



AGIR pour la
BIODIVERSITÉ

Eolien et biodiversité

Séminaire
2017



21 et 22 novembre

Artigues-près-Bordeaux



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE





AGIR pour la
BIODIVERSITÉ

Eolien et biodiversité

Séminaire
2017



21 et 22 novembre

Artigues-près-Bordeaux

Impact des mortalités additionnelles induites par les collisions avec les éoliennes pour la viabilité des populations de Faucons crécerellette.

Nicolas Saulnier (LPO), Olivier Duriez (CEFE),
Aurélien Besnard (CEFE), Patrick Boudarel (DREAL Occitanie), Philippe
Pilard (LPO),





Impact démographique des collisions éoliennes pour les oiseaux

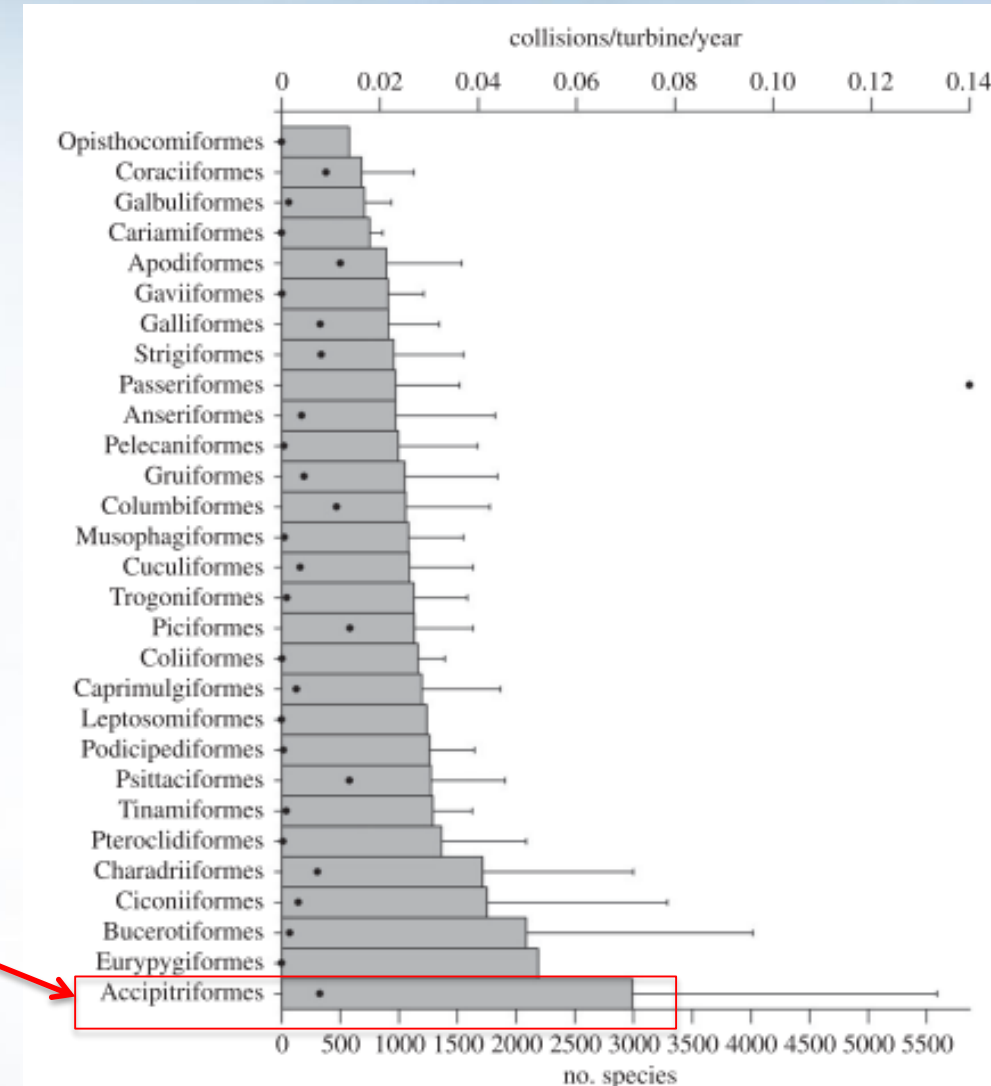
- Nombreuses études sur les collisions ou la manière de suivre la mortalité
- Manque d'étude sur **l'impact à long terme des collisions** sur les populations d'oiseaux
 - Similitudes avec les études de dynamique des populations des populations exploitées (chasse, pêche)





Impact démographique des collisions éoliennes pour les oiseaux

- Nombreuses études sur les collisions ou la manière de suivre la mortalité
- Manque d'étude sur **l'impact à long terme des collisions** sur les populations d'oiseaux
 - Similitudes avec les études de dynamique des populations des populations exploitées (chasse, pêche)
- Études essentiellement sur grandes espèces à cycle de vie lent (cigognes, rapaces, oiseaux marins)
 - Fort impact démographique des surmortalités éoliennes
 - Rapaces diurnes = groupe le plus vulnérable (Thaxter et al 2017)
- **Impact sur espèce à cycle de vie court?**



Le Faucon crécerellette (Lesser kestrel) *Falco naumanni*



Photo : Philippe Pilard ©

Famille Falconidae

Cycle de vie rapide

- Age première reproduction = 2 ans
- Forte productivité (nichée 1-5 œufs)
- Espérance de vie < 10 ans

Insectivore spécialisé

Chasse en milieu ouverts et garrigues

Migrateur longue distance (Sahel)

Impact pluviométrie Sahel sur la survie des jeunes



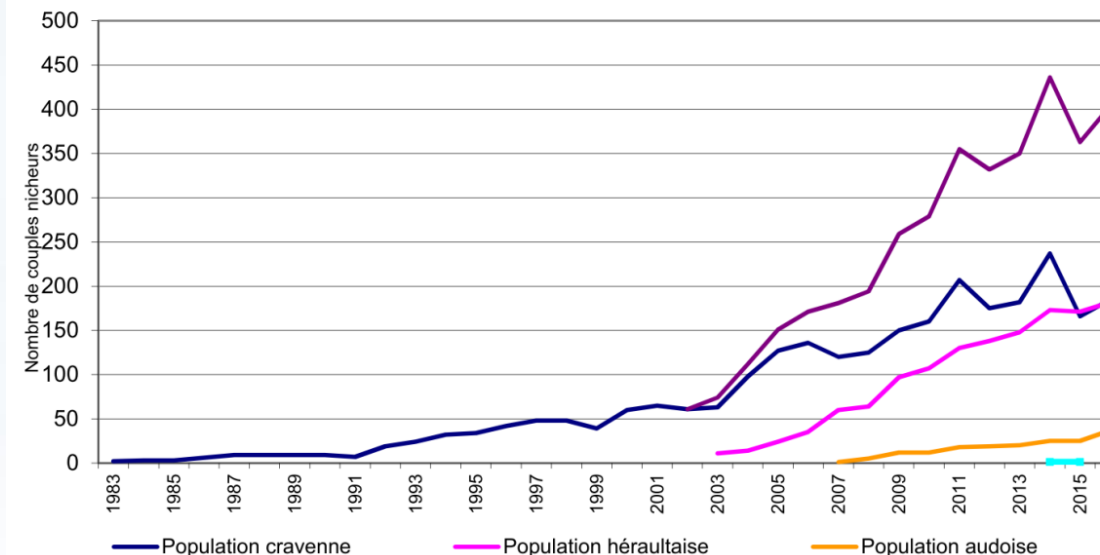


Le Faucon crécerellette (Lesser kestrel) *Falco naumanni*

Statut UICN = vulnérable en France

Espèce listée parmi les espèces à la vulnérabilité aux collisions éoliennes par Thaxter et al 2017

Plan national d'Actions, programmes LIFE



Plaine de la Crau:
quelques couples en
1983
➔ 185 couples en 2016

Hérault: découverte en 2002 de 11 couples
dans un village (installation spontanée)
➔ 182 couples en 2016

