile à fédérer, dans la mesure où les « busardeux » n'y trouvent pas la

motivation de ceux des plaines agricoles, où la destruction des nids au moment de la moisson reste un moteur, hélas, durable. Mais dans l'ensemble, le travail réalisé correspond bien à celui envisagé au départ, et a même permis de développer des actions dans nombre de secteurs qui n'attendaient qu'une impulsion pour continuer. La difficulté réside souvent dans la poursuite des actions, et dans le cas présent, au-delà de l'élan donné par le programme de marquage. La durée de « survie » d'un protecteur ne dépasse guère trois années, dont une pour s'initier et une pour comprendre que ce n'est pas facile... Par contre, des « piliers » (nous pouvons en compter une cinquantaine) qui dépassent les 20 années de service, font que l'édifice perdure. Ils trouvent chaque année la ressource pour dépasser les déconvenues des mauvaises années et entraînent ainsi des « petits nouveaux ». Comment trouver un nouvel élan après ce programme ambitieux est la question

qui nous occupe actuellement, de sorte que nos plaines agricoles restent encore animées... Nous pensons que la réponse se trouve dans la fructueuse interaction entre protecteurs scientifiques et scientifiques protecteurs.

### Quelles actions fédératrices pourrait-on développer d'ici à l'horizon 2020 ?

Dans un premier temps, une enquête dédiée aux trois espèces de busards, comme celle réalisée en 2010 parallèlement au programme de marquage, et sur la base du protocole de l'enquête Rapaces nicheurs, apporterait un éclairage intéressant sur la dynamique de ces trois espèces et permettrait de valider, ou non, leur déclin supposé. Un échantillonnage partiellement centré sur les carrés suivis lors de la première enquête Busards permettrait en outre de corrélérer l'évolution de l'habitat agricole, et des pratiques culturelles associées, à celle des busards à l'échelle d'une décennie.

L'évolution constante de l'agriculture, et particulièrement des pratiques liées à la production de céréales ont un impact direct sur les busards. L'interaction avec les changements climatiques laisse présager une dégradation des conditions environnementales pour les busards à l'avenir. Par exemple, l'augmentation des températures prédite pour la première moitié du XXI<sup>e</sup> siècle pourrait avancer les dates de moissons du blé ou de l'orge d'hiver de 2 à 3 semaines, soit un rythme que les busards auront probablement du mal à soutenir en anticipant leur date de ponte (MILLON & CORNU-LIER, données non publiées). De même, une modification drastique des pratiques culturelles dans la région du Sahel est à craindre. On assiste en particulier au brûlis des dernières savanes naturelles utilisées comme dortoir et réservoir en ressources alimentaires. Les conséquences du contrôle des populations de criquets par la lutte chimique et biologique sur les conditions d'hivernage de l'espèce seront à surveiller de près également. Ce constat plaide pour la mise en place, à la suite du programme de marquage des poussins, d'un observatoire démographique. Ce programme devra intégrer le suivi annuel des taux de survie mesurés sur les sites de marquage d'adultes et du taux de fécondité issus des données fournies

par le réseau Busards. Allié à l'estimation des densités de couples nicheurs via l'Observatoire Rapaces (<http://observatoire-rapaces.lpo.fr/>), cet outil permettrait un suivi précis de la dynamique de la population française, tout en identifiant les paramètres démographiques à l'origine d'une éventuelle tendance.

Outre cet aspect de surveillance, il est bien entendu crucial de réfléchir à des leviers efficaces en termes de conservation. L'engouement sociétal et scientifique autour de cette espèce, véritable étendard de la protection de la biodiversité au sein des plaines céréalières, qui se traduit par un suivi d'une ampleur unique, couvrant l'écologie de l'espèce dans ses zones de reproduction européennes comme dans ses zones d'hivernage au Sahel, plaide pour la constitution d'un plan d'action ambitieux à l'échelle européenne. Un suivi intensif de l'utilisation de l'espace, via la pose de balises GPS, en collaboration entre les Pays-Bas (<http://werksgroepgrauwekiekendief.nl>) et la France est en cours. Un groupe dynamique s'est constitué en Pologne depuis quelques années, dans un pays où, depuis son intégration à l'Union Européenne, l'évolution agricole est considérable. Un programme de marquage y est en cours qui utilise l'interface *Busards.com*. Des passionnés œuvrent également au Danemark, en Allemagne, en Autriche, en Hongrie, en Ukraine et en Russie. La population relique anglaise est également suivie de près par la RSPB. À terme, un programme de marquage de poussins depuis l'Espagne jusqu'à la Pologne apporterait des informations cruciales sur le fonctionnement des populations européennes. L'utilisation de nouveaux outils technologiques à faible consommation en énergie permettant de suivre à bas coût les déplacements des individus permettra peut-être dans un avenir proche de suivre les mouvements d'un grand nombre d'individus (des centaines ?), depuis leur naissance jusqu'à leur mort. Pour conclure, tout est réuni pour la mise en place de mesures de conservation ambitieuses à l'échelle de l'Europe, tirant avantage des suivis réalisés dans les différents pays, tout particulièrement en France, afin d'assurer la préservation des busards et de la biodiversité associée aux plaines céréalières.

## REMERCIEMENTS

Cet article est l'occasion de remercier chaleureusement l'ensemble des personnes (protecteurs, bagueurs, observateurs, etc.) qui ont fait, font ou feront partie à ce moment du réseau Busards et ont ainsi contribué à cet ambitieux programme; la liste est disponible sur <https://www.imbe.fr/alexandre-millon.html#tabs-2>. Nous tenons à préciser que la coordination de ce programme s'est effectuée de manière entièrement bénévole, sans autre financement qu'une contribution (3 000 €) du CNRS de Chizé pour la fabrication des marques.

