

Alauda

Revue internationale d'Ornithologie

www.mnhn.fr/assoc/seof/



SEOF



Volume 75

Numéro 3

Année 2007

Société d'Études Ornithologiques de France
Muséum National d'Histoire Naturelle

QUINZE ANNÉES DE SUIVI DE RAPACES PAR SATELLITE

Bernd-U. MEYBURG⁽¹⁾ & Christiane MEYBURG⁽²⁾

15 years' satellite tracking of raptors. Satellite telemetry has revolutionised the study of raptor migration and life histories, and will do so even more in the future. This is because the tracking systems can regularly estimate and record an individual's location worldwide over a period of several years.

To begin with we give a short overview of the development of the technical side of satellite telemetry and the present state of the art. This can be divided into three phases: the period during which only battery-powered transmitters with Doppler locating were available, the period during

which solar-powered transmitters with Doppler locating were used, and finally the period during which transmitters with GPS locating could be employed (TAB. I). The paper includes project planning tips for those putting this technical equipment to use. In addition, there is an overview of the questions for which the use of this technique can provide answers or has already done so (TAB. III). Finally we report on a few highlights of our own telemetry results, based on the monitoring of 146 individuals of 14 different species which we fitted with transmitters between 1992 and 2007 (TAB. II).

Mots clés : Rapaces, Aigles, Télémétrie satellitaire, Suivi par satellite, GPS, Migration.

Key words : Raptors, Birds of prey, Satellite telemetry, Satellite tracking, GPS, Migration.

⁽¹⁾ Wangenheimstr. 32, D-14193 Berlin, Allemagne (BUMeyburg@aol.com).

⁽²⁾ 31 Avenue du Maine, F-75015 Paris (Schwarzmilan@aol.com).

INTRODUCTION

Les oiseaux migrateurs posent des problèmes spécifiques de protection. Le comportement migratoire rend les recherches difficiles, le baguage classique ne fournissant que des informations partielles sur les voies de migration et les zones d'hivernage.

La télémétrie par satellite a révolutionné l'étude des migrations et du comportement des rapaces et le fera encore davantage dans l'avenir (MEYBURG & FULLER, 2007). Les systèmes de suivi satellitaires d'animaux peuvent collecter et archiver les positions de ceux-ci dans le monde entier pendant de nombreuses années. Cette tech-

nique a commencé à être appliquée aux oiseaux dans les années 80, mais se trouvait encore à un stade expérimental au début des années 90. C'est seulement en 1992 que des émetteurs suffisamment petits et légers permettant d'équiper des espèces de grande taille furent commercialisés et nous avons donc pu commencer nos recherches en ce domaine. Jusqu'à une date récente cette technique était uniquement basée sur les émissions hertziennes du système ARGOS.

Les balises munies de capteurs GPS sont maintenant suffisamment miniaturisées pour pouvoir être utilisées en ornithologie. Les localisations obtenues actuellement, d'une précision de quelques dizaines de mètres seulement,



TABLEAU I.— Les principales phases de progrès technique de la télémétrie satellitaire (les dates indiquées concernent les espèces de taille moyenne, comme le Balbuzard pêcheur).

The three phases of the technical development of satellite telemetry: data shown is for the time period applicable to middle-sized species such as the Osprey.

| DATES | TYPE D'ÉMETTEUR ARGOS | REMARQUES |
|-------------|--|---|
| 1992-1995 | Balises à piles et localisations "Doppler" | Espérance de vie des balises d'un an environ avec une programmation d'émission de quelques heures espacées de plusieurs jours. 100 -150 localisations par an au maximum |
| 1995-2003 | Balises à énergie solaire et localisations "Doppler" | Espérance de vie des balises de plusieurs années (un cas de plus de 7 ans) fournissant des milliers de localisations ARGOS par an lorsque l'ensoleillement est suffisant, permettant d'étudier la migration |
| Depuis 2004 | Balises à énergie solaire avec GPS incorporé | Localisations d'une précision de quelques dizaines de mètres permettant d'analyser les comportements de manière détaillée |

permettent d'étudier le comportement territorial, l'utilisation du milieu naturel et les stratégies alimentaires (MEYBURG *et al.* 2006; MEYBURG & FULLER, 2007). Dans de nombreux cas la technique satellitaire GPS remplacera en raison de sa qualité la télémétrie terrestre (VHF tracking).

On peut distinguer trois phases principales dans l'évolution technologique de la télémétrie satellitaire (TS). Ces périodes, pour l'étude des espèces de taille moyenne comme le Balbuzard pêcheur *Pandion haliaetus*, sont résumées dans le Tableau I.

MÉTHODES DE SUIVI DES RAPACES PAR SATELLITE

Le système ARGOS

La TS pour les recherches sur les rapaces utilise le système ARGOS. Les oiseaux doivent pouvoir être équipés d'émetteurs, nommés balises ou plates-formes (PTT), d'un poids de 5 g ou plus. Le système ARGOS fournit des estimations de la position géographique de la balise ainsi que des données techniques fournies par ses capteurs (p. ex. voltage des piles, activité, température, pression atmosphérique) partout dans le monde. Le manuel des utilisateurs ARGOS décrit le mode d'opération avec plus de détails (<https://www.argos-system.org/manuel/>).

Estimations de la position des émetteurs par ARGOS

Les balises sont localisées grâce à l'effet Doppler. Des satellites ARGOS en orbite polaire sont munis de récepteurs. Lorsque le satellite s'approche du PTT, la fréquence de réception est plus élevée que la fréquence nominale de transmission (401.650 MHz) alors que des fréquences inférieures seront reçues lorsque le satellite s'éloigne du PTT. Au point d'inflexion de la courbe Doppler, lorsque les fréquences de réception et de transmission sont égales, la trace au sol du satellite se trouve à la verticale du PTT. Le système calcule alors deux positions possibles de la balise, symétriques de chaque côté de sa trace. ARGOS sélectionne l'une de celles-ci comme étant la plus plausible, mais ce sont les biologistes qui doivent confirmer la validité de ce choix.

Les chercheurs doivent examiner minutieusement la qualité des localisations calculées par le système avant de les utiliser pour leurs analyses. La validation des données se fait selon des critères de comportement de l'oiseau (p. ex. vitesse maximale, mouvements locaux ou migratoires) ainsi que les paramètres techniques fournis par ARGOS (nombre de messages reçus pendant le passage, stabilité de la fréquence du PTT). Les localisations fournies ne sont que des estimations dont la précision varie selon des facteurs en grande partie inconnus (MEYBURG & FULLER, 2007).



Les données brutes (messages codés) collectées par les satellites sont transmises aux centres de traitement en France et aux États-Unis. Les résultats obtenus par les centres de traitement, c'est-à-dire les localisations des balises et des informations qualitatives sur leur précision, sont accessibles pour les propriétaires des balises sous différents formats. Les frais sont calculés selon le nombre d'heures d'activité de chaque PTT par jour et le mode de distribution des données souhaité: automatique par courriel, fax, accès direct par les utilisateurs via Telnet ou le site Internet d'ARGOS ainsi que CDs mensuels. Les utilisateurs peuvent accéder à leurs données sur leur ordinateur moins de quatre heures après la détection de la balise par un satellite.

Localisations GPS

Le système GPS (Global positioning system) localise les balises avec une précision de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Un capteur GPS peut être intégré dans un émetteur ARGOS. Ce capteur reçoit les transmissions d'au moins quatre satellites calculant la position du PTT (en trois dimensions pour les balises de 35 g ou plus). Le GPS peut être programmé pour collecter ces données à des intervalles réguliers; elles sont transmises en messages codés par le système ARGOS jusqu'aux utilisateurs. Le nombre de messages reçus varie en fonction de nombreux facteurs (conditions météorologiques, émissions hertziennes locales, degré de fermeture des milieux fréquentés, champs électromagnétiques). Ceci permet d'étudier de nombreux paramètres qu'il était impossible de connaître auparavant (dimension du territoire, utilisation du milieu naturel dans la zone de nidification) ainsi que pour le comportement migratoire, l'altitude, la direction et la vitesse de vol (FIG. 1). Les balises équipées de GPS incorporés utilisent beaucoup d'énergie et il y a des limites considérables de taille, de poids et de longévité lorsque l'on utilise des piles pour les PTTs aviaires. Les balises à piles les plus légères obtenant des localisations GPS ont actuellement un poids de 45 g. D'après notre expérience leur durée de vie est d'un an à peine si leur programmation donne une localisation par jour. Par contre, celles utilisant des cellules photovoltaïques miniatures captant l'énergie solaire, ont un poids qui s'est maintenant réduit à 22 g seulement (2007) et elles peuvent théoriquement fournir une position GPS chaque heure.

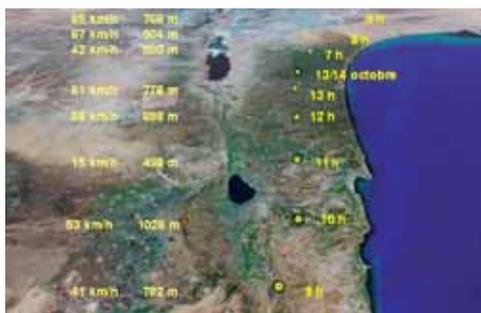


FIG. 1.— Photo satellite d'Israël, prise dans la direction de vol vers le sud (Méditerranée à droite) d'un Aigle pomarin adulte en migration d'automne (PTT 23 196). Les localisations GPS ont été obtenues à chaque heure exacte (GMT) et fournissent également la vitesse de vol ainsi que l'altitude de l'oiseau (indiquées à gauche). Le dortoir utilisé la nuit du 13 au 14 octobre était proche de Jérusalem.

Satellite photo of Israel (Mediterranean on right) showing an oblique view in flight direction of an adult male Lesser Spotted Eagle (with PT 23 196) on passage on 13 and 14 October 2005. The marked points represent the GPS fixes made on the hour (in GMT), with the flight speed and height a.s.l. on the left. Also shown is the night roost on 13/14 October near Jerusalem.

Sélection de la balise

La décision de choisir un type de balise est fonction de l'impact sur le comportement de l'oiseau selon sa taille, son poids et mode de fixation. Les besoins en énergie de la TS pour la transmission des données font que la limite inférieure de poids requise pour les balises solaires à localisations "Doppler" est, à l'heure actuelle, de 5 g environ. Le poids de l'émetteur augmentant la dépense physique que l'oiseau doit fournir pour se déplacer, la dimension des accus et la superficie requise par les cellules solaires sont des facteurs déterminants pour la configuration de la balise. Le poids de la balise et de son harnais en ruban de Téflon ne doivent atteindre qu'au grand maximum 3 % du poids de l'oiseau (MEYBURG & FULLER, 2007).

Lors de la planification d'une étude le choix entre les émetteurs fonctionnant avec des piles ou avec énergie solaire est prioritaire. Les PTTs à piles sont généralement très fiables mais ont une durée de

fonctionnement relativement limitée. Les études à long terme (plus de trois ans) sont donc impossibles. Nous avons pu recevoir des localisations pendant 6 à 18 mois en utilisant des balises à piles de 30-90 g, selon la fréquence de réception des signaux qui avait été choisie. Les balises à énergie solaire peuvent fournir des localisations pendant de nombreuses années mais la régularité des transmissions dépend de l'intensité de l'insolation qui doit recharger les accus suffisamment pour permettre l'émission des signaux radio. Le GPS incorporé utilise encore davantage d'énergie, ce qui aggrave les problèmes de réception et de collecte des données. Il est très important de s'assurer que les plumes de l'oiseau ne risquent pas de recouvrir les cellules solaires car une luminosité insuffisante n'en permet pas le fonctionnement adéquat. Il en est de même en ce qui concerne les oiseaux vivant principalement sous la canopée ou nichant dans des cavités.

Il est également important de prendre en compte les objectifs de l'étude et les contraintes budgétaires avant de prendre une décision. Le prix d'une balise classique était d'environ 3000 US \$ en 2007, la version GPS en coûtant environ 4000. Les frais de réception des localisations peuvent égaler ou dépasser le prix du PTT selon la programmation choisie et le type d'utilisation des services ARGOS.