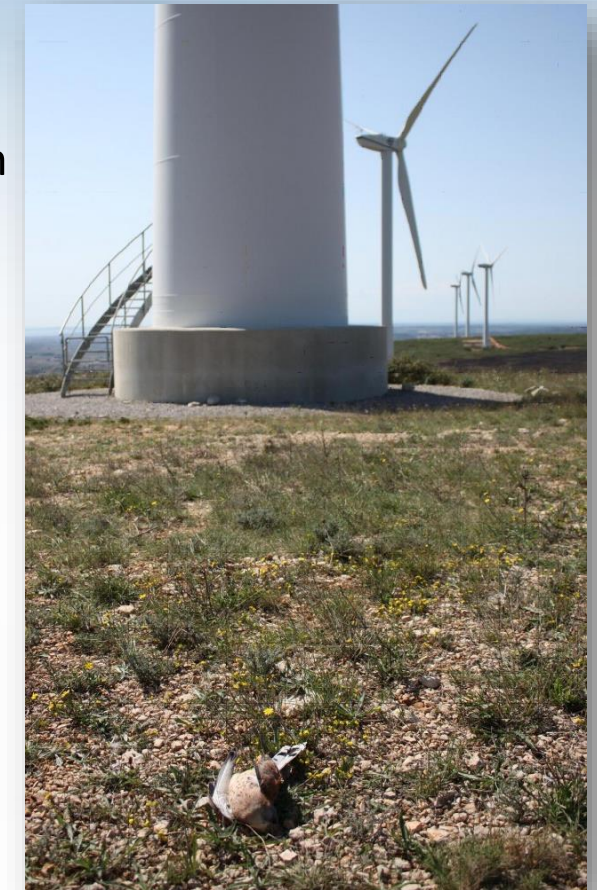
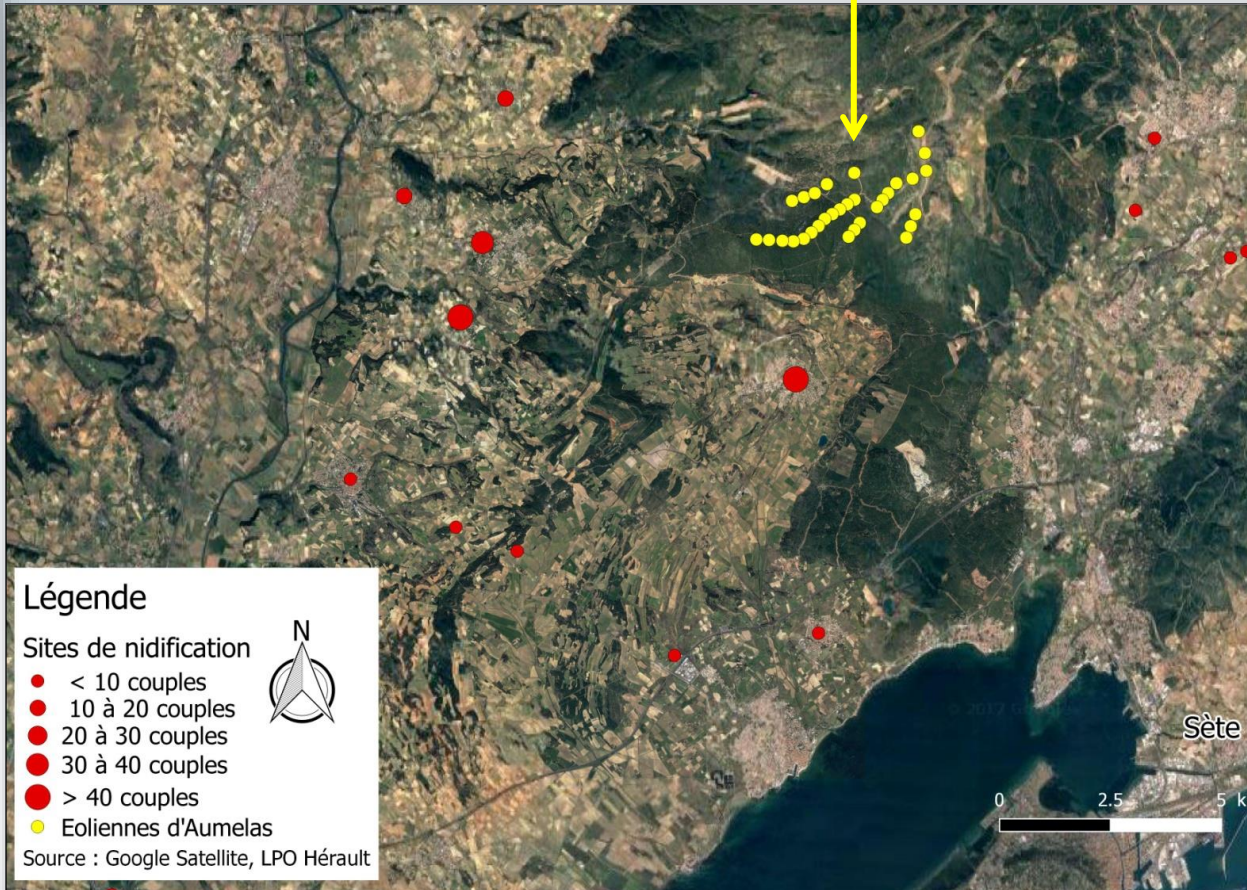
Aude: réintroduction 2007
➔ 37 couples en 2016



Le contexte Héraultais

Causse d'Aumelas

2006-2014: installation progressive de 31 éoliennes à moins de 10 km des principales colonies



➔ 31 cadavres trouvés
entre 2010 et 2016



Problématique

Quel impact démographique à long terme aurait une surmortalité due aux collisions par éoliennes pour la croissance de la population héraultaise de Faucons crécerellettes ?

1. Estimation paramètres vitaux: survie (CMR), fécondité, immigration
2. Estimation mortalité par éoliennes
3. Simulations démographiques avec projections sur 20 ans





1. Estimation paramètres vitaux: population et fécondité

Méthodes

➤ fécondité: suivi de terrain Hérault

- Dénombrement couples nicheurs
 - Dénombrement poussins à l'envol
- ➔ succès reproducteur





1. Estimation paramètres vitaux: population et fécondité

Méthodes

➤ fécondité: suivi de terrain Hérault

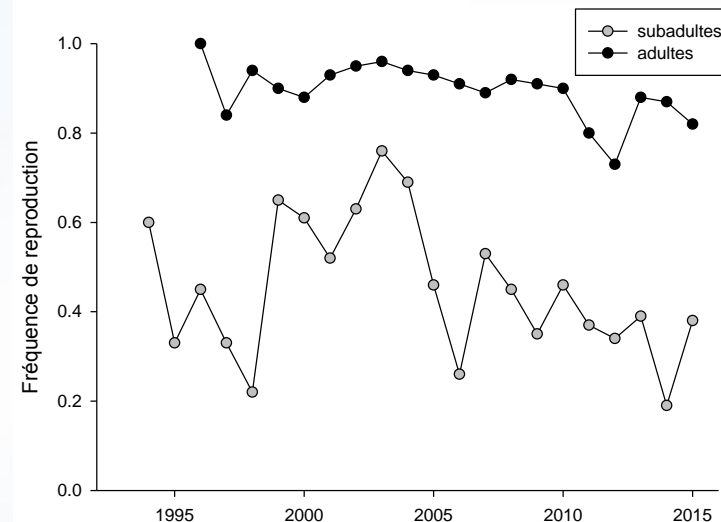
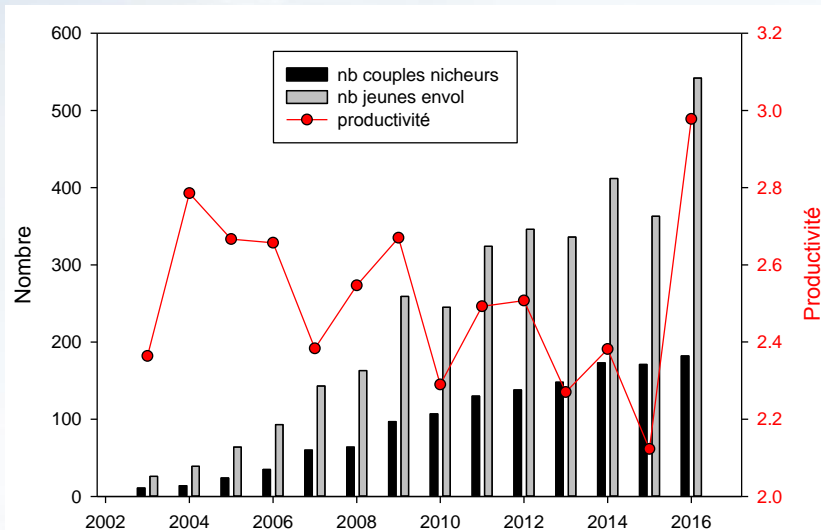
- Dénombrement couples nicheurs
- Dénombrement poussins à l'envol
- ➔ succès reproducteur

