



## **Biologie et génétique des populations de flamants roses, *Phoenicopterus ruber roseus*: application à la conservation de l'espèce**

### **Encadrants:**

- Prof. Frank Cézilly & Dr. Rémi Wattier, Equipe Ecologie Evolutive, UMR CNRS 5561 Biogéosciences, Université de Bourgogne, Dijon.
- Dr. Arnaud Béchet, Tour du Valat, Arles.

**Merci d'envoyer les candidatures avant le 20 juin à M. le Prof. Frank Cézilly :**  
[Frank.Cezilly@u-bourgogne.fr](mailto:Frank.Cezilly@u-bourgogne.fr)

### **Résumé**

La conservation des espèces d'oiseaux d'eau coloniaux nécessite de connaître à la fois leur structure métapopulationnelle et les facteurs qui conditionnent leur succès reproducteur. Le Flamant rose, *Phoenicopterus roseus*, espèce emblématique de la conservation des zones humides, possède une large distribution géographique mais n'exploite qu'un nombre très limité de sites pour sa reproduction. Une meilleure connaissance du fonctionnement métapopulationnel de l'espèce et des causes de variation de son succès reproducteur représentent donc deux enjeux majeurs pour la conservation de l'espèce. L'objet de cette thèse est de contribuer efficacement aux mesures de gestion, d'une part en établissant le degré de connectivité existant entre les différents sous-ensembles populationnels décrits jusqu'à présent, et d'autre part en évaluant quantitativement la contribution de différents facteurs endogènes et exogènes au succès reproducteur.

Mots-clés : biologie de la conservation, génétique des populations, gestion des populations, métapopulation, succès reproducteur,

### **Introduction générale**

La conservation rationnelle des populations d'oiseaux d'eaux coloniaux, dont les sites de nidification se distribuent le plus souvent sur une vaste étendue, exige une bonne compréhension des échanges entre ces sites, ainsi que des causes de variation du succès reproducteur à l'intérieur des sites au cours du temps et entre sites (Martinez-Abraïn 2003, Ruokonen et al. 2004, Tiedemann et al. 2004, Jones et al. 2005, Szczys et al. 2005, Redi et al. 2006).

La population mondiale de Flamants roses, *Phoenicopterus roseus*, est largement cosmopolite mais on dénombre moins de 15 sites de reproduction pour l'ensemble du bassin méditerranéen (Johnson & Cézilly 2007). La plupart des sites de reproduction sont des îlots situés sur des lagunes côtières ou intérieures. Ces sites sont très souvent menacés par des activités humaines (drainage, pression immobilière, agricole, industrielle ou touristique) et risquent d'être fortement affectés par les changements climatiques à venir. Ainsi, si les flamants roses sont relativement abondants, leur reproduction (et donc à long terme la pérennité de l'espèce) reste très vulnérable. Les programmes de marquage initiés dans différents zones de l'aire de distribution de l'espèce ont permis d'acquérir un certain nombre d'informations sur la démographie de l'espèce (taux de survie adulte: Cézilly et al. 1996, Tavecchia et al. 2001; taux de recrutement: Pradel et al. 1997) et sur son écologie (Cézilly 1993, Cézilly & Johnson 1995, Cézilly et al. 1994a, 1995, 1997). Cependant, la mise en place d'une stratégie de conservation des Flamants roses doit reposer sur la connaissance de la façon dont ces oiseaux seraient affectés si un ou plusieurs de leurs sites de reproductions étaient transformés par les activités humaines ou par des changements importants des conditions environnementales telles que la montée de la mer associée au réchauffement climatique. Dans ce contexte il apparaît nécessaire de comprendre à la fois le fonctionnement métapopulationnel de l'espèce Flamant rose à l'échelle de l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce, et les causes de variation du succès reproducteur au sein des colonies, afin de coordonner efficacement les politiques de conservation.