Les raisons de la fin des transmissions

Les fabricants peuvent programmer une balise afin qu'elle cesse de transmettre au bout d'un certain temps mais la plupart des chercheurs souhaitent probablement recevoir des localisations aussi longtemps que possible. Les balises à piles fournissent des informations sur le voltage qui permettent de suivre la baisse d'énergie. Il est cependant fréquent que les transmissions cessent plus tôt que prévu sans raison apparente. Il est souvent très difficile et complexe de déterminer les causes de l'interruption dans la réception des signaux.

Les oiseaux juvéniles et immatures meurent souvent de "causes naturelles" ou sont victimes de persécutions. Les adultes sont aussi les victimes de graves persécutions dans de nombreuses régions du globe ou meurent par électrocution, collisions... Nous avons cependant pu prouver dans de nombreux cas par l'observation directe des oiseaux, en

les capturant de nouveau ou en les trouvant morts longtemps après l'arrêt des émissions, que les balises à énergie solaire avaient cessé leur activité alors que les oiseaux étaient encore vivants. En certains cas, ni nous, ni le fabricant n'ont pu en trouver la raison. Les programmes de recherches doivent prendre en compte les facteurs de mortalité des oiseaux équipés de balises ainsi que les probabilités de pannes des émetteurs.

Notre record en ce qui concerne les PTTs à énergie solaire est un Aigle criard *Aquila clanga* femelle adulte qui a été équipé en juillet 1999 et qui transmet encore des données actuellement (août 2007). Un Aigle pomarin *Aquila pomarina* mâle adulte a transmis jusqu'au passage en Israël lors de sa migration de printemps, retournant vers son site de nidification presque six ans après sa capture. Il arriva un mois après en Allemagne et nous avons pu l'observer portant toujours sa balise dont l'antenne manquait. Un Balbuzard pêcheur a également perdu ou cassé l'antenne de sa balise quelques mois après en avoir été équipé. Il est plus facile de déterminer les raisons des pannes des émetteurs lorsque les adultes reviennent chaque année sur leur site de nidification.

La TS est l'une des nombreuses manières de marquer les rapaces. Nous recommandons aux personnes décidant d'utiliser cette technique de déterminer soigneusement leurs objectifs ainsi que les effets potentiellement indésirables sur les oiseaux et leurs implications sur les résultats avant de prendre une décision. La littérature fournit de nombreux exemples d'études pour lesquelles la télémétrie par satellite a permis d'obtenir des informations exceptionnellement précieuses.

QUELQUES RÉSULTATS DE NOS RECHERCHES

Il n'est naturellement pas possible d'évoquer ici tous les résultats obtenus lors de nos études par suivi satellitaire de près de 150 rapaces (cf. annexes TAB. II). Nous nous bornons donc à en mentionner quelques aspects intéressants. Le Tableau III (cf. annexes) présente une revue non exhaustive des divers domaines de la biologie des rapaces qui peuvent bénéficier des données obtenues grâce à la télémétrie par satellite.



Cycle annuel, durée et vitesse de migration

L'un de nos objectifs principaux était d'obtenir une image complète des déplacements des adultes pendant l'année: la durée exacte du temps passé en zones de reproduction, migrations et hivernage (FIG. 7). Ceci a été réalisé pour la première fois en 1994-1995 pour un mâle adulte d'Aigle pomarin suivi du Nord de l'Allemagne jusqu'à ses quartiers d'hivernage en Zambie (MEYBURG *et al.* 1995). C'était la première documentation de ce type réalisée pour un migrateur européen vers l'Afrique. Cet aigle a passé sept semaines et demi pour chacune de ses migrations sur une distance de près de 9000 km. Il a parcouru en moyenne 166 km par jour et ses deux routes automnales et printanières se sont révélées pratiquement identiques. Ses quartiers d'hivernage en Zambie ont couvert une superficie de 25000 km². Nous avons pu documenter les mouvements d'autres espèces pendant au moins une année entière, comme les Aigles des steppes *Aquila nipalensis*, criards, Balbuzards pêcheurs, Bondrées apivores *Pernis apivorus*, Milans noirs *Milvus migrans* et royaux *Milvus milvus*. Ces études n'ont été publiées que très partiellement.

Grâce aux balises à énergie solaire il a été possible de comparer les routes et le budget temps sur plusieurs années consécutives. Le suivi satellitaire d'un couple d'Aigles pomarins nichant au Nord-Ouest de la zone de répartition a fourni 3641 localisations au total. Quatre migrations automnales et deux printanières furent documentées en totalité entre 1997 et 1999. Le mâle a pris ses quartiers d'hiver en Zambie à 9300 km de son nid et la femelle à 11300 km, au Zimbabwe, Afrique du Sud et Mozambique. Elle a passé presque la moitié de l'année en migration (47,6 %) et seulement 9 % en hivernage. Le mâle a consacré 35,1 % de l'année aux migrations et 21,1 % à l'hivernage. Les migrations ont duré en moyenne 81 jours (52 -119 jours) les migrations d'automne étant nettement plus longues (74 -119 jours) que celles de printemps (52 -64 jours). La vitesse de migration a varié selon les années, mais aussi selon les zones de transit. Les plus longues étapes ont été enregistrées lors de la traversée du Sahara (jusqu'à 521 km en une journée), la vitesse moyenne la plus élevée atteignant 66,8 km/h.

Une femelle Milan noir adulte a fourni des résultats inverses en ce qui concerne la durée de

migration. Cet oiseau nichant en Thuringe au centre de l'Allemagne, muni d'une balise le 16 juin 2002, a fourni jusqu'à maintenant (automne 2007) plusieurs milliers de localisations "Doppler". Cinq hivernages, principalement dans le sud de la Mauritanie, et dix routes de migration ont pu être documentés entièrement. Elle a migré chaque année beaucoup plus rapidement en automne - la migration la plus rapide n'étant que de 17 jours (332 km/jour en moyenne) - qu'au printemps.

Voies de migration et zones d'hivernage inconnues jusqu'alors

L'Aigle de Wahlberg *Aquila wahlbergi* est une espèce fréquemment rencontrée dans de nombreuses régions d'Afrique, il n'y a cependant que très peu de retours de bagues et son comportement migratoire reste pratiquement inconnu. En Afrique méridionale, il disparaît après la saison de reproduction sans qu'on connaisse sa destination. Le premier suivi satellitaire d'un Aigle de Wahlberg entre février et novembre 1994 a apporté la preuve de sa migration transéquatoriale en Afrique. Cette femelle adulte ayant niché au Nord de la Namibie a été suivie par satellite sur une distance totale de 8816 km. Elle a migré à la fin de la saison de reproduction directement vers le Nord et visité le Nord du Cameroun, le Nord-Est du Nigeria et l'Ouest du Tchad. La distance entre la zone de nidification et celle du séjour en dehors de la période de reproduction a été de 3520 km. La migration vers le Nord prit un mois et celle vers le Sud dura deux semaines de plus (MEYBURG *et al.*, 1995).

Depuis 1995 onze Aigles criards adultes de Pologne ont fait l'objet de suivis satellitaires. Ils ont visité au moins cinq pays où ils n'avaient encore jamais, ou presque jamais, été observés par des ornithologues auparavant (Tchad, République Centre Africaine, Tanzanie, Zambie, Malawi). L'hivernage de deux mâles en Zambie est éloigné d'environ 1500 km des zones d'hivernage les plus au Sud connues jusqu'alors pour cette espèce (Kenya et Ouganda). Le premier mâle hiverna en Zambie en 1996-1997 et également en 1997-1998 et nous avons eu la preuve qu'il est resté exactement dans la même région ces deux hivers consécutifs. Lors de son premier hivernage il y resta 2 mois et demi (26 décembre 1996 - 9 mars 1997) au Nord-Est du Parc national de South Luangwa et y a fourni



114 localisations. L'hiver suivant il est revenu exactement sur les mêmes quartiers d'hiver et fut localisé 22 fois. Il est resté dans une zone de 22,75 km² seulement (6,5 x 3,5 km). Un second mâle a hiverné dans cette même région et de ce fait l'espèce a été incluse dans la liste des oiseaux de Zambie, ce qui représente probablement la première fois qu'une espèce n'ayant pas été observée visuellement au préalable est acceptée ainsi (MEYBURG *et al.*, 1998).

Fidélité aux zones d'hivernage

La plupart des rapaces sont très fidèles à leur site de reproduction et y reviennent chaque année. Ceci était cependant très peu connu en ce qui concerne l'hivernage. Nous avons pu constater pour toutes les espèces suivies plusieurs années (Aigle pomarin, criard, Balbuzard pêcheur, Aigles

des steppes, impérial *Aquila heliaca*, Milans noir et royal, Bondrée apivore) que les adultes revenaient généralement sur les mêmes quartiers d'hiver. Ceci a été prouvé en particulier pour un Aigle criard femelle adulte suivi depuis 1999 et qui est encore localisé en août 2007. Elle a hiverné chaque année dans le Delta du Göksu en Turquie où il a été également possible de l'observer et de la photographier pendant deux ans. Alors que la plupart des espèces ont des quartiers d'hiver de superficie relativement restreinte, les Aigles pomarins ont un comportement de nomades et parcourent souvent plusieurs milliers de kilomètres lors de leur hivernage dans le Sud de l'Afrique. Nous avons cependant pu constater qu'ils visitent aussi toujours les mêmes régions (MEYBURG *et al.* 2004) (FIG. 2).

FIG. 2.— Photographie satellite montrant les 963 localisations GPS de la femelle Aigle pomarin adulte portant le PTT 41 861 (Jaune = Décembre, rouge = Janvier et bleu = Février) pendant toute la durée de son hivernage du 9 décembre 2004 au 20 février 2005 et couvrant une superficie de 76.000 km² en Namibie et au Botswana entre le Delta de l'Okavango (à droite sur la photo), le Pan d'Etosha (en haut à gauche) et Windhoek (en bas). *Satellite photo with 963 GPS fixes (yellow = December, red = January, blue = February) of a female Lesser Spotted Eagle (with PT 41 861) during its wintering from 9 December 2004 – 20 February 2005 in an area 76,000 km² in Namibia and Botswana between the Okavango Delta (on the right in the photo), the Etoscha Pan (top left) and Windhoek (bottom left).*