Résultats

Hérault:

Croissance population

Fortes variations de productivité (2.1-3 poussin / couple)



Crau:

Fréquence de reproduction

- Elevée (90%) et stable et chez adultes
- Faible (20-80%) et variable chez subadultes





1. Estimation paramètres vitaux: survie

Méthodes

➤ Données de la Crau

- Couples en niohirs / sol
- Marquage de 250 poussins / an
- Gros effort de contrôles de bagues (≈ 300 /an)
- Mihoub 2010: variations survie surtout liées aux variations pluviométrie Sahel et peu aux conditions météo en période de reproduction
 - ➔ hypothèse variations environnementales similaires Crau / Hérault



Photo : Philippe Pilard ©





1. Estimation paramètres vitaux: survie

Méthodes

➤ Données de la Crau

- Couples en niohirs / sol
- Marquage de 250 poussins / an
- Gros effort de contrôles de bagues (≈ 300 /an)
- Mihoub 2010: variations survie surtout liées aux variations pluviométrie Sahel et peu aux conditions météo en période de reproduction
 - ➔ hypothèse variations environnementales similaires Crau / Hérault



Photo : Philippe Pilard ©

➤ Analyse de survie: Modèles de Capture-Marquage-Recapture

- Période 23 ans = 1994-2016
- Codage histoires de vie mono-état
 - Vu (vivant)= 1
 - Non vu = 0

```

10000000000 129 ;
10010000000 1 ;
10011100000 1 ;
10100000000 4 ;
10110000000 3 ;
10111100000 2 ;
10111111000 1 ;
10111111110 1 ;
11000000000 20 ;
11010000000 1 ;
11011111000 1 ;
11100000000 13 ;
11100100000 1 ;
11110000000 8 ;
11111000000 8 ;
11111100000 2 ;
11111110000 5 ;
11111111000 2 ;

```

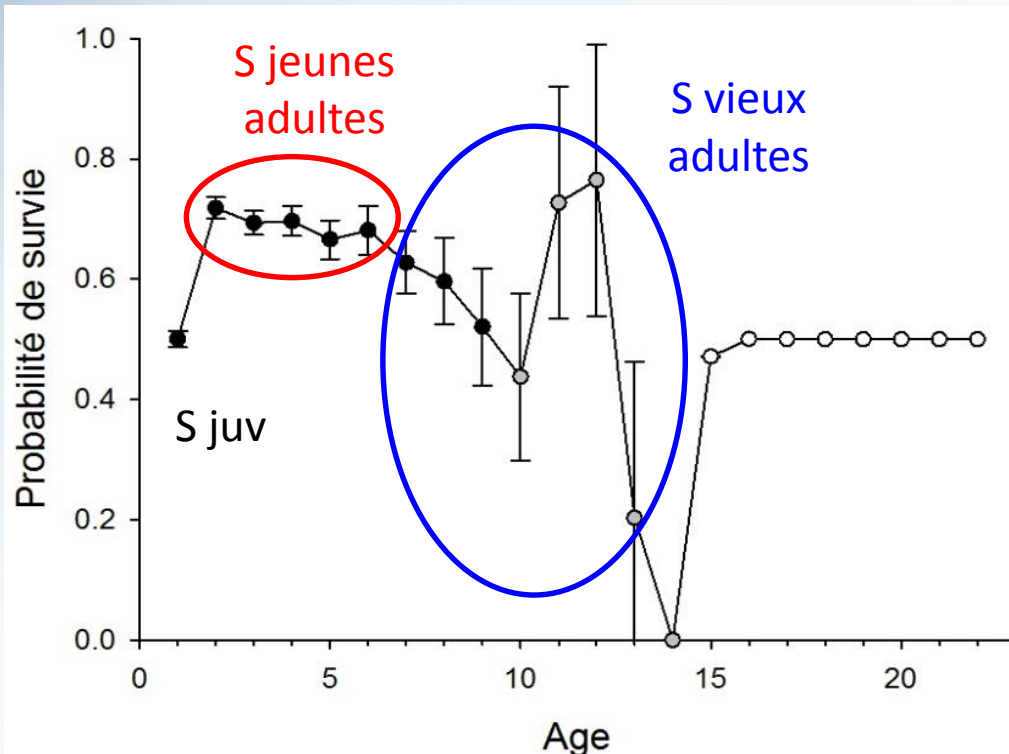


1. Estimation paramètres vitaux

Résultats survie

Probabilité de survie (\pm SE) en fonction de l'âge des individus.

A partir de 10 ans, les estimations ne reposent plus que sur une vingtaine d'individus (points gris) et sur aucun individu à partir de 15 ans (points blancs).



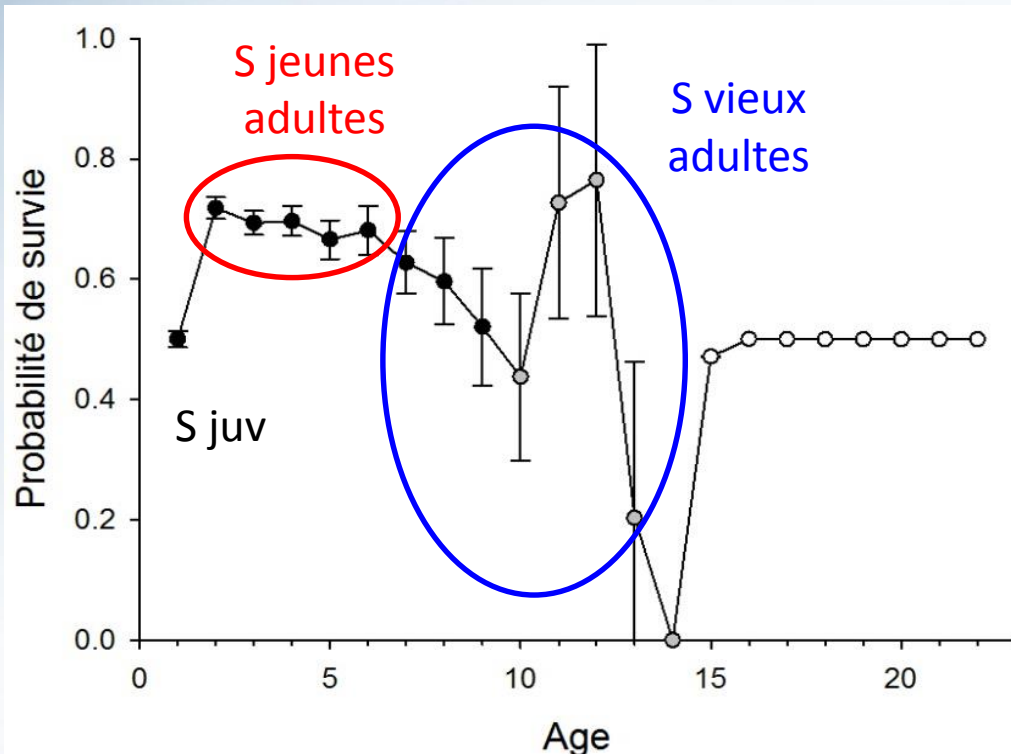


1. Estimation paramètres vitaux

Résultats survie

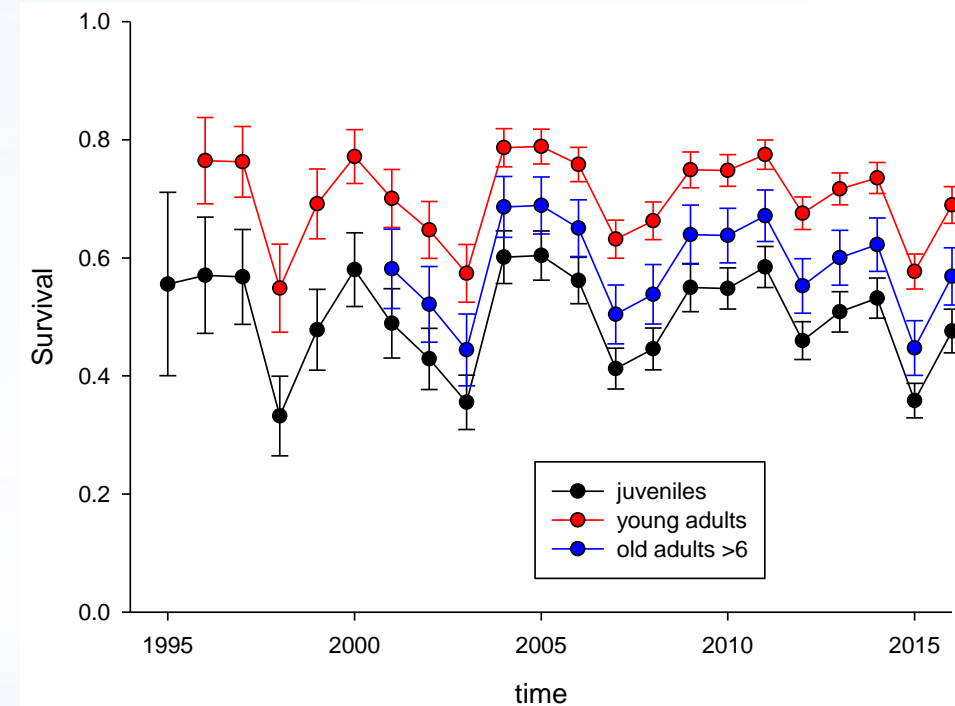
Probabilité de survie (\pm SE) en fonction de l'âge des individus.