## 1. Objectifs du travail de thèse

Le projet de thèse est construit autour de deux objectifs:

- comprendre le fonctionnement métapopulationnel à partir de la structuration génétique des sous-ensembles populationnels;
- analyser les sources de variation du succès reproducteur, principalement à partir de l'analyse des données acquises en Camargue au cours des 20 dernières années.

### 1.1. Fonctionnement métapopulationnel

#### a) Justification de l'approche

La théorie des métapopulations semble être particulièrement pertinente dans le cadre de la conservation des espèces d'oiseaux coloniaux aquatiques du fait que leur probabilité d'extinction à un échelle régionale dépend de façon critique des flux de migrants efficaces entre les différentes colonies de reproduction (Hanski 1999, Esler 2000). Estimer le degré de connexion entre les différents sites de reproduction constitue donc un prérequis dans l'optique de comprendre la dynamique populationnelle d'une espèce comme le Flamant rose et de proposer des mesures propices à assurer sa pérennité.

Le Flamant rose présente un patron de dispersion particulier, certains individus effectuant des migrations plus ou moins régulières entre des zones géographiques disjointes, tandis que d'autres manifestent un comportement plus nomadique. L'aire de répartition de l'espèce comprend les lagunes saumâtres ou salées du bassin méditerranéen, l'est, l'ouest et le sud du continent Africain et le sud et le sud-ouest de l'Asie (Johnson & Cézilly 2007). La structuration de cette population mondiale, dont l'effectif est estimée à environ 500 000 individus (Wetland International 2002), est encore mal connue. Au sein du bassin méditerranéen, l'existence de deux populations distinctes est généralement admise, avec un sous-ensemble occidental comportant 100 000 individus et un sous-ensemble oriental, censé inclure la partie asiatique de l'aire de répartition de l'espèce, estimé à 290 000 individus (Wetlands International 2002). Le premier sous-ensemble est connecté aux populations reproductrices de l'ouest de l'Afrique, tandis que le second entretient probablement un flux de migrants avec les populations d'Afrique de l'Est. Les liens potentiels entre les populations du sud de l'Afrique avec les populations Est- et Ouest-Africaines et, au-delà, avec les populations Eurasiennes n'ont pas encore reçu de confirmation (Johnson & Cézilly 2007). Des données récentes (Balkiz et al. 2007) ont cependant permis de mettre en évidence un recrutement significatif d'individus issus des sites de reproduction de l'ouest du bassin méditerranéen au sein des colonies de reproduction installées en Turquie, ainsi qu'une dispersion après l'envol des individus nés en Turquie vers l'ouest du Bassin Méditerranéen. Ces observations démontrent l'existence de connexions entre deux sous-ensembles qui ne peuvent être considérés comme indépendants. Cependant, les conséquences de ces connexions en termes de structuration génétique des populations demeurent inconnus.

Plusieurs études réalisées à partir de l'observation d'individus marqués sur leur colonie de naissance ont permis de documenter les échanges d'individus entre sites relativement proches (Nager et al. 1996, Barbraud et al. 2003, Balkiz et al. 2007; voir Johnson & Cézilly 2007 pour une synthèse). Une dispersion à plus large échelle a aussi été observée. Ainsi des flamants roses bagués en Iran ont été réobservés au nord-ouest jusqu'en France et au sud-est jusqu'en Inde et au Sri-Lanka (Johnson & Cézilly 2007). En conséquence, il a été proposé que les flamants roses constituent une large métapopulation (Hanski 1990), structurée par les mouvements de dispersion natale et de dispersion de reproduction qui s'opèrent entre colonies (Balkiz et al. 2007, Johnson & Cézilly 2007).