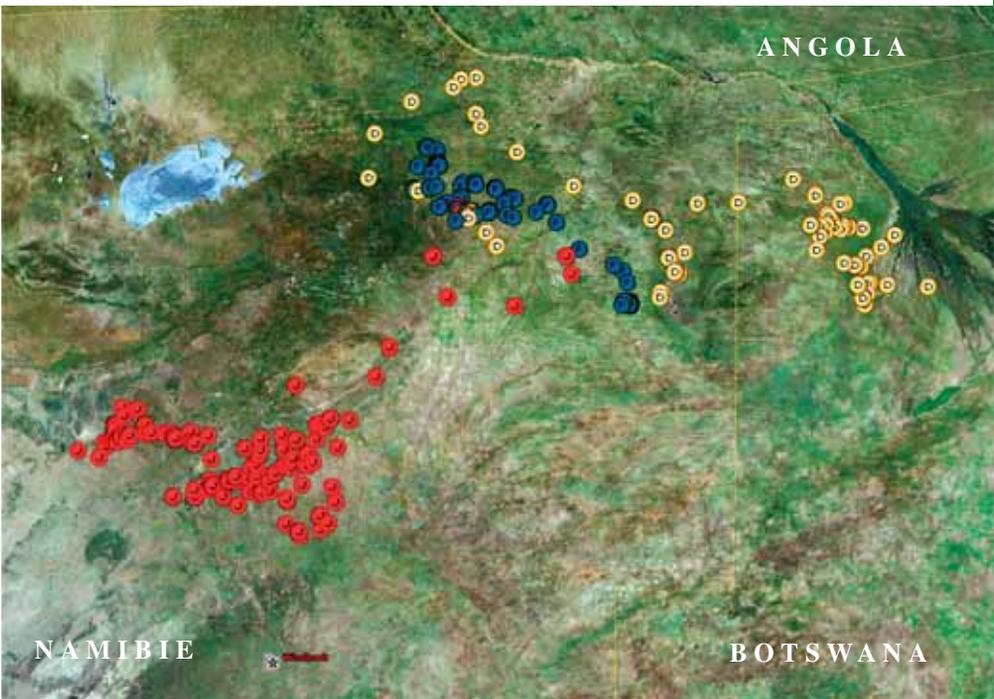
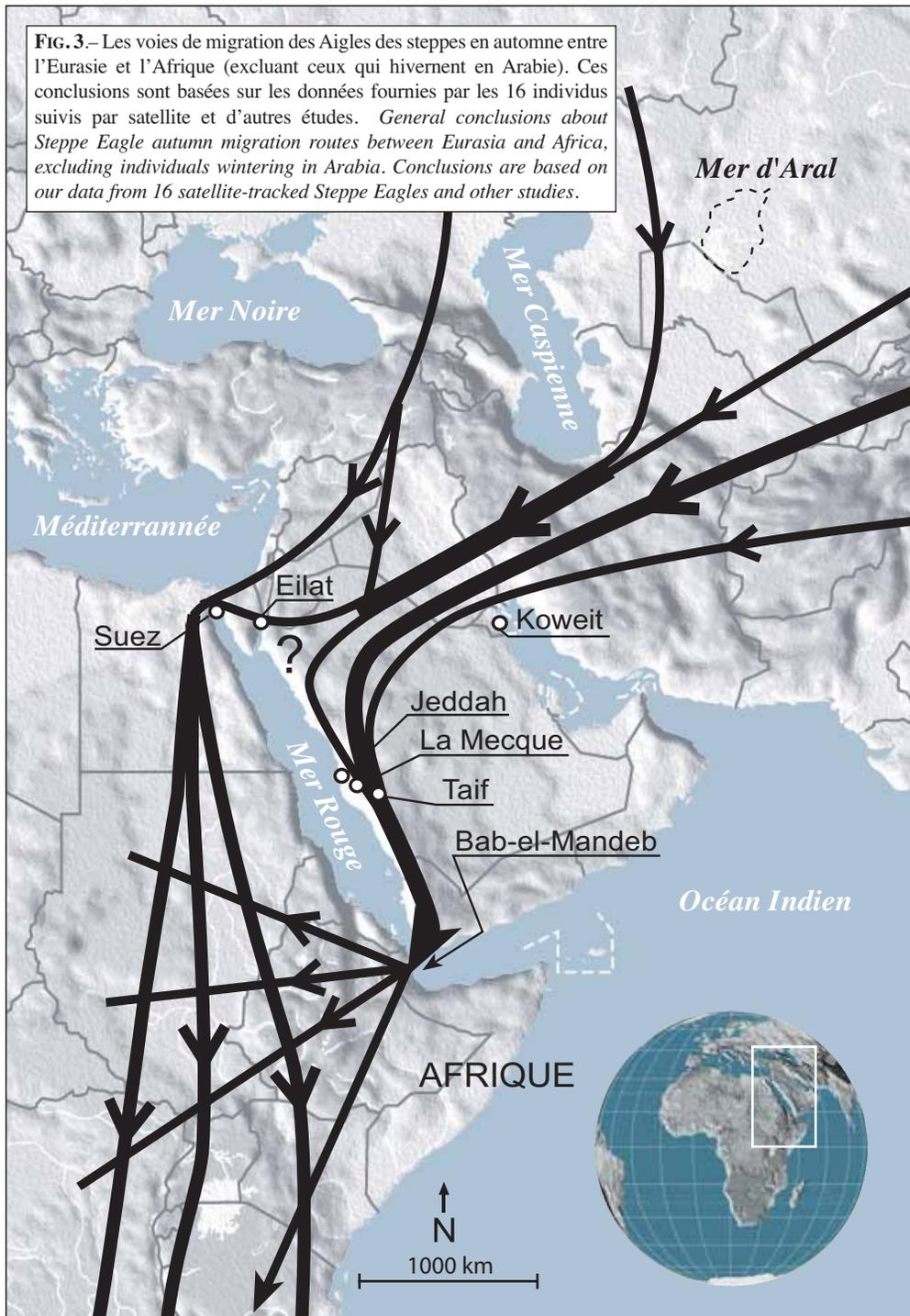
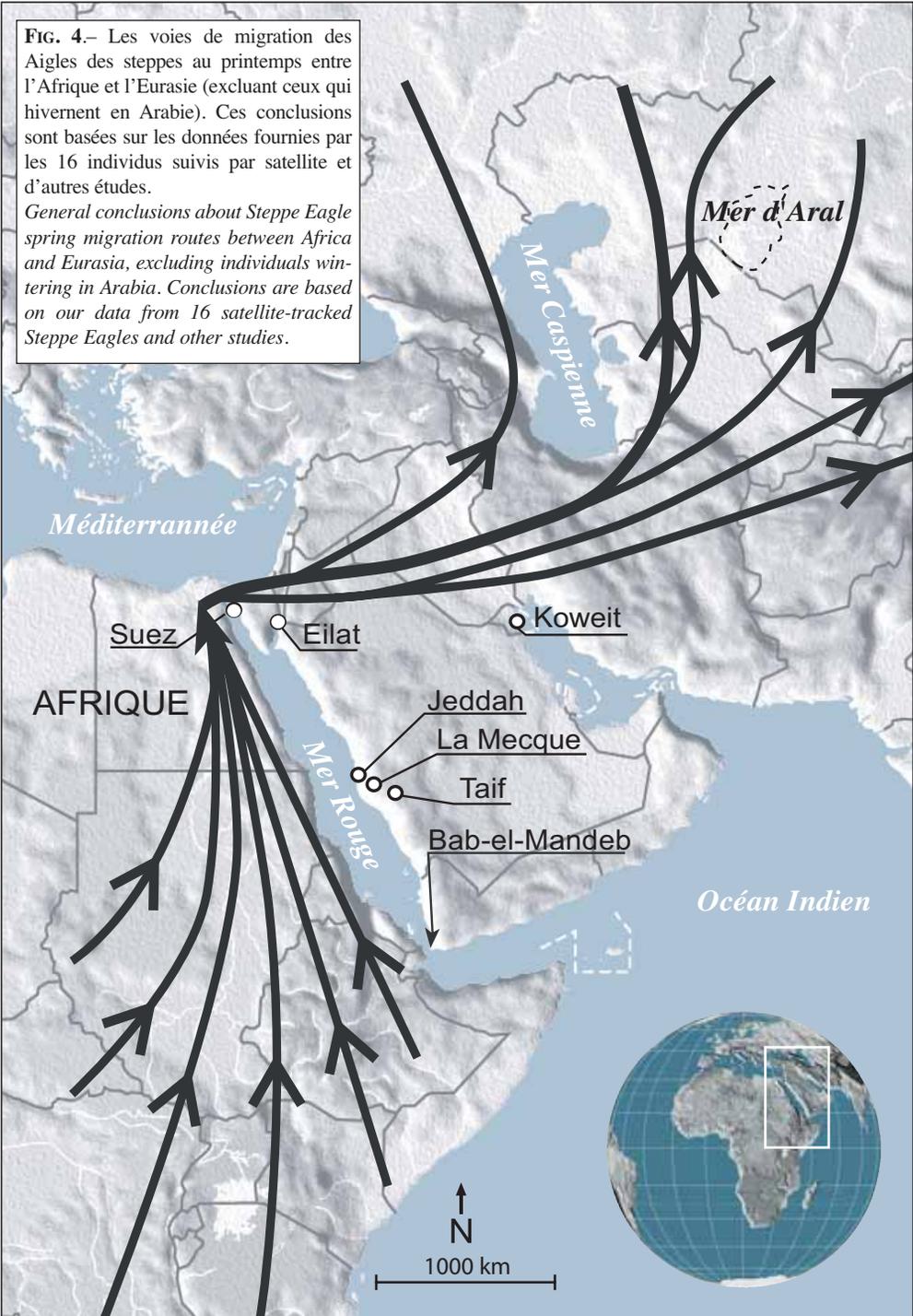


FIG. 3.— Les voies de migration des Aigles des steppes en automne entre l’Eurasie et l’Afrique (excluant ceux qui hivernent en Arabie). Ces conclusions sont basées sur les données fournies par les 16 individus suivis par satellite et d’autres études. *General conclusions about Steppe Eagle autumn migration routes between Eurasia and Africa, excluding individuals wintering in Arabia. Conclusions are based on our data from 16 satellite-tracked Steppe Eagles and other studies.*





Un Milan noir a hiverné plusieurs années consécutives au Sud de la Mauritanie et au Nord du Mali, il a pourtant été localisé aussi une année au Sénégal et jusqu'en Côte d'Ivoire. Un Milan royal qui avait hiverné dans le Sud de l'Espagne pendant deux ans a passé le troisième hiver au Nord de l'Espagne.

La question des routes de migration des Aigles des steppes entre L'Asie et l'Afrique élucidée

L'Aigle des steppes, pesant de 2,4 à 3,9 kg, est, avec la Cigogne blanche *Ciconia ciconia*, le plus grand oiseau de la région paléarctique hivernant régulièrement et en grand nombre au Sud de l'Équateur en Afrique.

Les migrations des rapaces ont été observées minutieusement au cours des 35 dernières années au Proche Orient par des comptages aux points de concentration et la migration des Aigles des steppes posait quelques énigmes. L'observation d'un nombre d'aigles en migration plus important au printemps qu'en automne aux points d'observation à Eilat et Suez au Nord de la Mer Rouge était un phénomène qui intriguait. En effet, on aurait pu s'attendre à un effet inverse en raison de la mortalité élevée des juvéniles et immatures ainsi que leur séjour de plus longue durée dans les zones d'hivernage. Ce phénomène a été observé pour d'autres espèces de rapaces, en particulier la Buse des steppes *Buteo buteo vulpinus*, la Bondrée apivore et le Milan noir *Milvus migrans* mais aussi pour beaucoup d'autres oiseaux de petite taille. Ce mystère a pu être élucidé grâce à la TS (MEYBURG *et al.*, 2003).

Sept des 16 Aigles des Steppes équipés de balises en automne en Arabie passèrent en Afrique par le Déroit de Bab-el-Mandeb au Sud du Yemen, les autres hivernèrent sur la Péninsule Arabique. La migration printanière de tous ces aigles ayant hiverné en Afrique les a menés à passer au Nord de la Mer Rouge, par Suez et Eilat, ce qui a montré l'existence d'une route de migration circulaire autour de la Mer Rouge (Fig. 3 et 4). L'existence de cette route explique les différences constatées par les observateurs et clarifie les questions posées à ce sujet dans la littérature.

Dispersion de la famille et émancipation des jeunes

Il est relativement difficile d'observer les liens familiaux après le départ du site de reproduction, car les oiseaux s'éloignent de plus en plus du nid vers la fin de la période d'émancipation des jeunes. Les observations directes ne fournissent que des informations assez peu fiables sur les événements réels. Ceci est également valable pour le marquage alaire et la télémétrie terrestre. Il est dans ces cas très difficile de juger si les adultes et les jeunes partent ensemble ou séparément. Ces renseignements ne sont fournis avec précision que par la TS.