A partir de 10 ans, les estimations ne reposent plus que sur une vingtaine d'individus (points gris) et sur aucun individu à partir de 15 ans (points blancs).



Probabilités de survie annuelle (\pm SE) avec un effet additif sur le temps en fonction de trois classes d'âge

- Juvéniles (en noir),
- Jeunes adultes (entre 2 et 6 ans, en rouge)
- vieux adultes (entre 7 et 14 ans, en bleu).





1. Estimation paramètres vitaux

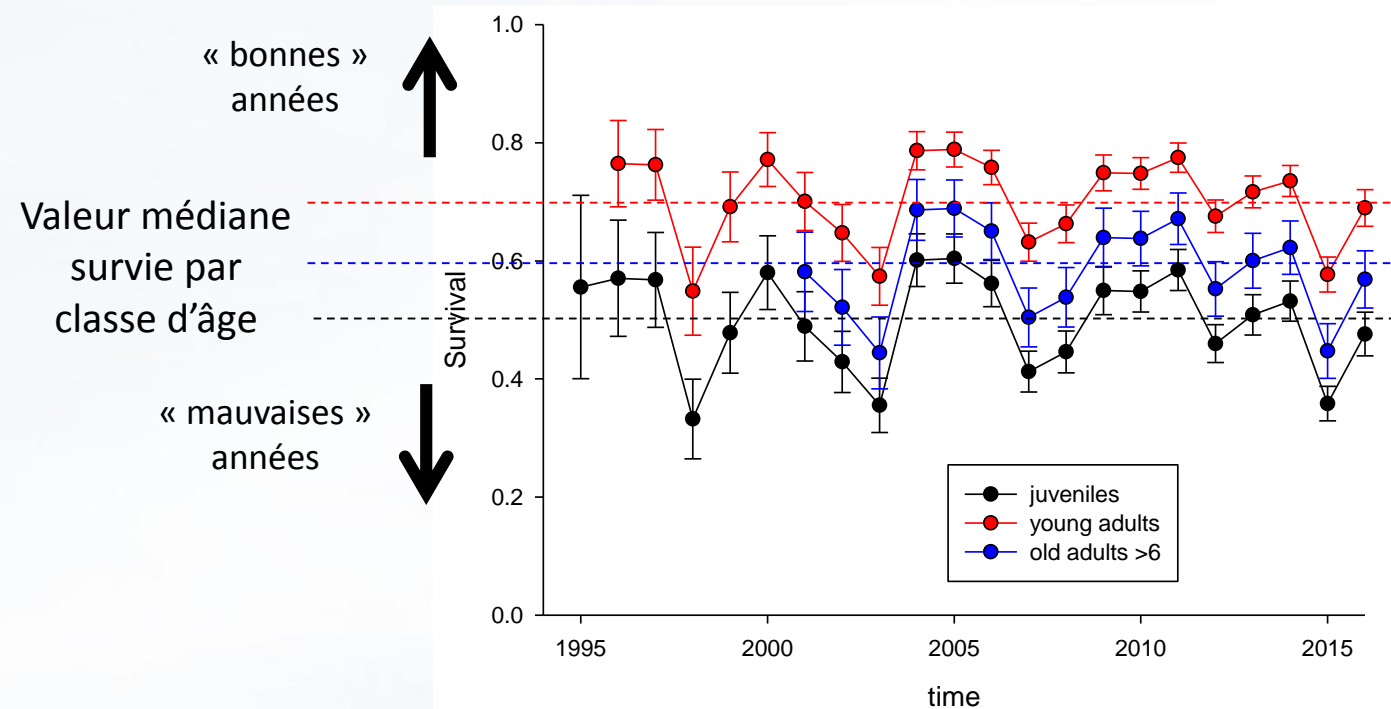
Résultats survie

Probabilité de survie (\pm SE) en fonction de l'âge des individus.

	survie	s0	s1	s2
	Age	juvénile	Jeune adulte	vieil adulte
bonne année	Moy.	0.57	0.76	0.66
	SE	0.06	0.04	0.05
mauvaise année	Moy.	0.43	0.65	0.53
	SE	0.04	0.04	0.05

Probabilités de survie annuelle (\pm SE) avec un effet additif sur le temps en fonction de trois classes d'âge

- Juvéniles (en noir),
- Jeunes adultes (entre 2 et 6 ans, en rouge)
- vieux adultes (entre 7 et 14 ans, en bleu).





2. Estimation taux mortalité par éoliennes

Méthodes

Protocole de terrain

- 1 observateur,
- 2 passages par aérogénérateurs et par semaine,
- 2 jours minimum entre 2 prospections,
- $\approx 0,53$ ha / éolienne (correction surfacique)
- test de détectabilité
- test de disponibilité

Sous-estimation probable de la mortalité

➔ Corrections statistiques, prenant en compte l'effort de recherche et le temps de persistance des cadavres

➔ 4 formules

- Winkelman (1989)
- Erikson (2000)
- Jones (2009)
- Huso (2010)





2. Estimation taux mortalité par éoliennes

Résultats

31 cadavres trouvés en 6 années

→ 4 formules: nombre de cadavres estimés sur les 6 années

- Winkelman (1989) → 160.04
- Erikson (2000) → 68.11
- Jones (2009) → 106.63
- **Huso (2010) → 99.80** (facteur multiplicatif = $99.8/31 = 3.20$)
 - Sur 6 années → 6.5 cadavres trouvés tous ages/sexes confondus.
 - En ajoutant le facteur de correction → $6.5 * 3.2 = 20.8$ individus tués par an
 - Soit 10.4 femelles tuées

En considérant une population de 260 femelles sur les dernières années (structure en âge stable du modèle matriciel: 190 femelles reproductrices et 70 non reproductrices)

- **Estimation 10.4/260 femelles = 4% de mortalité par an**

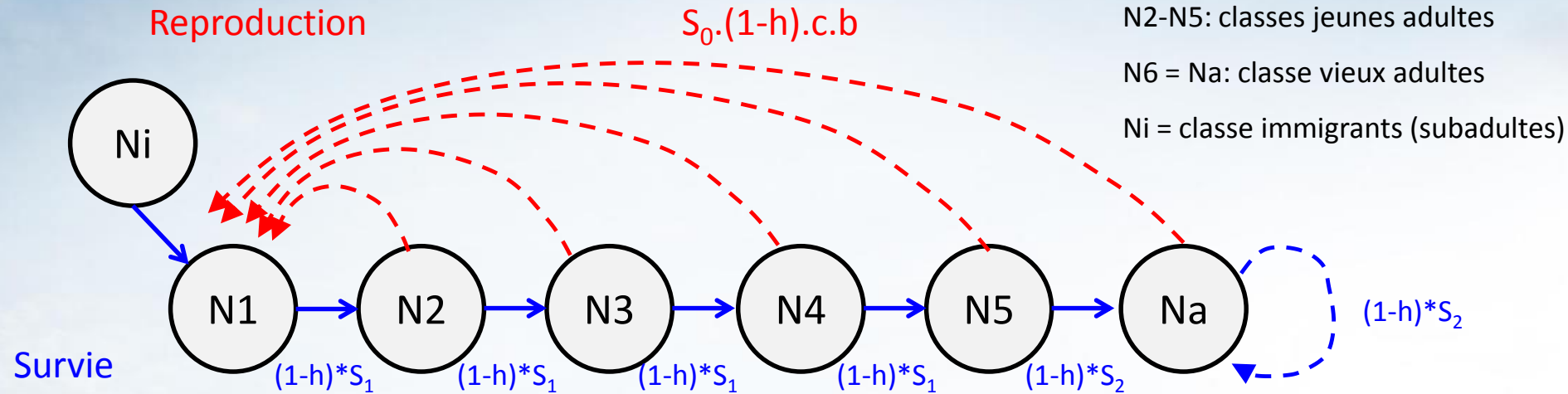




3. Simulations démographiques

Méthodes

- Matrice de Leslie avec 7 classes d'âge



N1: classe subadulte

N2-N5: classes jeunes adultes

N6 = Na: classe vieux adultes

Ni = classe immigrants (subadultes)

Modèle qui calcule les effectifs année après année, en fonction de:

- la reproduction,
 - la mortalité (naturelle et par collision)
 - l'immigration
- et leurs variations annuelles.