## BIBLIOGRAPHIE

• ARROYO B.E., MOUGEOT F. & BRETAGNOLLE V. (2017). Individual variation in behavioural responsiveness to humans leads to differences in breeding success and long-term population phenotypic changes. *Ecology Letters* 20: 317-325. • AUGIRON S., GANGLOFF B., BRODIER S., CHEVREUX F., BLANC J., PILARD P., COLY A., SONKO A., SCHLAICH A., BRETAGNOLLE V. & VILLERS A. (2015). Winter spatial distribution of threatened acridivorous avian predators: implications for their conservation in a changing landscape. *Journal of Arid Environments* 113: 145-153. • CHADŒUF J., MILLON A., BOURRIOUX J.-L., PRINTEMPS T., VAN HECKE B., LECOUSTRE V. & BRETAGNOLLE V. (2017). Modelling unbiased dispersal kernels over continuous space by accounting for spatial heterogeneity in marking and observation efforts. *Methods in Ecology and Evolution* 2017 ([doi.org/10.1111/2041-210X.12872](https://doi.org/10.1111/2041-210X.12872)). • ISSA N. & MÜLLER Y. (2015). Atlas des oiseaux de France métropolitaine. Nidification et présence hivernale. Delachaux & Niestlé, Paris. • KLAASSEN R.H.G., HAKE M., STRANDBERG R., KOKS B.J., EXO K., BAIRLEIN F. & ALERSTAM T. (2014). When and where does mortality occur in migratory birds? Direct evidence from long-term satellite tracking of raptors. *Journal of Animal Ecology* 83: 176-184. • LE REST K. (2013). Méthodes statistiques pour la modélisation des facteurs influençant la distribution et l'abondance de populations: application aux rapaces diurnes nichant en France. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement, Université de Poitiers. • MILLON A. (2006). Influence de la Variation Cyclique des Proies sur un Prédateur. Approches individuelle et populationnelle du système Busard cendré/Campagnol des champs. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris VI, spécialité Écologie, Chizé. • MILLON A. & BRETAGNOLLE V. (2008). Predator population dynamics under a cyclic prey regime: numerical responses, demographic parameters and growth rates. *Oikos* 117: 1500-1510. • MILLON A., BOURRIOUX J.-L., RIOLS C. & BRETAGNOLLE V. (2002). Comparative breeding biology of Hen Harrier and Montagu's Harrier: an 8-year study in north-eastern France. *Ibis* 144: 94-105. • MILLON A., BRETAGNOLLE V. & LEROUX A.B.A. (2004). Busard cendré. In THIOLLAY J.-M. & BRETAGNOLLE V. (eds), *Rapaces nicheurs de France. Distribution, effectifs et conservation*. Paris, Delachaux & Niestlé: 70-74. • SALAMOLARD, M., BUTET A.,

LEROUX A.B.A. & BRETAGNOLLE V. (2000). Responses of an avian predator to variations in prey density at a temperate latitude. *Ecology* 81: 2428-2441. • SANTANGELI A., ARROYO B., MILLON A. & BRETAGNOLLE V. (2015). Identifying effective actions to guide volunteer-based and nationwide conservation efforts for a ground-nesting farmland bird. *Journal of Applied Ecology* 52: 1082-1091. • SCHLAICH A.E., KLAASSEN R.H.G., BOUTEN W., BRETAGNOLLE V., KOKS B.J., VILLERS A. & BOTH C. (2016). How individual Montagu's Harriers cope with Moreau's Paradox during the Sahelian winter. *Journal of Animal Ecology* 85: 1491-1501. • THIOLLAY J.-M. & BRETAGNOLLE V. (eds). (2004). *Rapaces nicheurs de France. Distribution, effectifs et conservation*. Delachaux & Niestlé, Paris. • TRIERWEILER C., KLAASSEN R.H.G., DRENT R.H., EXO K., KOMDEUR J., BAIRLEIN F. & KOKS B.J. (2014). Migratory connectivity and population specific migration routes in a long-distance migratory bird. *Proceedings of the Royal Society B* 281: 20132897 ([doi.org/10.1098/rspb.2013.2897](https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2897)). • ZUBEROGOTIA I., ARROYO B.E., O'DONOGHUE B., ZABALA J., MARTINEZ J., MARTINEZ J. & MURPHY S. (2012). Standing out from the crowd: are patagial wing tags a potential predator attraction for harriers (*Circus spp.*)? *Journal of Ornithology* 153: 985-989.

## SUMMARY

**Ten years after: synthesis of the national tagging scheme on Montagu's Harriers in France.** From 2007 to 2010, an ambitious wing-tagging program of juvenile Montagu's Harriers has been carried out by a network of volunteers in France, aiming at tackling the species' demography at a large spatial scale. Overall, 5 405 chicks have been marked just prior to fledging across almost the entire distribution range in France and, 10 years after, 6 777 observations of 1 109 different birds have been collected, in France and abroad. Analyses of such data have allowed us to quantify the species' dispersal scale, showing that 50% of the observations were made further than 80 km from the birth nest. Natal dispersal events of females, and to a lesser extent of males, occurred among the three main breeding areas of the species in the country (central-west, north-east, south). Demographic models, built with survival and fecundity data gathered during this program, suggest the French population is probably slightly declining. Finally this citizen-science program, based on a network of 400 volunteers each year, has revitalised a critically-needed conservation action: between 2007 and 2016, a total of 10 909 chicks have been saved from harvesting activities (58% of the total number of fledglings monitored). Ten years after the launch of this program, these results plead for a broader conservation plan for harriers at the European scale.

Contact: Alexandre Millon  
([alexandre.millon@imbe.fr](mailto:alexandre.millon@imbe.fr))