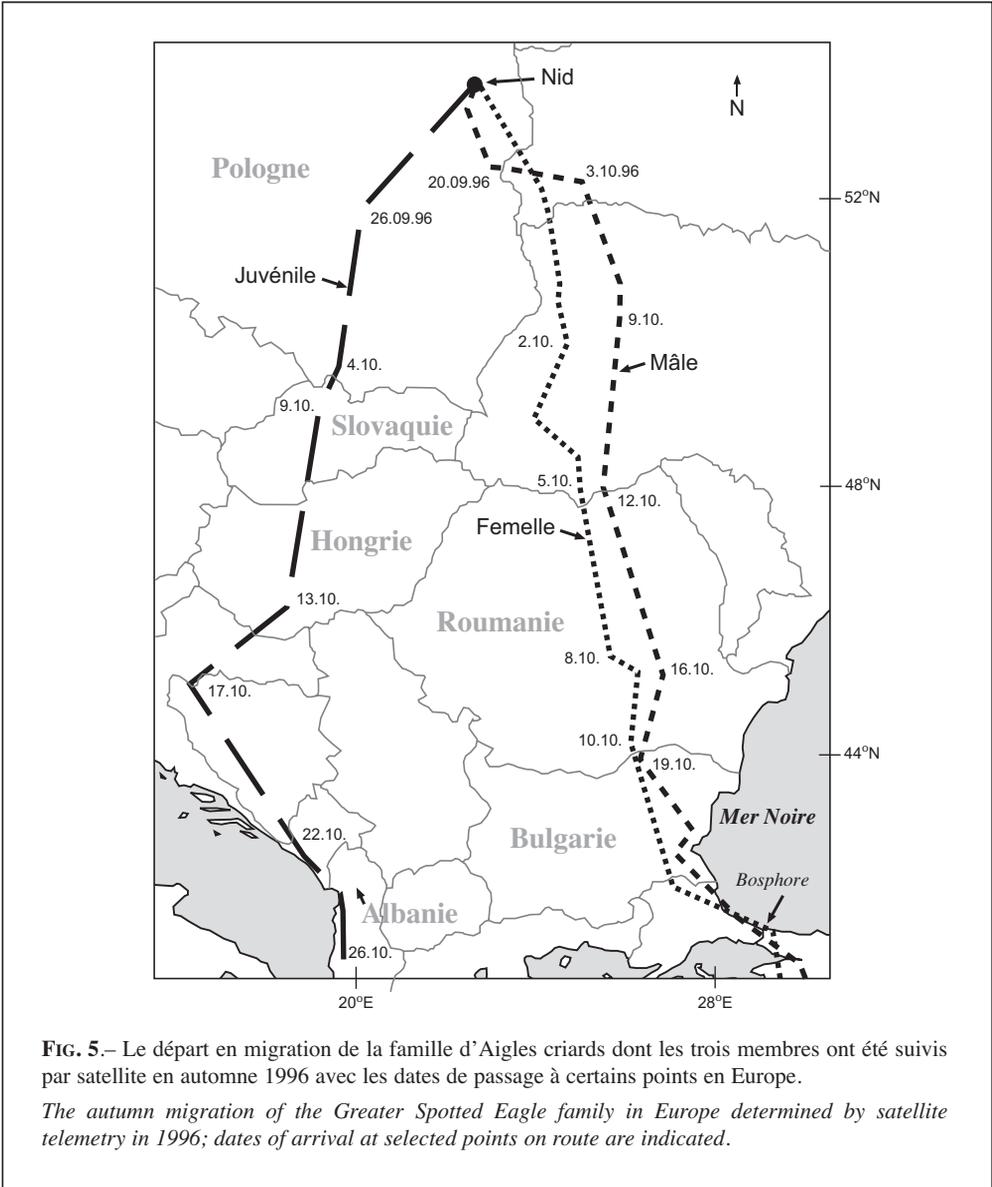
Nous avons ainsi marqué dans ce but une famille d'Aigles criards (MEYBURG *et al.*, 2005). Les deux adultes et leur jeune furent équipés d'émetteurs satellites dans le Nord-Est de la Pologne. Les liens familiaux se sont dissous au site de nidification avec le départ de la femelle trois ou quatre jours avant l'aiglon. Le mâle est parti en migration en dernier, une semaine après la femelle. Les adultes ont pris aussitôt la direction du Bosphore, alors que le jeune s'est dirigé trop au Sud où il est probablement mort fin octobre en Albanie après avoir parcouru 1687 km (Fig. 5, voir page suivante).

Pour d'autres espèces nous avons pu munir de balises les deux adultes de certains couples (Aigle pomarin, Balbuzard pêcheur, Bondrée apivore). Dans tous les cas les adultes ont migré séparément et ont hiverné dans des zones éloignées l'une de l'autre. C'est seulement pour un couple de balbuzards que l'hivernage fut effectué dans la même région, ce que nous prenons comme un effet du hasard, la migration s'étant effectuée séparément. Tous les mâles de toutes les espèces sont revenus à notre connaissance l'année suivante sur le même site de nidification, alors que certaines femelles de balbuzards et d'Aigles pomarins se sont installées et ont niché parfois à environ 50 km de distance de leur nid de l'année précédente.

Visite de nids du voisinage par l'Aigle pomarin

Il a été généralement admis que les Aigles pomarins qui nichent ont un comportement territorial et défendent les environs du nid contre les intrus de la même espèce. On pensait que les femelles qui devaient s'occuper d'un jeune





restaient, comme les parents d’autres espèces, dans un périmètre de quelques kilomètres seulement autour du nid jusqu’en automne. Les études entreprises par TS et analyses de l’ADN nous ont permis de prouver que cette hypothèse communément admise était erronée (MEYBURG *et al.*, 2007a). Une femelle suivie par balise-GPS s’est

éloignée, au moins à deux reprises, de plus de 50 km du nid où se trouvait son jeune et a également visité un autre nid en activité dans le voisinage (FIG. 6). Il a également été prouvé qu’au moins deux femelles “étrangères” sont venues visiter son nid, l’une nichant elle-même à 57 km, et y ont passé un temps assez conséquent. Les

visites de femelles étrangères au couple ont également été confirmées par les observations visuelles directes.

Ces vols effectués en période d'élevage du jeune et très éloignés du nid sont très surprenants pour nous et, à notre connaissance, n'ont pas été observés jusqu'à présent pour d'autres espèces de rapaces. Il est encore plus étonnant de constater que les oiseaux visitant ces nids, y restent pendant un certain temps sans que les occupants s'en offusquent, car nous n'avons observé aucun signe particulier d'agressivité dans ce cas.

Nous ne pouvons que faire des spéculations sur les raisons de ce comportement. Les Aigles

pomarins, même adultes, étant exposés à des dangers très importants, du fait de leur très longue migration vers l'Afrique et des tirs au fusil près de la Méditerranée, le cas se présente certainement qu'une femelle Aigle pomarin ne retrouve pas son partenaire sur le site de nidification de l'année précédente à son retour au printemps. Si son partenaire est mort, c'est un avantage pour elle de connaître les autres sites de nidification des environs proches et plus lointains afin de trouver rapidement un nouveau partenaire. Il ne se passe parfois que quelques jours entre le retour d'Afrique et la ponte, les Aigles pomarins sont donc sous la pression du temps.

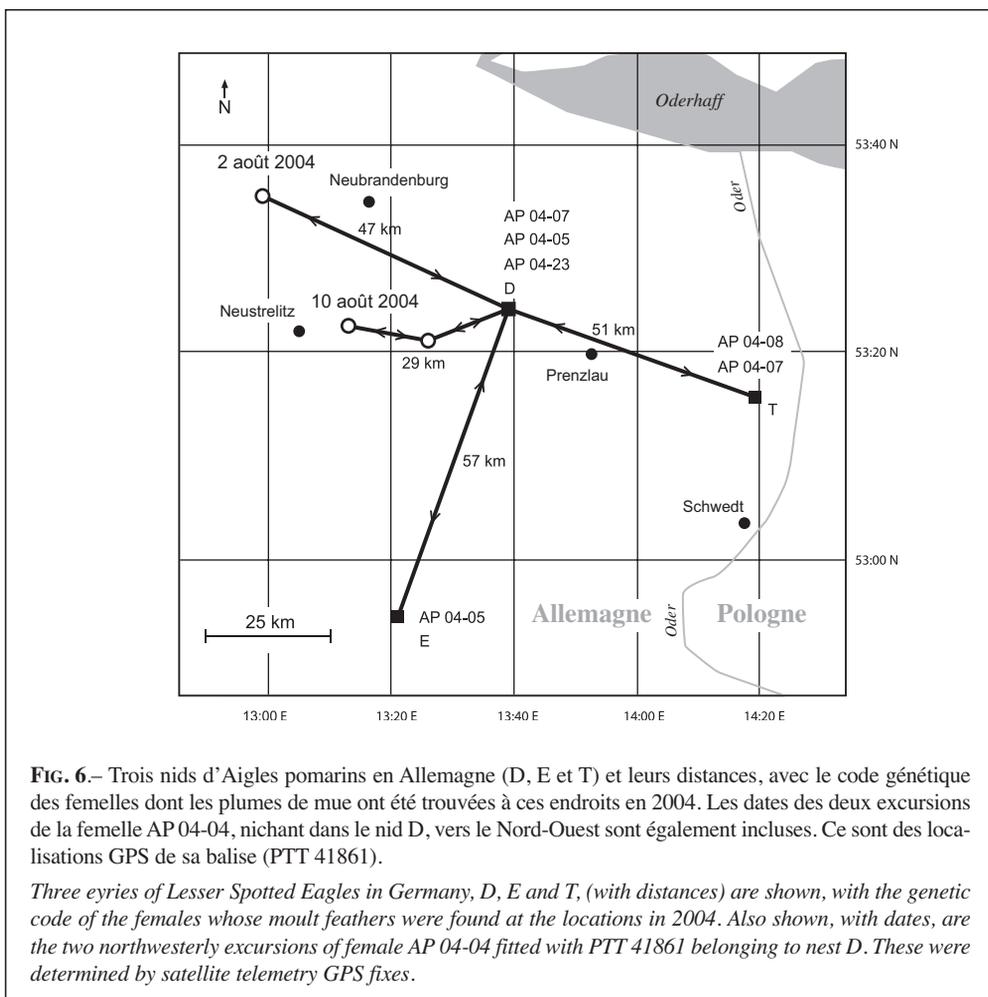


FIG. 6.— Trois nids d'Aigles pomarins en Allemagne (D, E et T) et leurs distances, avec le code génétique des femelles dont les plumes de mue ont été trouvées à ces endroits en 2004. Les dates des deux excursions de la femelle AP 04-04, nichant dans le nid D, vers le Nord-Ouest sont également incluses. Ce sont des localisations GPS de sa balise (PTT 41861).

Three eyries of Lesser Spotted Eagles in Germany, D, E and T, (with distances) are shown, with the genetic code of the females whose moult feathers were found at the locations in 2004. Also shown, with dates, are the two northwesterly excursions of female AP 04-04 fitted with PTT 41861 belonging to nest D. These were determined by satellite telemetry GPS fixes.



Le déroulement de la migration peut influencer le succès de reproduction

La date d'arrivée des adultes sur le site de nidification semble déterminer la faculté de nicher ou non chez de nombreuses espèces de rapaces

migrateurs. Ceci est particulièrement notable lorsque les deux partenaires arrivent trop tard. Un retour trop tardif peut empêcher la ponte, ce que nous avons pu observer ces dernières années dans des populations d'Aigles pomarins (FIG. 7).