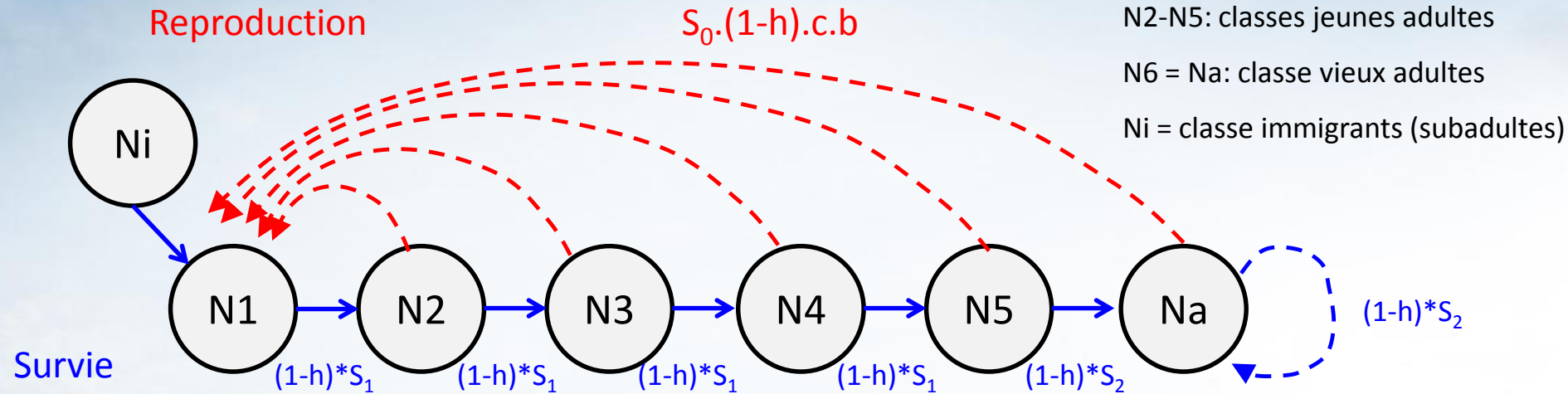
		bonne année	mauvaise année
	Age	Moyenne	Moyenne
Survie			
s0	juvénile	0.5688	0.4313
s1	subadulte et adulte (1-6 ans)	0.7640	0.6469
s2	vieil adulte >6 ans	0.6567	0.5288
Fréquence de reproduction			
c1	subadulte	0.2	0.15
c2	adulte	0.9	0.9
Fécondité : productivité de femelle par femelle			
b	Subadulte/adulte	1.22	1.17
Taux d'immigrants annuels			
Ni	subadulte	0.12	0.12
Taux de mortalité par éoliennes			
h	1996-2011	0.013	0.013
	2009-2012	0.026	0.026
	2013-2016	0.04	0.04



3. Simulations démographiques

Méthodes

- Matrice de Leslie avec 7 classes d'âge



Analyse de viabilité de population (PVA)

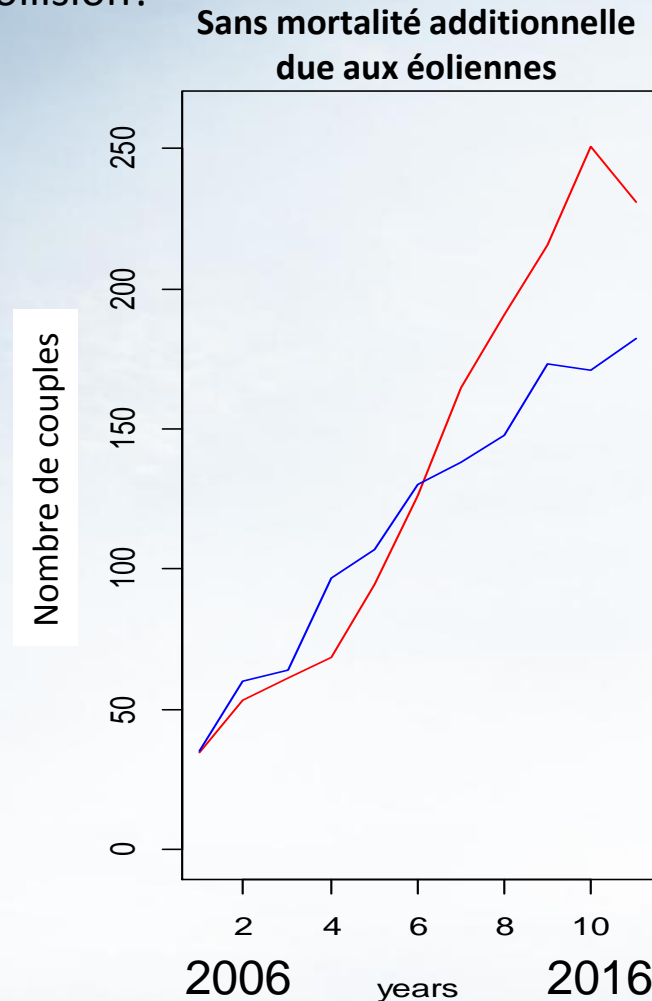
- ➔ Taux d'accroissement de la population λ ($\lambda > 1$: pop augmente, $\lambda < 1$: pop décline)
- Plusieurs scénarios testés
 - Nombre d'immigrants / an
 - Impact surmortalité éoliennes
 - Impact changements climatiques (fréquence années bonnes / mauvaises Sahel)



3. Simulations démographiques

Résultats: analyse PVA rétrospective

- Calibration du modèle aux données observées
- Comment le modèle décrit les effectifs dans la population de l'Hérault entre 2006 et 2016, sans/avec mortalité par collision?



Effectifs observés

Effectifs prédits par PVA

➔ Taux accroissement population
observé = 1.179

➔ Sans mortalité additionnelle, l'effectif
devrait être >250 couples, soit 18%> à
l'effectif observé en 2016