#### b) Aspects méthodologiques

De façon générale il y a souvent eu peu de liens entre les approches démographique et génétique dans l'étude des populations, alors qu'elles sont intimement liées (Lande 1988, Robert et al. 2004). Le lien entre ces deux approches offre un grand potentiel pour une meilleure compréhension de la métapopulation de flamants roses. Si les observations d'oiseaux bagués peuvent donner de bonnes estimations des flux d'individus entre colonies proches des lieux de baguage (Italie, France et Espagne par exemple), ces observations se font plus rares dès qu'on s'en éloigne. Pour des colonies situées en bordure de l'aire d'étude principale (la Méditerranée), des analyses génétiques s'avèrent indispensables pour estimer les flux de migrants efficaces.

Le présent projet propose de d'obtenir des marqueurs génétiques pour analyser des prélèvements sanguins en provenance de l'ensemble de l'aire géographique de cette espèce (soit la collecte et l'analyse d'environ 800 échantillons, à savoir une quarantaine pour chaque site), en échantillonnant en particulier en Inde, Afrique de l'Ouest, Afrique de l'est, et Afrique du Sud, afin de déterminer la structuration génétique entre colonies et les flux de gène. Cette approche devrait permettre de

préciser l'existence ou non de sous-espèces et de préciser les entités populationnelles de gestion appropriées.

Deux types de marqueurs génétiques seront utilisés (Webster et al. 2002):

- Les haplotypes issus de l'ADN mitochondrial (ADNmt) ont été régulièrement utilisés au sein des études portant sur la phylogéographie et la biologie des populations d'oiseaux (Bensch & Hasselquist 1999, Wennerberg 2001, Ruokonen et al. 2004, Jones et al. 2005). Ce type d'approche permettra d'identifier d'éventuelles entités biogéographiques et de préciser l'existence ou non de sous-espèces. Une étude récente sur le degré de différenciation génétique entre deux populations de flamants nains (*Phoenicopterus minor*) en Afrique Australe (Zaccara et al in press) a montré la pertinence d'une telle approche.

- Les microsatellites constituent un marqueur nucléaire particulièrement performant pour étudier la structuration fine des populations du fait même de leur niveau élevé de polymorphisme. Ils permettent par exemple de mesurer l'étendue de la diversité allélique au sein des populations, ce qui constitue une information capitale en biologie de la conservation (Szczys et al. 2005). Leur utilisation combinée à celle de l'ADNmt peut être particulièrement intéressante (Helbig et al.).

Nous envisageons d'utiliser deux marqueurs mitochondriaux (ND2 et Cytb) et une dizaine de marqueurs microsatellites pour évaluer le degré de connectivité entre les différentes populations de flamants roses à l'échelle de l'aire de répartition de l'espèce. A cette fin notre analyse portera sur des prélèvements sanguins et/ou des plumes portant sur environ 40 individus par population pour 18 à 20 populations, en échantillonnant en particulier en Inde, Afrique de l'Est, Afrique de l'Ouest et Afrique du Sud. L'analyse des données, suivant les méthodes proposées par Pritchard et al. (2000), Wilson & Ramala (2003), Knowles & Maddison (2002), Templeton (1998) et Excoffier (2004), doit permettre de préciser la structuration génétique des populations, et de déceler les événements de migration anciens et récents. Cette information sera particulièrement importante pour déterminer les entités populationnelles de gestion appropriées.