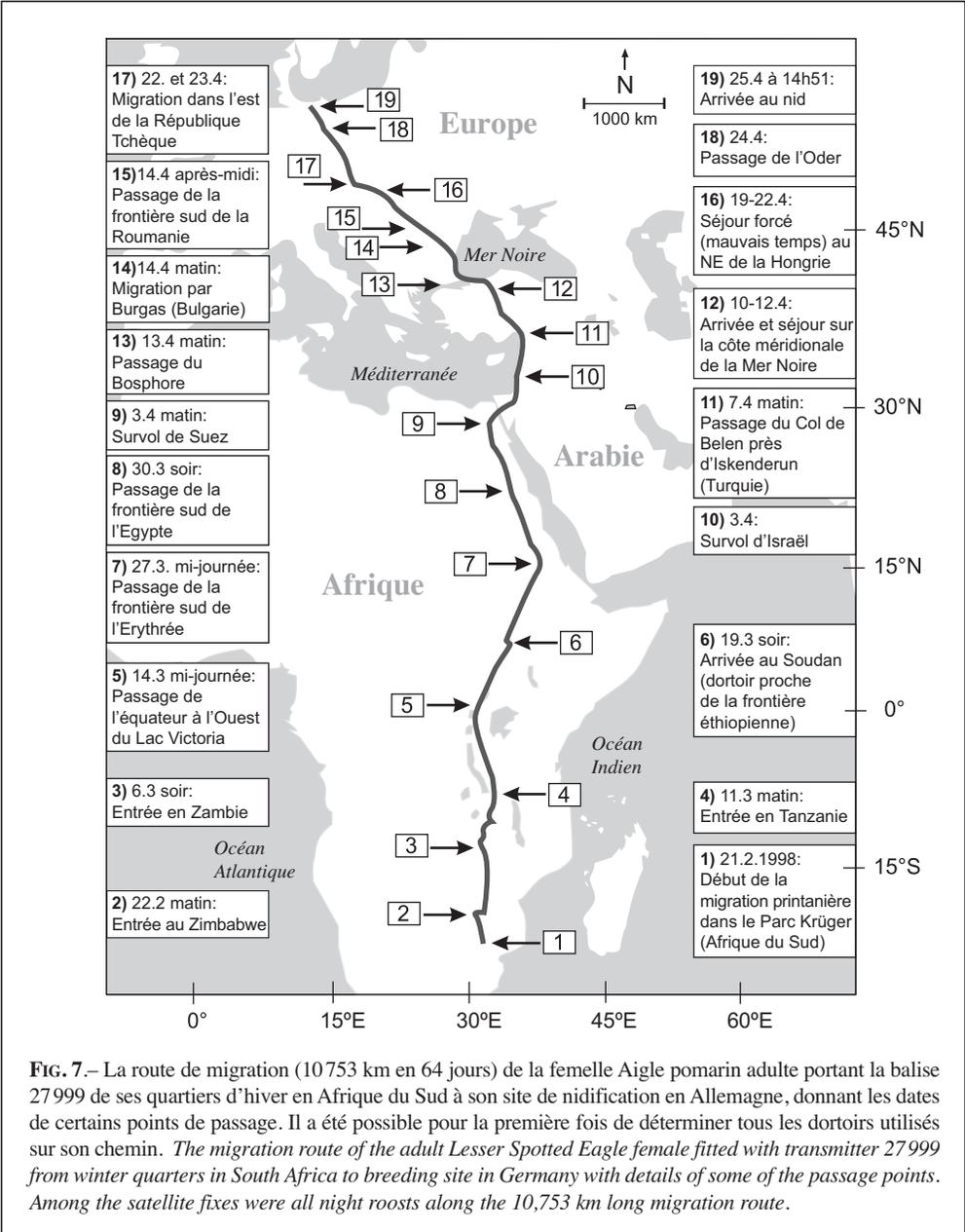


FIG. 7.— La route de migration (10 753 km en 64 jours) de la femelle Aigle pomarin adulte portant la balise 27 999 de ses quartiers d'hiver en Afrique du Sud à son site de nidification en Allemagne, donnant les dates de certains points de passage. Il a été possible pour la première fois de déterminer tous les dortoirs utilisés sur son chemin. *The migration route of the adult Lesser Spotted Eagle female fitted with transmitter 27 999 from winter quarters in South Africa to breeding site in Germany with details of some of the passage points. Among the satellite fixes were all night roosts along the 10,753 km long migration route.*

L'exemple le plus frappant en est l'année 1997, lors de laquelle la plupart des couples allemands arrivèrent très tard et seulement un tiers réussirent à se reproduire. Une majorité des couples n'ont pas eu de ponte. Le même phénomène s'est produit en 2007 en Lettonie où seulement 7 % des couples ont pondu.

On admettait généralement à tort que ce retard au retour de la zone d'hivernage était une conséquence des mauvaises conditions météorologiques rencontrées au printemps lors de la migration, ce qui provoque par exemple chez les cigognes des diminutions catastrophiques du succès de reproduction. Il semble cependant qu'on ne puisse généralement pas rendre le mauvais temps rencontré en transit sur la voie de migration printanière responsable du retard des Aigles pomarins.

C'est grâce à la TS que nous avons pu prouver pour la première fois en 1997 que non seulement le retour vers l'Europe était tardif mais que préalablement le départ en migration en automne 1996 avait été retardé (MEYBURG *et al.*, 2007b). La responsabilité de ce délai incombait aux mauvaises conditions météorologiques rencontrées en Europe et au Proche Orient entre août et octobre. Les quatre adultes équipés d'émetteurs ne s'éloignèrent que très lentement, l'un d'eux passant le Bosphore le 5 octobre et un autre le 13. La traversée d'Israël eut lieu seulement le 15 octobre pour l'un, et le 22 pour l'autre: c'est-à-dire un retard de deux ou trois semaines environ par rapport aux observations visuelles effectuées chaque année et qui donnent comme période de passage habituelle des dates allant du 29 septembre au 5 octobre. Les observations effectuées récemment en Israël indiquent que les dates de passage se sont en général montrées plus tardives ces derniers temps. La TS a permis de dater avec précision l'arrivée de trois de ces oiseaux dans leurs zones d'hivernage: le 13 et le 18 novembre ainsi que le 23 décembre, donc également en retard.

En 1997 deux de ces aigles ont débuté leur migration de printemps respectivement le 14 mars et le 16, donc tardivement par rapport aux résultats d'études précédentes. Les oiseaux arrivèrent avec deux à trois semaines de retard sur leurs sites de reproduction. L'aigle équipé du PTT 16865 passa le Bosphore le 17 avril à une date où il aurait normalement dû être arrivé sur son site de nidifi-

cation; il n'y arriva effectivement que le 4 mai. Celui portant la balise 16867 se trouvait le 12 avril près de Konya en Turquie, à 430 km du Bosphore, alors que de nombreux aigles arrivent généralement à cette date au Nord de Berlin.

Ce retard n'a pas uniquement concerné les oiseaux équipés d'émetteurs: pratiquement tous les aigles arrivèrent avec un retard similaire en 1997, non seulement en Allemagne mais également en Lettonie. Nous supposons que, dans de nombreux cas, comme pour les oiseaux suivis par satellite, le départ en migration s'est produit trop tardivement en automne et que ce ne sont pas les mauvaises conditions climatiques lors de la migration printanière qui ont causé l'échec des nidifications de nombreux couples en 1997.

La raison pour laquelle les aigles partent trop tard de leur zone d'hivernage n'est pas encore clarifiée. Il est possible que les oiseaux soient "programmés" pour y rester un certain temps afin d'accumuler suffisamment de réserves d'énergie, un retard à l'arrivée en automne provoquant en conséquence un retard du départ au printemps. Une autre explication possible serait la grave sécheresse qui sévit depuis 1970 dans la région où ils hivernent dans le Sud de l'Afrique. Ceci est la conséquence des changements climatiques du phénomène El-Niño, déjà constaté pour la première fois en 1726, mais qui n'a pas encore été totalement expliqué et qui est probablement aggravé par l'effet de serre. La diminution des précipitations atmosphériques dans cette zone réduit probablement la densité des proies pour l'Aigle pomarin et il est donc possible qu'ils soient obligés de rester plus longtemps afin de reprendre des forces pour leur migration de retour vers l'Europe. Le suivi de deux des aigles hivernant en Namibie a prouvé qu'ils recherchaient les zones de plus forte pluviosité (MEYBURG *et al.*, 2001).

L'hivernage des Pomarins en Zambie a lieu au cours de la saison chaude et humide allant de décembre à avril. La nette diminution des précipitations a provoqué par exemple une modification de la végétation dans la plaine de Kafue entre 1984 et 1994, la transformant en steppe. D'autres zones sont également en train de changer en raison de la déforestation et du remplacement de la végétation naturelle par des parcelles



cultivées ou arides qui sont moins propices à l'alimentation de l'Aigle pomarin.

De nombreux auteurs rendent les changements climatiques, et particulièrement le réchauffement de la planète, responsables de cette modification du comportement migratoire mais ils ne cherchent que rarement une explication autre que des coïncidences. L'Aigle pomarin semble être l'une des rares espèces pour lesquelles on constate une arrivée plus tardive en Europe. Il est nécessaire d'étudier plus attentivement ce phénomène d'arrivée retardée en raison de ses répercussions sur le succès de reproduction. La TS a permis de démontrer une relation entre le phénomène

migratoire et la nidification et montre à quel point l'étude de la migration et de l'hivernage est indispensable pour la compréhension de la biologie des grands migrateurs.

Séjour des jeunes rapaces en Afrique lors de leurs premières années

De nombreuses espèces de rapaces européens de grande taille (Balzard pêcheur, Vautour percnoptère *Neophron percnopterus*, Aigle pomarin) ne reviennent pas tous dans leur région de naissance lors de leurs premières années d'existence. Leur comportement lors de cette période de leur vie reste inconnu.

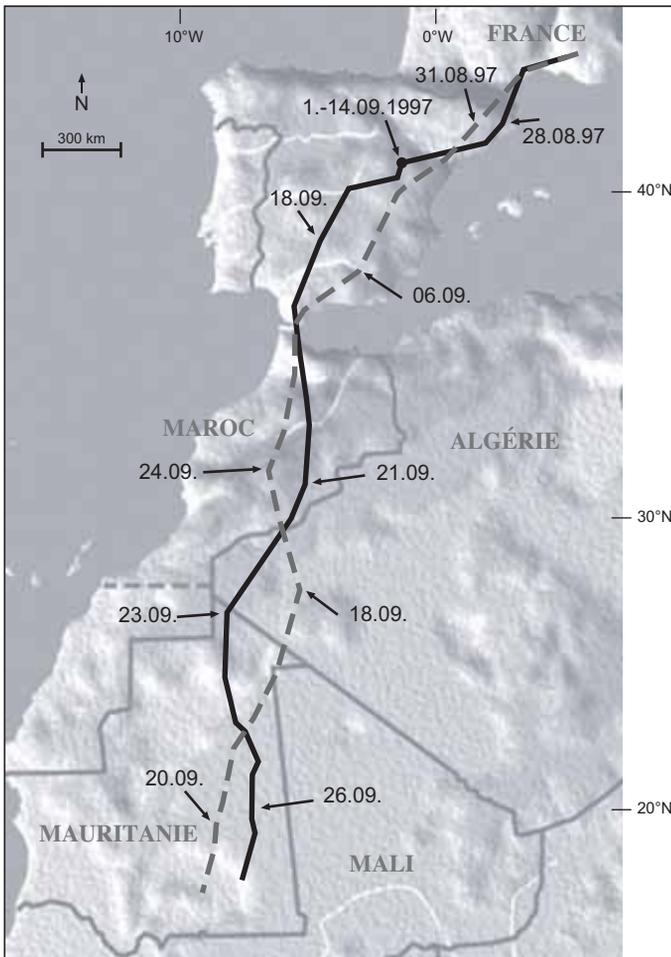


FIG. 8.— Les routes de migration de deux Vautours percnoptères juvéniles de la France à la Mauritanie (Vautour 1 (PTT 08135) en pointillés, Vautour 2 (PTT 08136) trait continu) indiquant les dates de passage à certains endroits.

Migration routes of the two juveniles Egyptian Vultures from France to Mauritania (vulture 1 (PTT 08135) broken line, vulture 2 (PTT 08136) unbroken line) showing dates of arrival at selected points en route.