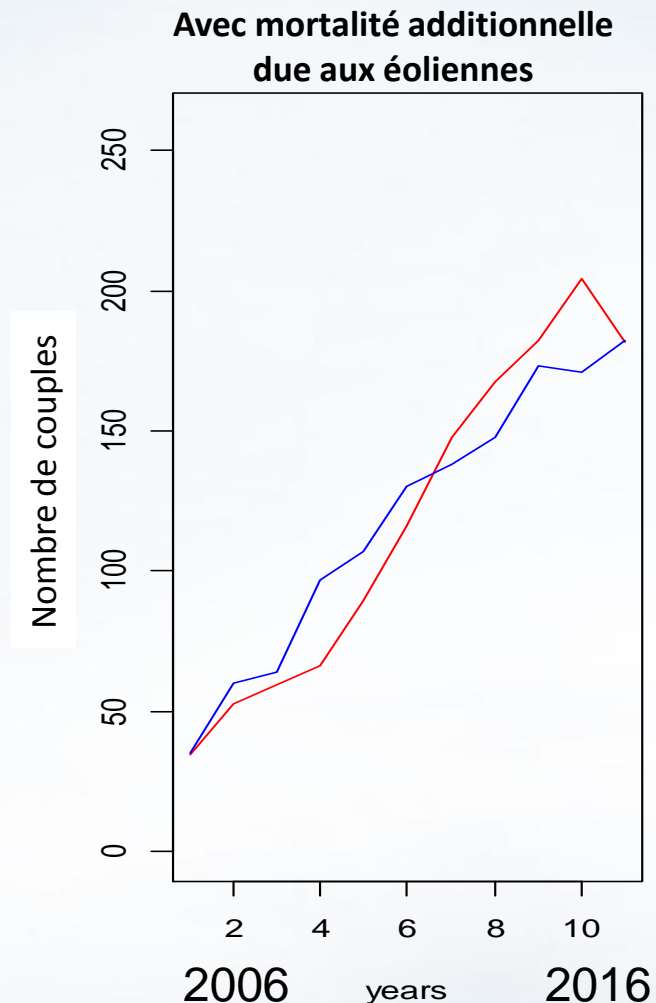
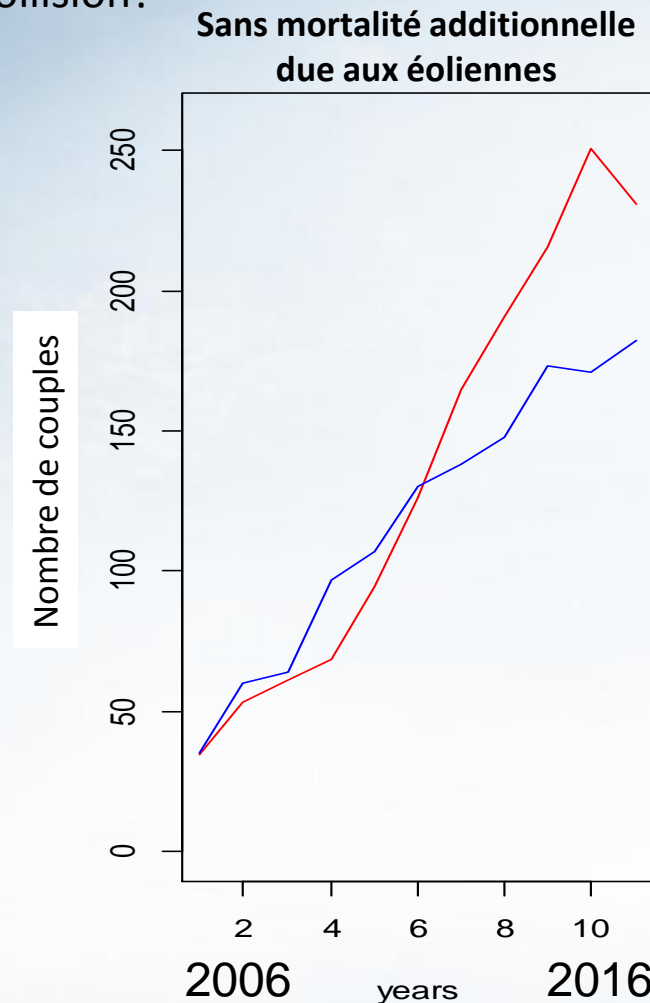




3. Simulations démographiques

Résultats: analyse PVA rétrospective

- Calibration du modèle aux données observées
- Comment le modèle décrit les effectifs dans la population de l'Hérault entre 2006 et 2016, sans/avec mortalité par collision?



Effectifs observés

Effectifs prédits par PVA

➔ Taux accroissement population observé = 1.179

➔ Sans mortalité additionnelle, l'effectif devrait être >250 couples, soit 18% > à l'effectif observé en 2016

➔ Seule l'inclusion de mortalité additionnelle par éoliennes, en injectant 10 immigrants par an, permet de retrouver les effectifs observés de population

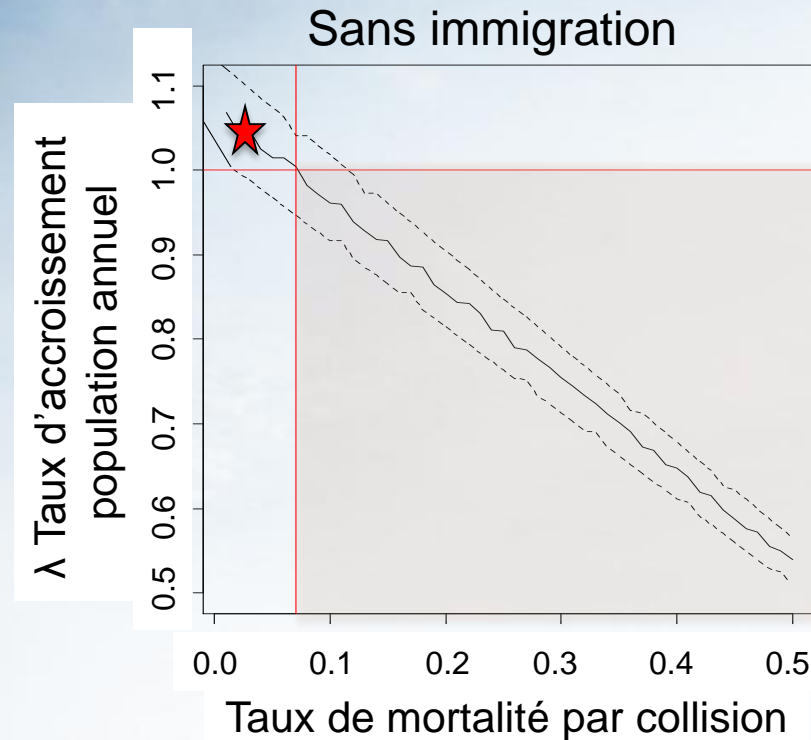




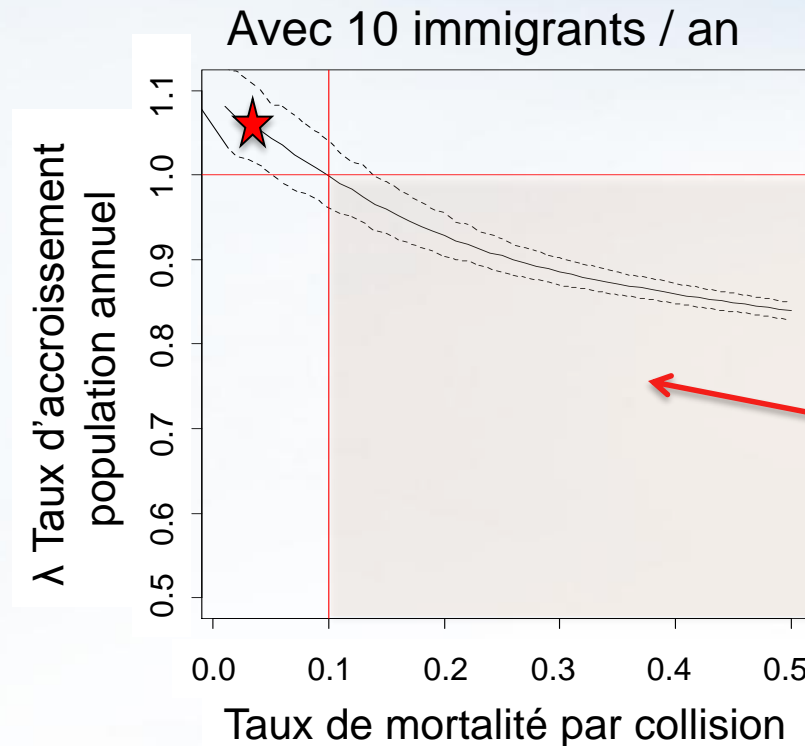
3. Simulations démographiques

Résultats: analyse PVA prospective sur 20 ans

- situation actuelle: 50% bonnes années / 50% mauvaises années (sécheresses Sahel)



- ➔ Sans immigration, la population commencera à décroître si le taux de mortalité dépasse **7%/an**



- ➔ Avec immigration, la population commencera à décroître si le taux de mortalité dépasse **10%/an**

Les lignes rouges indiquent le seuil de mortalité au-delà duquel la population décline ($\lambda < 1$).