## 1.2. Causes de variation du succès reproducteur

Déterminer les causes de variation du succès reproducteur, et l'influence des facteurs environnementaux sur cette variable clé, est un enjeu majeur en termes de conservation. Les précédents travaux (Cézilly et al. 1995, Béchet & Johnson 2007, Johnson & Cézilly 2007) ont permis de mettre en évidence chez le Flamant rose un lien entre le succès reproducteur global et les conditions environnementales (niveaux d'eau en Camargue), ainsi qu'un effet de l'âge des individus. Toutefois, l'influence de l'interaction entre ces deux facteurs reste à apprécier. Cette question est particulièrement importante par rapport à la dynamique de formation des nouvelles colonies. Le déclin de l'industrie salinière en zone méditerranéenne, associée à la régression des zones humides, constitue une menace pour les colonies de flamants. La suspension des activités au sein du complexe des Salins de Giraud en 2007 a ainsi eu pour conséquence directe l'arrêt de la reproduction des flamants roses en un lieu qui constituait jusqu'à présent le site de reproduction le plus stable dans le temps à l'échelle du bassin méditerranéen (Johnson & Cézilly 2007). La capacité de la population à se maintenir à l'échelle régionale pourrait donc à l'avenir dépendre de la colonisation de nouveaux sites. Traditionnellement, l'occupation de nouveaux sites est le fait d'individus jeunes et peu expérimentés. Par ailleurs, le succès reproducteur tend à avoir une influence positive sur la fidélité au site de reproduction. D'où l'urgence à comprendre comment les facteurs endogènes tels que l'âge (voir Forslund & Pärt 1995) interagissent avec les conditions environnementales pour déterminer le succès reproducteur des individus.

La Tour du Valat dispose d'une base de données unique, construite à partir du suivi d'individus marqués à la naissance en Camargue. En particulier, les observations de ces mêmes individus, et d'autres issus d'autres colonies de reproduction (Espagne), menées à la colonie du Fangassier pendant plus de 25 ans, permettent l'emploi de techniques statistiques modernes pour cerner les causes des variations du succès reproducteur. A cette base de données s'ajoutent les données météorologiques (pluviométrie, température, force du vent) enregistrées en Camargue pendant la saison de reproduction, et qui permettent de relier les performances reproductives aux conditions environnementales.

Afin de procéder à cette analyse globale, nous aurons recours aux modèles d'analyse de capture-marquage-recapture de type *multi-états* (Nichols & Kendall 1995, Tavecchia et al. 2001, Gimenez et al. 2003). Une première tentative d'application de ces modèles aux données relatives au succès reproducteur des flamants roses en Camargue a été effectuée en 2007 dans le cadre du master recherche de Lucie Schmalz à l'Université de Bourgogne. Bien que ce travail préliminaire n'ait pris en compte qu'une seule année, les résultats obtenus (notamment en ce qui concerne la démonstration

d'un effet additif des conditions environnementales avec l'âge des individus sur le succès reproducteur) incitent à poursuivre l'analyse sur un plus grand nombre d'années.

## 2. Retombées du projet de thèse

Compte-tenu de la qualité de la base de données dont dispose la station biologique de la Tour du Valat et des publications qui en sont issues précédemment, il est raisonnable de prévoir une bonne valorisation du travail de thèse dans des revues internationales de premier plan. Le caractère emblématique de l'espèce devrait aussi contribuer à favoriser la diffusion des résultats à travers des articles de vulgarisation. Enfin ce projet de thèse s'inscrit parfaitement dans le projet de positionner l'Institut Buffon, auquel est rattachée l'UMR Biogéosciences, en tant que centre de référence national en biologie des populations, écologie évolutive et biologie de la conservation.