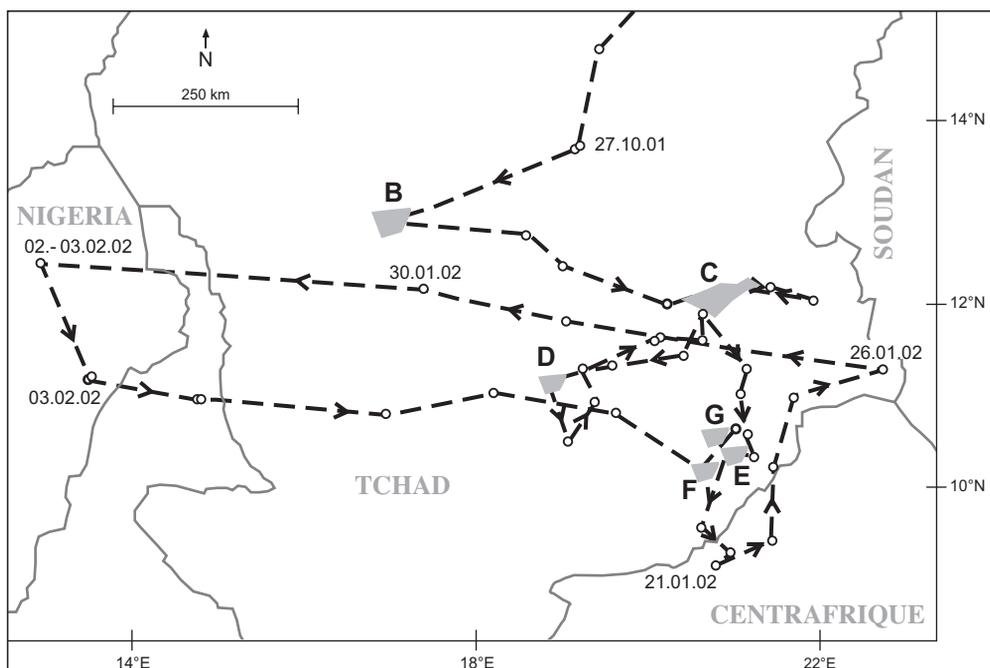


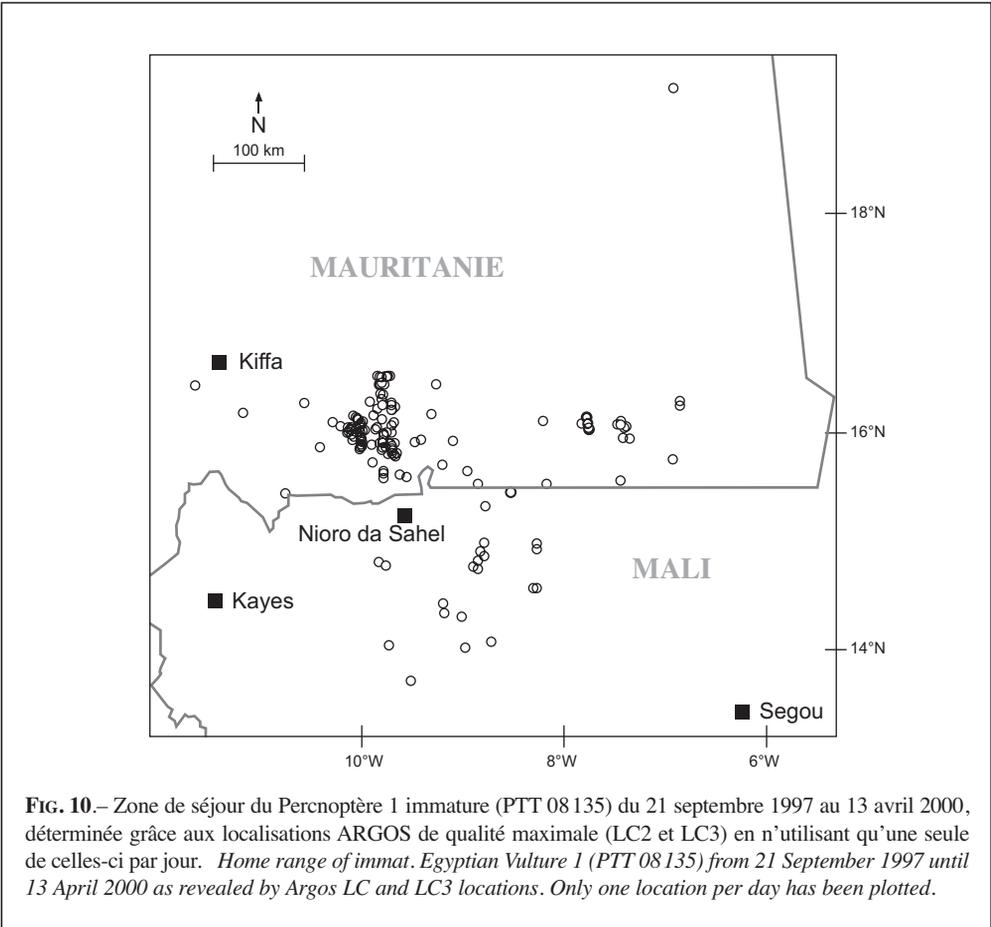
FIG. 9.– Les principales zones visitées par le Percnoptère bulgare 3 (PTT 24019) en Afrique jusqu’au 17 mars 2002 (interruption des localisations) avec les dates de passage à certains points. La première région où il a séjourné, au Nord-Est du Tchad (du 1-25 octobre 2001) est en dehors de cette carte.

Main sojourn areas of juvenile Egyptian Vulture 3 (PTT 24019) from Bulgaria in Africa until 17 March 2002, also showing dates of arrival at selected points en route. Resting area A in north eastern Chad visited during migration (1-25 October 2001) is not shown within the area of this map.

Nous avons donc étudié les mouvements de trois jeunes Percnoptères de France (Luberon) et de Bulgarie (MEYBURG *et al.*, 2004). Plus de 4 300 localisations de ces oiseaux furent collectées et ont permis de déterminer leurs voies de migration et leurs déplacements en Afrique. Les deux oiseaux français sont partis presque en même temps et ont hiverné au Sahel dans le Sud de la Mauritanie (FIG. 8) après une migration de 3,570 km. Le Percnoptère bulgare a parcouru 5 340 km et séjourné principalement au Sud-Est du Tchad. Il a entrepris une migration intra africaine en Janvier et Février après son arrivée, se déplaçant sur 2 600 km jusqu’au Nord-Est du Nigeria et retour (FIG. 9). Les deux oiseaux français restèrent dans le même quartier d’hivernage en Mauritanie pendant tout leur séjour africain. La superficie de la zone visitée a été respectivement de 69 000 km² et

50 000 km², ce qui fut documenté par de très nombreuses localisations d’excellente qualité.

L’un des Percnoptères français a pu être suivi sans interruption et a continué de résider dans la zone qu’il avait choisie pendant deux ans et demi : de son arrivée, le soir du 21 septembre 1997, jusqu’à son départ le 13 avril 2000 (FIG. 10). L’extension nord-sud mesurait 80 km et celle est-ouest 50 km, le centre de cette zone étant situé à 16°2’N/9°52’W. L’oiseau n’a effectué que de courts déplacements journaliers dans ce périmètre ; cependant, le 12 avril 1998, il s’est déplacé de 63 km et, le 5 novembre 1998, de 78 km entre deux nuits consécutives. À la fin du mois de mars 1998 il a volé à 500 km vers l’Est et a adopté d’autres quartiers d’hivernage pour deux mois et demi (28 mars-12 juin) avant de revenir vers la zone précédente.



Il n'a quitté cette région d'Afrique qu'à l'âge de trois ans (probablement en quatrième plumage) (FIG. 10). Le deuxième Percnoptère français a été observé dans le Sud de la France à l'âge de trois ans près de son lieu de naissance.

Les localisations GPS permettent d'étudier avec précision la taille des territoires et l'utilisation de l'habitat

Nous avons pu analyser entre 2004 et 2006 le comportement territorial, la dimension des zones d'activité et l'utilisation de l'habitat chez sept Aigles pomarins adultes (cinq mâles et deux femelles) équipés de balises GPS en Allemagne, dont plusieurs sont encore suivis actuellement. Cette étude est le résultat de l'analyse de 2976

localisations GPS et d'observations visuelles sur le terrain. La superficie des territoires de quatre mâles suivis au cours d'une saison de reproduction fut au minimum de 32,78 km². Le cinquième mâle (S), qui a été suivi deux ans, a utilisé un territoire de 93,78 km² en 2005 et de 172,29 km² en 2006. La superficie moyenne de ces six territoires a été de 72,29 km². Les zones d'activité des deux femelles ont été très différentes par la grandeur (Femelle D: 1,56 km² et femelle W: 82,3 km² - cf. FIG. 11 et 15), bien qu'elles aient toutes deux niché avec succès. La femelle D (PTT 41861) s'est cependant éloignée de son nid de plusieurs dizaines de kilomètres à trois reprises au moins, comme nous l'avons déjà indiqué plus haut. Ces grandes excursions n'ont pas été prises en compte

FIG. 11.– Photo satellite montrant les zones d’activité du mâle Aigle pomarin S portant le PTT 23196 (en rouge) et de la femelle voisine W (en bleu) ainsi que leurs nids respectifs en 2005. Ces couples nichent en Allemagne, limite nord-ouest de la zone de répartition de l’espèce.

Satellite image with the home range of a male S (with PTT 23196, marked in red) and female Lesser Spotted Eagle W (blue) and their eyries in 2005. This is at the northwest edge of the species’ distribution in Germany.

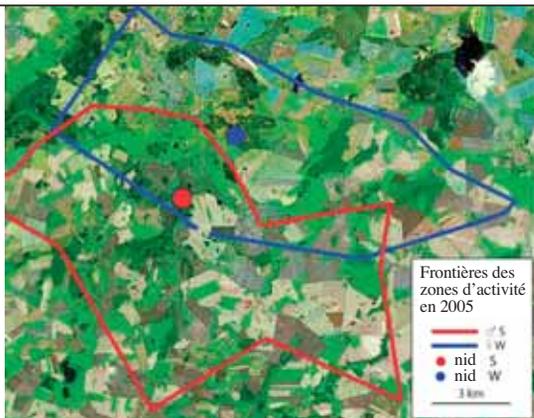


FIG. 12.– Les frontières du territoire du mâle Aigle pomarin S en 2005 (rouge) et 2006 (vert). Le nid de S a été utilisé les deux années (point rouge), le couple voisin W n’a pas eu de succès de reproduction en 2006 (point bleu). Le mâle S a considérablement agrandi sa zone d’activité après l’échec du couple voisin.

The borders of the home ranges of male Lesser Spotted Eagle S in 2005 (red) and 2006 (green). The eyrie, used in both years, is marked with a red dot and that of the neighbouring pair of unsuccessful breeders, eyrie W, with a blue dot. After the failure of brood W, male S extended its home range considerably into the territory of the neighbouring pair.

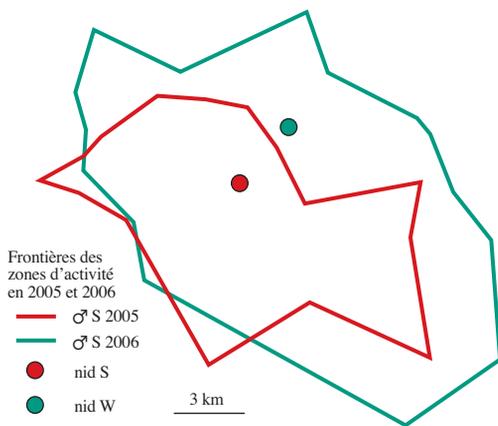


FIG. 13.– Les variations de la superficie des zones d’activité hebdomadaires du mâle S en kilomètres carrés - 2005 (rouge) et 2006 (vert).

Weekly home range sizes of male Lesser Spotted Eagle S in 2005 (red) and 2006 (green).

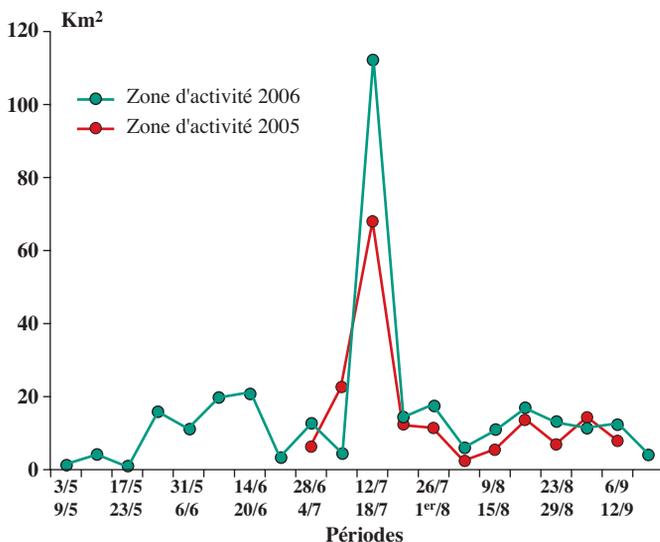


FIG. 14.— Photo satellite indiquant les frontières des territoires des mâles Aigles pomarins LA (rouge, PTT 64614) et BS (bleu, PTT 36235). Leurs nids, ainsi que celui d'un troisième couple ayant également niché avec succès en 2006 sont marqués par des points rouges. Le nid d'un quatrième couple (BG) ayant échoué est indiqué par un carré vert.

Satellite photo with the home ranges of male Lesser Spotted Eagle LA (PTT 64614) marked in red and male BS (PTT 36235) in blue. Both their eyries, as that of a further successful breeding pair (BN) are marked with a red dot and the centre of the home range of a fourth unsuccessful pair (BG) with a green square.