➔ **Relation linéaire entre la surmortalité et le taux d'accroissement de la population:**

➔ **1% morts en plus = 1% de croissance de pop en moins**

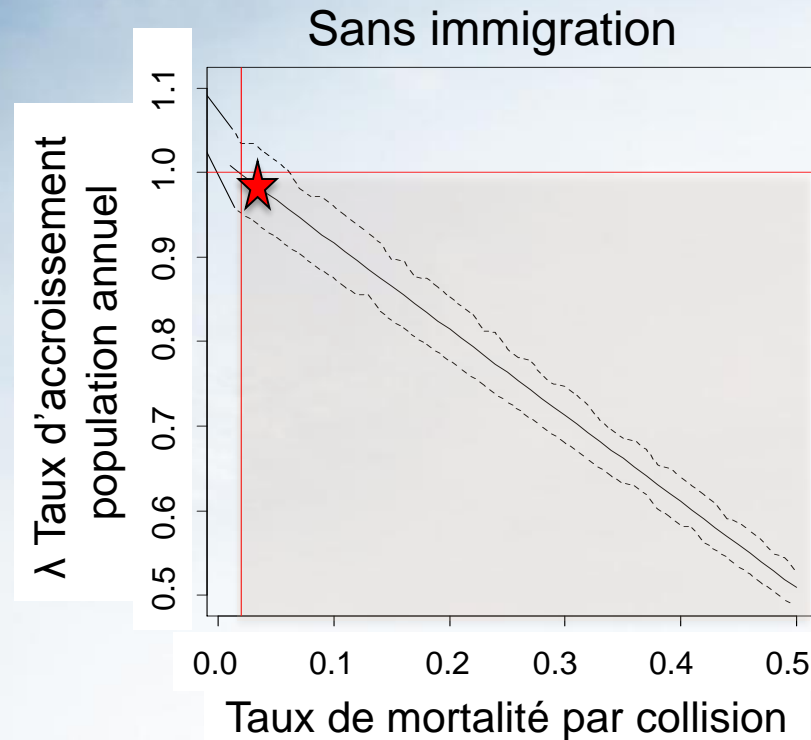
➔ **l'immigration tamponne les effets de la surmortalité**



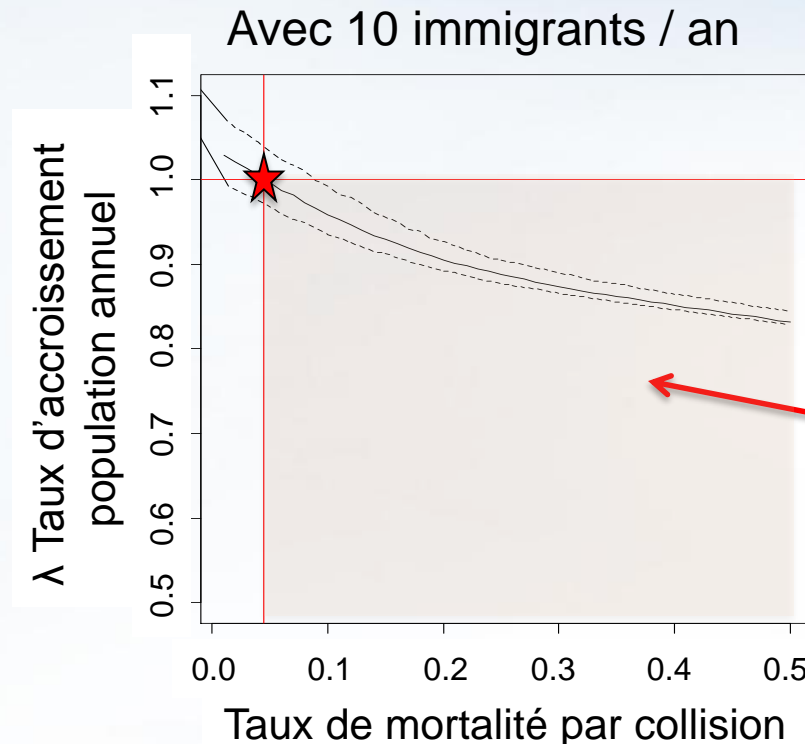
3. Simulations démographiques

Résultats: analyse PVA prospective sur 20 ans

➤ changement climatique : 25% bonnes années / 75% mauvaises années (sécheresse Sahel)



➔ Sans immigration, la population commencera à décroître si le taux de mortalité dépasse **2%/an**



➔ Avec immigration, la population commencera à décroître si le taux de mortalité dépasse **4.5%/an**

Les lignes rouges indiquent le seuil de mortalité au-delà duquel la population décline ($\lambda < 1$).

➔ Si l'immigration cesse ou si les sécheresses s'accroissent au Sahel, la population déclinera si les taux actuels de mortalités par collision sont maintenus





Discussion

Impact démographique des mortalités par collisions important ($\approx 4\%$), bien qu'encore tamponné par l'immigration, maintenant un taux d'accroissement de population >1 .

Cependant :

- le modèle actuel ne prend pas en compte les impacts cumulés des autres parcs
- taux de collision actuel proche du seuil d'inversement de tendance
- tendances climatiques de mauvaise augure

 **Nécessité de stopper le développement éolien en zone à Faucon crécerellette**

 **Essayer de mieux évaluer l'impact démographique à long terme pour davantage d'espèces → nécessite suivis précis avec baguage/contrôles et bons suivis de mortalité**





AGIR pour la
BIODIVERSITÉ

Merci pour votre attention

Eolien et biodiversité

Séminaire
2017



21 et 22 novembre

Artigues-près-Bordeaux



nicolas.saulnier@lpo.fr
olivier.duriez@cefe.cnrs.fr



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE





2. Estimation taux mortalité par éoliennes

Méthodes Corrections statistiques

Nom	Formule	Variable	Conditions/Hypothèses
Winkelmann (1989, adapté par ANDRE 2005)	$N \text{ estimé} = [(Na - Nb) / (P \times d)] \times a$	Na est le nombre total de cadavres retrouvés Nb le nombre d'oiseaux tués par une autre cause que les éoliennes (cadavres ne présentant pas les symptômes d'une mort par collision, projection / barotraumatisme) P est le taux de persistance ou de prédation sur le site (plus le temps d'intervalle des recherches est court, plus P est proche de 1 et limite le biais). d est le taux d'efficacité (ou taux de détection) du chercheur. a : coefficient de correction surfacique	Si le taux de persistance est égal à 0 (si tous les cadavres disparaissent entre 2 visites) : calcul impossible à réaliser.
Erickson	$N \text{ estimé} = [(Na - Nb) \times I / (tm \times d)] \times a$	I : La durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours) tm : Durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours).	Cette équation est adaptée de la formule de Winkelmann, mais permet de faire le calcul même lorsque le taux de prédation est très élevé (donc le taux de persistance est nul).
Jones	$N \text{ estimé} = (Na - Nb) / (a \times d \times \hat{e} \times P')$	Le taux de persistance est remplacé par la formule : $P' = e^{-0,5 \times I / tm}$ L'intervalle effectif \hat{I} est égal à : $-\log(0,01) \times tm$ \hat{e} : coefficient correcteur de l'intervalle équivalent à $(\text{Min } I : \hat{I}) / I$.	Le taux de mortalité est constant sur l'intervalle, la durée de persistance suit une variable exponentielle négative et la probabilité de disparition moyenne sur l'intervalle correspond à la probabilité de disparition d'un cadavre tombé à la moitié de l'intervalle
Huso	$N \text{ estimé} = (Na - Nb) / (a \times d \times p \times \hat{e})$	$p = tm \times (1 - e^{-1/tm}) / I$	Mortalité constante sur l'intervalle et la probabilité de disparition au point moyen de l'intervalle n'est pas égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre



2. Estimation taux mortalité par éoliennes

Résultats

31 cadavres trouvés → estimation corrigée du nombre de cadavres = 68 – 160 sur les 6 années

Estimation Huso (2010) ramené à la population de 260 femelles: 4% mortalité par an entre 2013 et 2016