## Bibliographie

- Balkiz, Ö., Özesmi, U., Pradel, R., Germain, C., Siki, M., Amat, J., Rendon-Martos, M., Baccetti, N. & Béchet, A. 2007. *Journal of Ornithology* 148, 347-355
- Barbraud, C., Johnson, A. R. & Bertault, G. 2003. *Journal of Animal Ecology* 72: 246-257.
- Béchet, A. & Johnson, A. R. (2007). *Ibis*. Online Early. doi: 10.1111/j.1474-919x.2007.00740.x
- Cézilly, F. 1993.. *Animal Behaviour*, 45 : 1038-1040.
- Cézilly, F. Tourenq, C. & Johnson, A.R. 1994a. *Condor* 96 : 809-812.
- Cézilly, F. Gowthorpe, P., Lamarche, B. & Johnson, A. R. 1994b. *Colonial Waterbirds* 17 : 181-183
- Cézilly, F., Boy, V. Green, R., Hiron, G.H.M. & Johnson, A. R. 1995. *Ecology* 76 : 20-26.
- Cézilly, F. & Johnson, A. R. 1995. *Ibis* 137 : 543-546.
- Cézilly, F., Viallefont, A., Boy, V. & Johnson, A. R. 1996. *Ecology* 77 : 1143-1150.
- Cézilly, F., Boy, V. Tourenq, C.J. & Johnson, A. R. 1997. *Ibis* 139: 331-336.
- Esler, D. 2000. *Conservation Biology* 14:366–372
- Excoffier, L. 2004 *Molecular Ecology*. 13: 853-864.
- Forslund, P. & Pärt, T.. 1995. Age and reproduction in birds-Hypotheses and tests. *Trends in Ecology and Evolution* 10:374-378
- Gimenez, O. Choquet, R. & Lebreton, J.-D. 2003. *Biometric Journal* 45: 704-722.
- Hanski, I. 1999. *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press, Oxford.
- Helbig, A., Salomon, M., Bensch, S. & Seibold, I. 2001. *Journal of Evolutionary Biology* 14: 277-287.
- Johnson, A.R. & Cézilly, F. 2007. *The Greater Flamingo*. Poyser, Londres.
- Jones, K.L., Krapu, G.L., Brandt, D.A. & Ashley, M.V. 2005. *Molecular Ecology* 14: 2645-2657.
- Knowles L.L. & Maddison, W.P. 2002. *Molecular Ecology*. 11: 2623-2635.
- Lande, R. 1988. *Science* 241: 1455-1460.
- Martinez-Abraín, A., Oror, D., Forero, M.G. & Conesa, D. 2003. *Population ecology* 45: 133-139.
- Nager, R.G., Johnson, A. R., Boy, V., Rendon-Martos, M., Calderon, J. & Cézilly, F. 1996. *Oecologia* 107 : 204-211.
- Nichols, J.D. Kendall, W.L. 1995. *Journal of Applied Statistics* 22: 835-846.
- Pradel, R., Johnson, A. R., Nager, R. Viallefont, A. & Cézilly, F. 1997. *Ecology* 78 :1431-1445.
- Pritchard, J.K., Stephens, M. & Donnelly, P. 2000. *Genetics* 155: 945-959.
- Reid, J.M., Bignal, E.M., Bignal, S., McCracken, D.I. & Monaghan, P. 2006. *Journal of Animal Ecology* 75: 1201-1211.
- Robert, A., Sarrazin, F., Couvet, D. & Legendre, S. 2004. *Conservation Biology* 18: 1078-1087.
- Ruokonen, M. Kvist, L., Aarvak, T., Markkola, J., Morozov, V.V., Øien, I.J., Syroechkosky Jr., E.E., Tolvanen, P. & Lumme, J. 2004. *Conservation Genetics* 5: 501-512.
- Szczyś, P., Hughes, C.R. & Kesseli, R.V. 2005. *Conservation Genetics* 6: 461-466.
- Tavecchia, G., Pradel, R., Boy, V., Johnson, A. R. & Cézilly, F. 2001. *Ecology* 82: 165-174.
- Templeton, A.R. 1998. *Molecular Ecology*. 7 381-397.
- Tiedemann, R., Paulus, K.B., Scheer, M., Von Kitowski, K.G., Skirnisson, K., Bloch, D. & Dam, M. 2004. *Molecular Ecology* 13: 1481-1494.
- Webster, M.S., Marra, P.P., Haig, S.M., Bensch, S. & Holmes, R.T. 2002. *Trends in ecology and Evolution* 17: 76-83.
- Wetlands International. 2002. *Waterbird population estimates*, 3rd edn. Global series no. 12. Wetlands International, Wageningen.
- Wilson, G.A. & Ramala, B. 2003. *Genetics* 163: 1177-1191.
- Zaccara, S., Crosa, G. Childress, B., McCullough, G. & Harper, D.M. *Ibis*, in press.