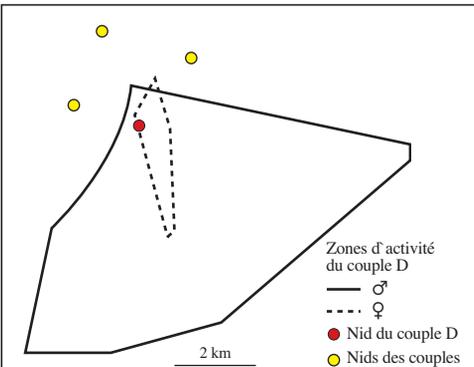
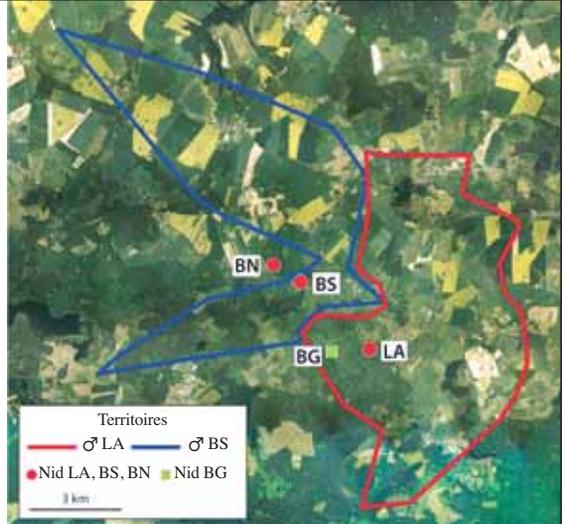


FIG. 15.— Les limites du territoire du couple D (ligne continue=mâle et pointillée = femelle) (cf. FIG. 6). Le nid du couple est représenté par un point rouge et ceux de trois couples voisins par des points jaunes.

The home ranges of pair D (see also FIG. 6). The eyries of this pair and those of the three neighbouring pairs are marked with dots.

dans le calcul de la dimension de son domaine. Les mâles ayant niché avec succès sont eux restés strictement cantonnés, et leurs territoires nettement distincts. Les femelles n'ont pas été repoussées lorsqu'elles visitaient le territoire de leurs voisins (cf. FIG. 11) et ont même pu passer un certain temps à d'autres nids. Après l'échec de

reproduction des couples, leurs territoires ont été occupés pour partie par des couples voisins (cf. FIG. 12 et 14). Les trois mâles (D, BT et LA) ne se sont éloignés que de 6 à 7 kilomètres au maximum de leur nid, la femelle W et le mâle BS de 11 km environ, et le mâle S, qui nous a fourni le plus grand nombre de localisations GPS, de plus de 13.

La superficie du territoire et les distances auxquelles les aigles se sont éloignés ont varié selon le stade de la période de reproduction. Le mâle S s'est éloigné de plus en plus du nid après son arrivée au printemps. C'est à la mi-Juillet des deux années où il a été suivi jusqu'à maintenant qu'il s'est éloigné le plus et a eu la zone d'activité la plus large. Les dimensions de son territoire se sont ensuite réduites jusqu'à son départ en automne (FIG. 13).

L'utilisation du territoire a été plus ou moins intensive : 84 % des 677 localisations du mâle S en 2005 ont été enregistrées sur une superficie de 14,24 km² seulement. En 2006 ce même aigle a fourni 989 localisations GPS dont 71,4 % se trouvaient dans une zone de 15,43 km².

Au printemps de cette année (2007) le mâle BS a visité à plusieurs reprises le nid de son voisin BN qui n'était pas encore rentré de migration, ainsi que d'autres parties de son territoire. Ceci ne s'est plus jamais reproduit depuis l'arrivée de l'occupant légitime de ce territoire quelques jours plus tard.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les administrations des différents pays où nous avons équipé des oiseaux de balises pour les autorisations qu'ils nous ont accordées. Nous sommes reconnaissants à la DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), entre autres pour leur participation financière. Les zoos de Rostock et Poznan nous ont permis d'utiliser leurs oiseaux (Pygargue et Grand-duc), le Tierpark Berlin-Friedrichsfelde nous ayant même fait cadeau d'un Pygargue adulte vivant, pour les opérations de capture, le Parc ornithologique "Le Marais aux Oiseaux" à l'île d'Oléron (France) qui a prêté un Grand-Duc d'Europe pour la capture de rapaces. Nous remercions tout particulièrement le Dr Paul HOWEY et ses collaborateurs de l'entreprise Microwave Telemetry, Inc. (USA) qui nous a fourni la plupart des émetteurs, pour leur soutien et leur aide toutes ces années, ainsi que l'équipe d'ARGOS à Toulouse. Les ambassades d'Allemagne de plusieurs pays (Koweït, Éthiopie, Mali, entre autres) nous ont permis de récupérer plusieurs balises d'oiseaux abattus ou épuisés. Ces recherches ont seulement pu être effectuées grâce à la participation de très nombreux ornithologues dans les pays où nous avons capturé et équipé des rapaces (France, Allemagne, Slovaquie, Hongrie, Bulgarie, Pologne, Lettonie, Belarus, Russie, Grèce, Israël, Arabie Saoudite, Namibie, Zambie, Afrique du Sud) et nous tenons à les remercier très chaleureusement pour leur collaboration, leur soutien et les observations qu'ils ont effectuées, leur nombre étant trop important pour que nous puissions les citer individuellement.

BIBLIOGRAPHIE

- ALERSTAM, (T.), HAKE (M.), & KJELLÉN (N.) 2006.– Temporal and spatial patterns of repeated migratory journeys by Ospreys. *Anim. Behav.*, 71:555-566.
- BRODEUR (S.), DÉCARIE (R.), BIRD (D.M.) & FULLER (M.) 1996.– Complete migration cycle of Golden Eagles breeding in northern Quebec. *Condor*, 98: 293-299.
- ELLIS (D.H.), MOON (S.L.) & ROBINSON (J.W.) 2001.– Annual movements of a Steppe Eagle (*Aquila nipalensis*) summering in Mongolia and wintering in Tibet. *Bombay Nat. Hist. Soc.*, 98: 335-340.
- FULLER (M.R.), SEEGAR (W.S.) & SCHUECK (L.S.) 1998.– Routes and travel rates of migrating Peregrine Falcons *Falco peregrinus* and Swainson's Hawks *Buteo swainsoni* in the western hemisphere. *J. Avian Biol.*, 29: 433-440.
- HAINES (A.M.), McGRADY (M.J.), MARTELL (M.S.), DAYTON (B.J.), HENKE (M.B.) & SEEGAR (W.S.)

- 2003.– Migration routes and wintering locations of Broad-winged Hawks tracked by satellite telemetry. *Wilson Bull.*, 115: 166-169. • HIGUCHI (H.), SHIU (H.), NAKAMURA (H.), UEMATSU (A.), KUNO (K.), SAEKI (M.), HOTTA (M.), TOKITA (K.), MORIYA (E.), MORISHITA (E.) & TAMURA (M.)
- 2005.– Migration of Honey Buzzards *Pernis apivorus* based on satellite tracking. *Ornithol. Science*, 4:109-115.
- MARTELL (M.S.), HENNY (C.J.), NYE (P.E.) & SOLENSKY (M.J.) 2001.– Fall migration routes, timing, and wintering sites of North American Ospreys as determined by satellite telemetry. *Condor*, 103: 715-724. • McGRADY (M.J.), MAECHTLE (T.L.), VARGAS (J.J.), SEEGAR (W.S.) & PORRAS PEÑA (M.C.) 2002.– Migration and ranging of Peregrine Falcons wintering on the Gulf of Mexico coast, Tamaulipas, Mexico. *Condor*, 104: 39-48. • McGRADY (M.J.), UETA (M.), POTAPOV (E.R.), UTEKHINA (I.), MASTEROV (V.), LADYGUINE (A.), ZYKOV (V.), CIBOR (J.), FULLER (M.) & SEEGAR (W.S.)
- 2003.– Movements by juvenile and immature Steller's Sea Eagles *Haliaeetus pelagicus* tracked by satellite. *Ibis*, 145: 318-328. • MEYBURG (B.-U.) & FULLER (M. R.) 2007.– *Satellite Telemetry*. In BIRD (D.) & BILDSTEIN (K.) Raptor Research and Management Techniques, Hancock House, Blaine, Canada, pp. 242-248. • MEYBURG (B.-U.) & LOBKOV (E. G.) 1994.– Satellite tracking of a juvenile Steller's Sea Eagle *Haliaeetus pelagicus*. *Ibis*, 136: 105-106. • MEYBURG (B.-U.) & MEYBURG (C.) 2005.– Tracking the Endangered Greater Spotted Eagle. *Tracker News*, 6: 4.
- MEYBURG (B.-U.), MEYBURG (C.) 2007.– Post-fledging behavior and outward migration of a hybrid Greater x Lesser Spotted Eagle (*Aquila clanga* x *A. pomarina*). *J. Raptor Res.*, 41: 165-170. • MEYBURG (B.-U.), SCHELLER (W.) & MEYBURG (C.) 1993.– Satelliten-Telemetrie bei einem juvenilen Schreiadler *Aquila pomarina* auf dem Herbstzug. *Journal für Ornithologie*, 134: 173-179. • MEYBURG (B.-U.), BLOHM (T.), MEYBURG (C.), BÖRNER (I.) & SÖMMER (P.) 1994.– Satelliten- und Bodentelemetrie bei einem jungen Seeadler *Haliaeetus albicilla* in der Uckermark: Wiedereingliederung in den Familienverband, Bettelflug, Familienauflösung, Dispersion und Überwinterung. *VOGELWELT*, 115: 115-120. • MEYBURG (B.-U.), SCHELLER (W.) & MEYBURG (C.) 1995a.– Zug und Überwinterung des Schreiadlers *Aquila pomarina*: Satellitentelemetrische Untersuchungen. *Journal für Ornithologie*, 136: 401-422. • MEYBURG (B.-U.), EICHAKER (X.), MEYBURG (C.) & PAILLAT (P.) 1995b.– Migrations of an adult Spotted Eagle tracked by satellite. *British Birds*, 88: 357-361.
- MEYBURG (B.-U.), MENDELSON (J. M.), ELLIS (D. H.), SMITH (D. G.), MEYBURG (C.) & KEMP



(A. C.) 1995c.– Year-round movements of a Wahlbergs Eagle *Aquila wahlbergi* tracked by satellite. *Ostrich*, 66: 135-140. • MEYBURG (B.-U.), HARASZTHY (L.), MEYBURG (C.) & VISZLO (I.) 1995d.– Satelliten- und Bodentelemetrie bei einem jungen Kaiseradler *Aquila heliaca*: Familienauflösung und Dispersion. *Vogelwelt*, 116: 153-157. • MEYBURG (B.-U.), MEYBURG (C.) & PACTEAU (C.) 1996.– Migration automnale d'un Circaète Jean-Le-Blanc *Circaetus gallicus* suivi par satellite. *Alauda*, 64: 339-344. • MEYBURG (B.-U.), MEYBURG (C.) & BARBRAUD (J.-C.) 1998a.– Migration strategies of an adult Short-toed Eagle *Circaetus gallicus* tracked by satellite. *Alauda*, 66: 39-48. • MEYBURG (B.-U.), MEYBURG (C.), MIZERA (T.), MACIOROWSKI (G.) & KOWALSKI (J.) 1998b.– Greater Spotted Eagle wintering in Zambia. *Birds & Birding*, 3: 62-68. • MEYBURG (B.-U.), ELLIS (D.H.), MEYBURG (C.), MENDELSON (J.M.) & SCHELLER (W.) 2001.– Satellite tracking of two Lesser Spotted Eagles, *Aquila pomarina*, migrating from Namibia. *Ostrich*, 72: 35-40. • MEYBURG (B.-U.), MATTHES (J.) & MEYBURG (C.) 2002.– Satellite-tracked Lesser Spotted Eagle avoids crossing water at the Gulf of Suez. *British Birds*, 95: 372-376. • MEYBURG (B.-U.), PAILLAT (P.) & MEYBURG (C.) 2003.– Migration routes of Steppe Eagles between Asia and Africa: A study by means of satellite telemetry. *Condor*, 105: 219-227. • MEYBURG (B.-U.), MEYBURG (C.), BELKA (T.), SREIBR (O.) & VRANA (J.) 2004a.– Migration, wintering and breeding of a Lesser Spotted Eagle (*Aquila pomarina*) from Slovakia tracked by Satellite. *Journal of Ornithology*, 145: 1-7. • MEYBURG (B.-U.), GALLARDO (M.), MEYBURG (C.) & DIMITROVA (E.) 2004b.– Migrations and sojourn in Africa of Egyptian Vultures (*Neophron percnopterus*) tracked by satellite. *Journal of Ornithology*, 145: 273-280. • MEYBURG (B.-U.), MEYBURG (C.), MIZERA (T.), MACIOROWSKI (G.) & KOWALSKI (J.) 2005.– Family break up, departure, and autumn migration in Europe of a family of Greater Spotted Eagles (*Aquila clanga*) as reported by satellite telemetry. *J. of Raptor Res.*, 39: 462-466. • MEYBURG (B.-U.), MEYBURG (C.), MATTHES (J.) & MATTHES (H.) 2006.– GPS-Satelliten-Telemetrie beim Schreiadler (*Aquila pomarina*): Aktionsraum und Territorialverhalten. *Vogelwelt* 127: 127-144. • MEYBURG (B.-U.), MEYBURG (C.), FRANCK-NEUMANN, (F.) 2007a.– Why do female Lesser Spotted Eagles (*Aquila pomarina*) visit strange nests remote from their own? *Journal of Ornithology*, 148: 157-166. • MEYBURG (B.-U.), MEYBURG (C.), MATTHES (J.) & MATTHES (H.) 2007b.– Heimzug, verspätete Frühjahrsankunft, vorübergehender Partnerwechsel und Bruterfolg beim Schreiadler *Aquila pomarina*. *Vogelwelt*, 128: 21-31.