Période	Saison	Nb de leurres	Paramètres des formules										Correction du nombre de cadavres				
			Na	Nb	P	d	I	tm	P'	p	î	ê	a	Winkelmann	Erikson	Jones	Huso
2010 - 2013	Printemps	20	5	0	0,62	0,85	3,33	3,73	0,64	0,26	7,46	1,24	1,38	15,34	6,27	13,29	13,06
	Été	26	7	0	0,46	0,85	3,33	3,75	0,64	0,26	7,5	1,25	1,77	29,76	12,02	21,27	20,61
	Automne	62	1	0	0,27	0,85	3,33	2,76	0,55	0,25	5,52	0,66	1,01	4,47	2,02	2,79	2,49
	Sous Total	108	13	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49,58	20,32	37,37	36,17
2014	Printemps-été	20	5	0	0,25	0,80	3,50	2,40	0,48	0,52	4,80	1,00	1,325	33,07	12,08	17,17	15,74
	Été-automne	30	0	0	0,25	0,66	3,50	2,40	0,48	0,52	4,80	1,00	1,217	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sous Total	50	5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,07	12,08	17,17	15,74
2015	Printemps	26	0	0	0,42	0,69	3,50	2,38	0,48	0,52	4,76	1,00	1,22	0,00	0,00	0,00	0,00
	Été	24	5	0	0,38	0,58	3,50	2,83	0,53	0,57	5,66	1,00	1,36	31,05	14,57	21,88	20,55
	Automne	12	0	0	0,51	0,91	3,50	3,83	0,63	0,65	7,66	1,00	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sous Total	62	5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,05	14,57	21,88	20,55
2016	Printemps	20	4	0	0,39	0,85	3,47	3,10	0,57	0,60	6,20	1,00	1,20	14,55	6,35	9,93	9,43
	Été	18	4	0	0,26	0,77	3,50	2,00	0,41	0,47	4,00	1,00	1,64	31,78	14,78	20,27	17,89
	Automne	17	0	0	0,68	0,76	3,46	2,41	0,48	0,53	4,82	1,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sous Total	55	8	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46,34	21,14	30,20	27,33
2010 - 2016	Total	275	31	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	160,04	68,11	106,63	99,80



1. Estimation paramètres vitaux

Méthodes

- fécondité: suivi de terrain Hérault
 - Dénombrement couples nicheurs
 - Dénombrement poussins à l'envol
 - ➔ succès reproducteur
- probabilité de survie: Crau
 - Couples en niohirs / sol
 - Marquage de 250 poussins / an
 - Gros effort de contrôles de bagues (≈ 300 /an)
 - Mihoub 2010: variations survie surtout liées aux variations pluviométrie Sahel et peu aux conditions météo en période de reproduction
 - ➔ hypothèse variations environnementales similaires Crau / Hérault
- Immigration: Hérault
 - Lectures de bagues d'oiseaux exogènes



Photo : Philippe Pilard ©





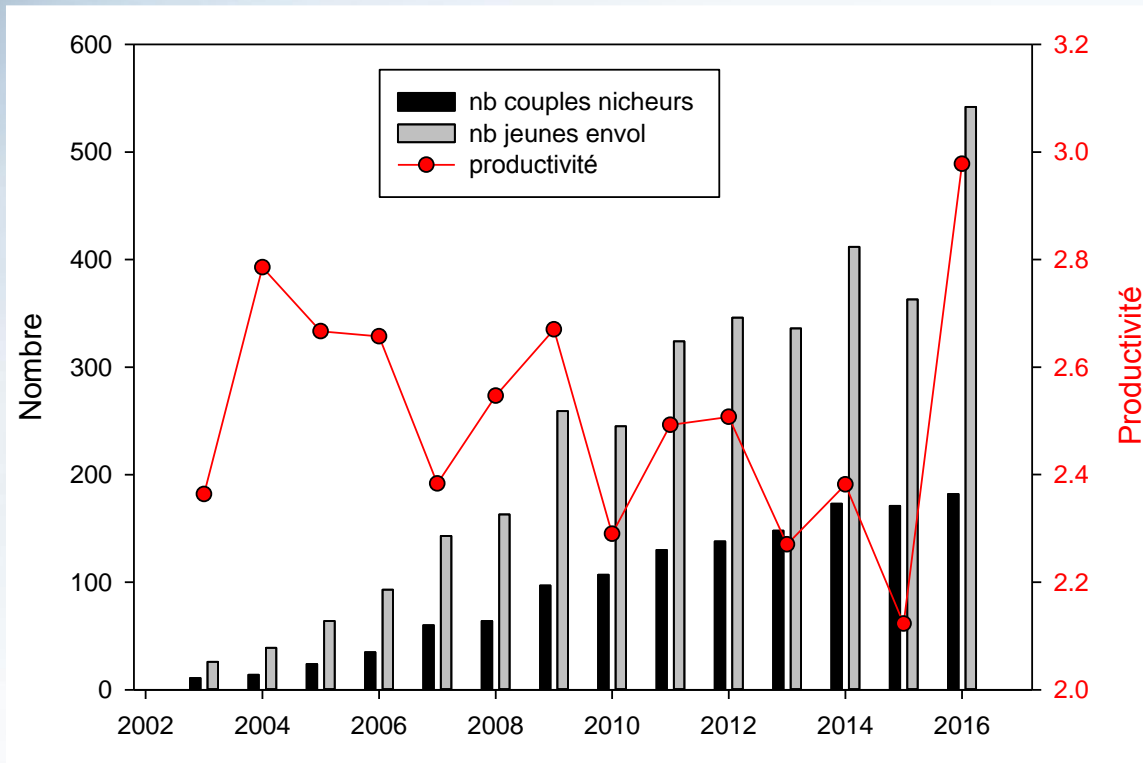
1. Estimation paramètres vitaux

Résultats population et fécondité

Hérault:

Croissance population

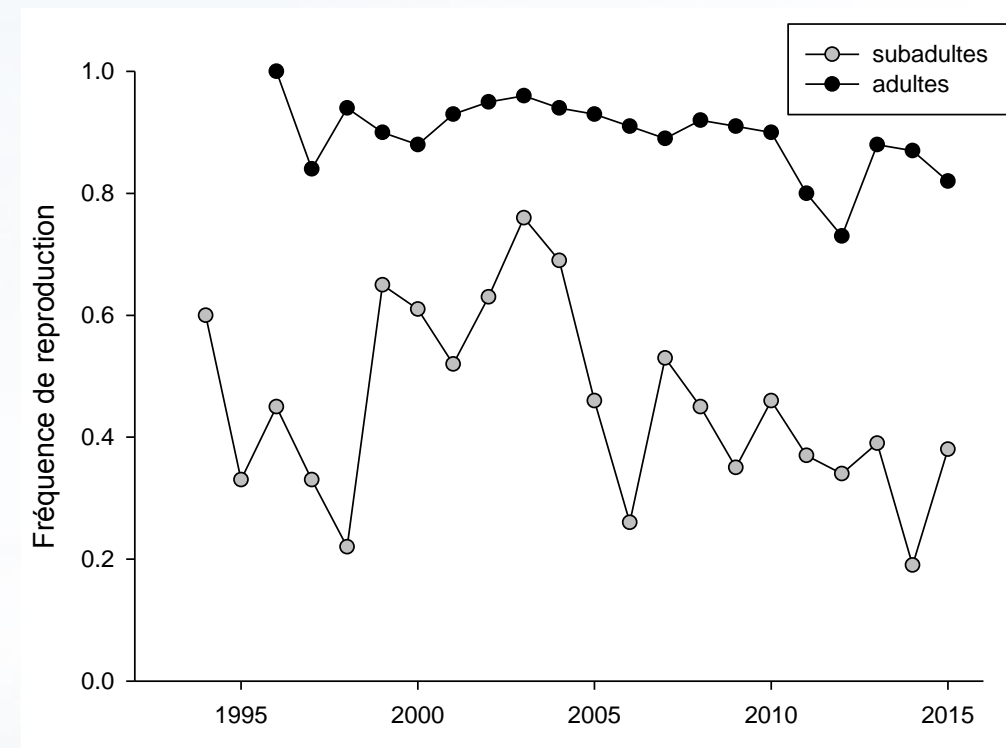
Fortes variations de productivité (2.1-3 poussin / couple)



Crau:

Fréquence de reproduction

- Elevée (90%) et stable et chez adultes
- Faible (20-80%) et variable chez subadultes





1. Estimation paramètres vitaux: survie

Méthodes

➤ Analyse de survie : Crau

- Période 23 ans = 1994-2016
- Codage histoires de vie mono-état
 - Vu (vivant)= 1
 - Non vu = 0
- Modèles de Capture-Marquage-Recapture

```

10000000000 129 ;
10010000000 1 ;
10011100000 1 ;
10100000000 4 ;
10110000000 3 ;
10111100000 2 ;
10111111000 1 ;
10111111110 1 ;
11000000000 20 ;
11010000000 1 ;
11011111000 1 ;
11100000000 13 ;
11100100000 1 ;
11110000000 8 ;
11111000000 8 ;
11111100000 2 ;
11111110000 5 ;
11111111000 2 ;

```



1. Analyse survie sénescence (22 classes d'âge)
 - ➔ classes d'âge pertinentes pour les modèles démographiques
2. Analyse survie avec 3 classes d'âge
 - juvéniles, jeunes adultes (2-6 ans), vieux adultes (>6 ans)