- RAFANOMEZANTSOA (S.), WATSON (R.T.) & THORSTROM (R.) 2002.– Juvenile dispersal of Madagascar Fish-eagles tracked by satellite telemetry. *J. Raptor Res.*, 36: 309-314.
- STEENHOF (K.), FULLER (M. R.), KOCHERT (M. N.) & BATES (K. K.) 2005.– Long-range movements and breeding dispersal of Prairie Falcons from southwest Idaho. *Condor*, 107:481-496.
- THORUP (K.), ALERSTAM (T.), HAKE (M.) & KJELLÉN (N.) 2003a.– Can vector summation describe the orientation system of juvenile Ospreys and Honey Buzzards? An analysis of ring recoveries and satellite tracking. *Oikos*, 103: 350-359. • THORUP (K.), ALERSTAM (T.), HAKE (M.) & KJELLÉN (N.) 2003b.– Bird orientation: compensation for wind drift in migrating raptors is age dependent. *Proceedings of the Royal Society of London*, B 270:S8-S11. • THORUP (K.), ALERSTAM (T.), HAKE (M.), & KJELLÉN (N.) 2006.– Travelling or stopping of migrating birds in relation to wind: an illustration for the Osprey. *Behav. Ecol.*, 17: 497-502.
- UETA (M.), SATO (F.), NAKAGAWA (J.) & MITA (N.) 2000.– Migration routes and differences of migration schedule between adult and young Steller's Sea Eagles *Haliaeetus pelagicus*. *Ibis*, 142: 35-39. • UETA (M.) & HIGUCHI (H.) 2002.– Difference in migration pattern between adult and immature birds using satellites. *Auk*, 119: 832-835.

ZUSAMMENFASSUNG

15 Jahre satellitentelemetrische Untersuchungen an Greifvögeln. Die Satelliten-Telemetrie (ST) hat die Erforschung der Biologie der Greifvögel revolutioniert, insbesondere die Untersuchung ihres Zuges, und bereits viele neue Erkenntnisse zutage gefördert. Sie wird dies in zunehmendem Masse auch in der Zukunft tun. Wir geben hier zunächst einen kurzen Überblick über die Entwicklung der Technik der ST sowie den derzeitigen Stand. Dabei lassen sich drei Zeitphasen unterscheiden, der Zeitraum in dem lediglich Sender mit Batteriebetrieb und Doppler-Ortung zur Verfügung standen, die Phase in der es Sender mit Solarbetrieb und Doppler-Ortung gab, und schließlich die letzte Phase, in der Sender mit GPS-Ortung eingesetzt werden können (TAB. I). Es werden Hinweise zur Planung von Projekten gegeben, bei denen diese Technik zum Einsatz kommen soll. Ferner findet sich in TAB. III eine Übersicht zu den Fragen, die sich mittels dieser Technik untersuchen lassen bzw. die bereits untersucht wurden. Wir berichten schließlich über einige Highlights eigener Telemetrie-Ergebnisse, die bei der Markierung von 146 Individuen zwischen 1992 und 2007 gewonnen werden konnten, die 14 Arten angehören (TAB. II).



ANNEXES

TABEAU II.– 146 rapaces appartenant à 14 espèces ont fait l'objet d'un suivi satellitaire entre 1992 et 2007 dans le cadre de notre programme ARGOS 1126.

Overview of the 146 raptors fitted with PTTs between 1992 and 2007 within the framework of our Argos program 1126.

| ESPÈCE | NOMBRE | PAYS OÙ ILS ONT ÉTÉ ÉQUIPÉS DE BALISES ET REMARQUES | Références & commentaires |
|--|--------|---|---|
| Aigle pomarin | 43 | Presque exclusivement des adultes, la plupart en Allemagne, mais aussi en Lettonie, Slovaquie, Namibie et Pologne | MEYBURG <i>et al.</i> 1993, 1995a, 2001, 2002, 2004a, 2006, 2007a-b, 2005 De nombreux résultats non encore publiés |
| Aigle criard | 14 | Surtout des adultes en Pologne (sauf 1) | MEYBURG <i>et al.</i> , 1995b, 1998, 2005 – La plupart des nombreux résultats n'ont pas encore été publiés |
| Hybrides d'Aigle pomarin et d'Aigle criard | 4 | 3 mâles adultes en Pologne et 1 juvénile en Allemagne | MEYBURG & MEYBURG 2007c – Les résultats concernant les adultes hybrides ne sont pas publiés |
| Aigle impérial | 19 | En Arabie Saoudite, Hongrie et Slovaquie | MEYBURG <i>et al.</i> , 1995d – L'étude d'un seul juvénile a été publiée |
| Aigle des steppes | 16 | Principalement en Arabie Saoudite | MEYBURG <i>et al.</i> , 2003 – Environ la moitié des données publiées |
| Balbusard pêcheur | 16 | Adultes en Allemagne uniquement | Aucun résultat publié jusqu'à maintenant |
| Milan royal | 10 | Adultes et juvéniles en Allemagne | Aucun résultat publié jusqu'à maintenant |
| Milan noir | 6 | Adultes en Allemagne | Aucun résultat publié jusqu'à maintenant |
| Bondrée apivore | 5 | Adultes en Allemagne | Aucun résultat publié jusqu'à maintenant |
| Circaète Jean-le-Blanc | 4 | En France: 1 capture et 3 réhabilitations | MEYBURG <i>et al.</i> , 1996, 1998a - Environ la moitié des données publiées à ce jour |
| Vautour percnoptère | 4 | Juvéniles: 2 en France, 1 en Bulgarie et 1 en Grèce | MEYBURG <i>et al.</i> , 2004b |
| Aigle de Wahlberg | 2 | Adultes en Namibie et Afrique du Sud | MEYBURG <i>et al.</i> , 1995c |
| Pygargue à queue blanche | 1 | Juvénile en Allemagne | MEYBURG <i>et al.</i> , 1994 - Environ la moitié des résultats publiés |
| Pygargue de Steller | 1 | Juvénile au Kamtchatka (Russie) | MEYBURG & LOBKOV, 1994 |
| Faucon pèlerin | 1 | Adulte en Arabie Saoudite | Aucun résultat publié jusqu'à maintenant |



TABLEAU III.— Quelques domaines de l'étude des rapaces pour lesquels les données recueillies grâce à la télémétrie par satellite ont permis de progresser et vont fournir des informations nombreuses dans l'avenir. Certaines références sont citées, d'autres peuvent être trouvées sur Internet

Topics and questions regarding raptors for which data from satellite telemetry have or are expected to provide information. Some references are provided and more can be found on the world wide web.

| | |
|----------------------------|---|
| Cycle annuel | Mouvements saisonniers (1) Changements selon les années (2) |
| Migration | Voies de migration (3) Variations individuelles (4) Barrières écologiques, lignes directrices (mer, montagnes, déserts) (5) Points de concentration: les individus passent-ils tous par un endroit précis, à quelles dates ? (6) Navigation et orientation (7) Période de migration et <i>timing</i> (8) Différences selon le sexe et l'âge, le statut de nidification (9) Vitesse et altitude de migration (10) Variations lors de la migration (11) Distances journalières parcourues (12) Comportement au cours de la journée, dortoirs (heures de départ et d'arrivée), alimentation (13) Conditions météorologiques (14) Conditions écologiques rencontrées sur les voies de migration |
| Hivernage | Situation géographique des zones d'hivernage (15) Découverte de nouvelles zones d'hivernage (16) Superficie des zones d'hivernage (17) Fidélité à ces zones plusieurs années consécutives (18) |
| Saison de reproduction | Dimensions du territoire, utilisation de l'habitat et comportement territorial (19) Dispersion, phylopatricité (20) Raisons d'une arrivée tardive sur le site de nidification (conditions météorologiques pendant la migration, retard au départ de la zone d'hivernage) (21) Stabilité des couples sur plusieurs années (22) Comportement des adultes non nicheurs (arrivée, fidélité au site de nidification en cas d'échec, nomadisme éventuel) |
| Mouvements des immatures | Zone de dispersion et émancipation Retour sur la zone de naissance ou séjour prolongé en zone "d'hivernage" (23) Comportement géographique |
| Survie, Mortalité, Menaces | Impact de l'activité humaine (24) Autres facteurs (climatiques, compétition intraspecificque) Survie et comportement des oiseaux réintroduits dans la nature (25) |
| Mouvements des hybrides | (26) |
| Quelques références | (1): BRODEUR <i>et al.</i> , 1996, FULLER <i>et al.</i> , 2003, MEYBURG <i>et al.</i> , 2003,2004a, STEENHOF <i>et al.</i> , 2005, (2): ALERSTAM <i>et al.</i> , 2006, (3): MEYBURG <i>et al.</i> , 1995a, b, c, BRODEUR <i>et al.</i> , 1996, FULLER <i>et al.</i> , 1998 ELLIS <i>et al.</i> , 2001, HIGUCHI <i>et al.</i> , 2005 (4): ALERSTAM <i>et al.</i> , 2006, (5): MEYBURG <i>et al.</i> , 2002, 2003, (6): (FULLER <i>et al.</i> , 1998, (7): HAKE <i>et al.</i> , 2001, THORUP <i>et al.</i> , 2003a,b, (8): KJELLEN <i>et al.</i> , 2001, MEYBURG <i>et al.</i> , 2004b, 2007b, (9): UETA <i>et al.</i> , 2000, UETA & HIGUCHI 2002, HAKE <i>et al.</i> , 2003, McGRADY <i>et al.</i> , 2003, MEYBURG <i>et al.</i> , 2005, 2007b, (10): MEYBURG <i>et al.</i> , 1995a,b,c, KJELLEN <i>et al.</i> , 2001, (11): MEYBURG <i>et al.</i> , 1998a, 2007b, (12): FULLER <i>et al.</i> , 1998, MEYBURG <i>et al.</i> , 1998a, 2004a, (13): MEYBURG <i>et al.</i> , 1998a, (14): MEYBURG <i>et al.</i> , 1998a, THORUP <i>et al.</i> , 2003, 2006, (15): MARTELL <i>et al.</i> , 2001, HAINES <i>et al.</i> , 2003, (16): MEYBURG <i>et al.</i> , 1998b, (17): McGRADY <i>et al.</i> , 2002, MEYBURG <i>et al.</i> , 2004a, (18): FULLER <i>et al.</i> , 2003, MEYBURG <i>et al.</i> , 2004a, MEYBURG & MEYBURG 2005, (19): MEYBURG <i>et al.</i> , 2006, (20): RAFANOMEZANTSOA <i>et al.</i> , 2002, STEENHOF <i>et al.</i> , 2005, (21): MEYBURG <i>et al.</i> , 2007b, (22): MEYBURG <i>et al.</i> , 2007a, (23): MEYBURG <i>et al.</i> , 2004b, (24): EASTHAM <i>et al.</i> , 2000, (25): MEYBURG <i>et al.</i> , 1996, (26): MEYBURG & MEYBURG 2007c |

